

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA PARA LA
OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO
DE AGUA POTABLE DEL SECTOR GUAREMAL.
MUNICIPIO GUAICAIPURO-ESTADO MIRANDA**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Bachiller:
Terán P. Martín R.
para optar al Título
de Ingeniero Mecánico.

Caracas, 2009

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA PARA LA
OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO
DE AGUA POTABLE DEL SECTOR GUAREMAL.
MUNICIPIO GUAICAIPURO-ESTADO MIRANDA**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Rodolfo Grullón

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Iván Moreno

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

por el Bachiller:

Terán P. Martín R.

para optar al Título
de Ingeniero Mecánico.

Caracas, 2009

© Martín Ramses Terán Puentes, 2009.



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



Caracas, 20 de noviembre de 2.009

ACTA

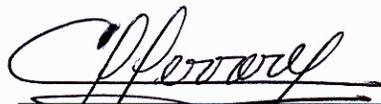
Los abajo firmantes, miembros del jurado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el bachiller:

TERAN MARTIN

Titulado:

“EVALUACION, DIAGNOSTICO Y PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DEL SECTOR GUAREMAL 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. Cesar Ferrer
Jurado




Prof. José Luis Perera
Jurado


Prof. Rodolfo Grullón
Tutor

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso.

A mi madre y mi padre que, en todo momento, han sido un ejemplo a seguir y los pilares fundamentales sobre los que construyo mi futuro.

A las personas especiales que me han apoyado incondicionalmente.

Gracias.

Martín R. Terán P.

**EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA PARA LA
OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE
AGUA POTABLE DEL SECTOR GUAREMAL.
MUNICIPIO GUAICAIPURO-ESTADO MIRANDA**

Tutor Académico: Profesor Rodolfo Grullón

Tutor Industrial: Ing. Iván Moreno

Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2009. 217 Pág.

Palabras Claves: Abastecimiento, Bombeo, Sistema, Población, Operación,
Almacenamiento.

En el presente trabajo se realizó una evaluación técnica del sistema de abastecimiento de agua correspondiente a la estación de bombeo La Matica, específicamente del Grupo 1, y mediante el diagnóstico establecer la propuesta que optimice el servicio de distribución de agua del sector Guaremal. Para ello se analizó la situación en que se encuentra y se verificó la necesidad de realizar una nueva configuración de la mencionada estación. Para llevar a cabo este estudio se censo la cantidad de habitantes actualmente servidos y la dotación diaria por habitante (establecido por norma), se determinaron las características y el estado en que se encuentra el sistema de bombeo al igual que el comportamiento de la red de distribución. Adicionalmente, se tomaron en cuenta otros aspectos como la necesidad a futuro (considerando el crecimiento poblacional) y las necesidades de potencia requerida por el sistema.

Se presentó, entonces, una propuesta de solución en la cual se definió, diseñó y cuantificó una nueva configuración de la estación con un nuevo sistema de bombeo (exclusivo para el sector), tomando en consideración un período de diseño de 20 años, el crecimiento poblacional en la zona abastecida, la dotación diaria por habitante, las condiciones de operación a las que estará sometido el sistema de bombeo, el aumento de la rugosidad en el tiempo y la capacidad actual de la estación, entre otros. Finalmente, se determinaron las características del sistema de succión y descarga, el número de unidades de bombeo y su capacidad, el sistema eléctrico y se verificaron los efectos del golpe de ariete en caso de falla del suministro eléctrico. La propuesta incluye un estudio económico asociado a la inversión necesaria para llevar a cabo esta solución, así como los cambios requeridos en el sistema interno de distribución de Guaremal.

Martín R. Terán P.

**EVALUATION, DIAGNOSIS AND PROPOSAL FOR THE
OPTIMIZATION OF THE SYSTEM OF POTABLE WATER
SUPPLY OF SECTOR GUAREMAL. MUNICIPALITY
GUAICAIPURO-ESTADO VANTAGE POINT**

Academic Tutor: Professor Rodolfo Grullón

Industrial Tutor: Ing. Brown Iván Moreno

Faculty of Engineering. School of Mechanical Engineering. 2009. 217 p.

Key words: Supplying, Pumping, System, Population, Operation,
Storage.

In the present work a technical evaluation of the system of water supply was realised corresponding to the pumping station the Matica, specifically of Group 1, and by means of the diagnosis to establish the proposal that optimizes the service of water distribution of the Guaremal sector. For it the situation was analyzed in which it is and the necessity was verified to realise a new configuration of the mentioned station. In order to carry out this study census the amount of inhabitants at the moment served and daily grant by inhabitant (established by norm), the characteristics and the state were determined in which is the pumping system like the behavior of the distribution network. Additionally, other aspects like the necessity to future (considering the growth population) and the needs of power required by the system were taken into account.

One appeared, then, a proposal of solution in which it was defined, designed and quantified a new configuration of the station with a new system of pumping (exclusive for the sector), considering a period from design from 20 years, the population growth in the supplied zone, daily grant by inhabitant, the conditions of operation which the pumping system will be put under, the increase of the rugosidad in the time and the present capacity of the station, among others. Finally, the characteristics of the suction system were determined and unloading, the number of pumping units and its capacity, the electrical system and verified the effects of the water hammer in case of fault of the electrical provision. The proposal includes an associate economic study to the investment necessary to carry out this solution, as well as the changes required in the internal system of distribution of Guaremal.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
RESUMEN	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE GRÁFICAS	xvi
GLOSARIO DE TÉRMINOS	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA	2
1.1 Antecedente de la Empresa.....	2
1.2 Visión.....	3
1.3 Misión.....	3
1.4 Organigrama Principal.....	4
CAPÍTULO 2: DEFINICIÓN DEL PROYECTO	5
2.1 Antecedentes.....	5
2.2 Planteamiento del Problema.....	5
2.3 Formulación del Problema.....	8
2.4 Objetivos y Alcances.....	8
2.4.1 Objeto.....	8
2.4.2 Objetivo General.....	9
2.4.3 Objetivos Específicos.....	9
CAPÍTULO 3: FUNDAMENTO TEÓRICO	11
3.1 Proyecciones de Población.....	11
3.1.1 Estimación.....	11
3.1.2 Estimación de población.....	11
3.1.3 Proyecciones de Población.....	12

3.1.4 Utilidad de las proyecciones de población.....	12
3.1.5 Métodos generales para elaborar las proyecciones.....	12
3.1.6 Cálculo de las Proyecciones de Población.....	15
3.2 Principios de Mecánica de los Fluidos Aplicados	
a los sistemas de bombeo.....	17
3.2.1 Ecuación de Continuidad.....	17
3.2.2 Flujos de Fluidos Viscosos.....	18
3.2.3 Flujos Laminares y Turbulentos.....	19
3.2.4 La Ecuación de Bernoulli.....	20
3.2.5 Pérdidas en Sistemas de Tuberías.....	21
3.2.6 Envejecimiento de las Tuberías.....	25
3.2.7 Cavitación.....	27
3.2.8 Régimen Permanente.....	29
3.2.9 Régimen Transitorio.....	35
3.3 Criterios Básicos para el Diseño de un Sistema de	
Abastecimiento de Agua	46
3.3.1 Consumo de Agua.....	46
3.3.2 Factores que Afectan el Consumo.....	47
3.3.3 Variaciones periódicas de los consumos e influencia	
sobre las diferentes partes del sistema.....	49
3.3.4 Redes de Distribución.....	52
3.4 Estación de bombeo.....	53
3.4.1 Equipo de Bombeo.....	53
3.4.2 Parámetros de las Bombas.....	53
3.4.3 Válvulas en las Estaciones de Bombeo.....	57
3.4.4. Motor Eléctrico.....	60
CAPÍTULO 4: SITUACIÓN ACTUAL DE LA ESTACIÓN DE	
BOMBEO.....	64
4.1 Ubicación Geográfica del Sector y Descripción del Sistema.....	65
4.2. Características Técnicas.....	62

4.2.1 Descripción del Sistema.....	62
4.2.2 Especificaciones de Campo.....	73
4.2.3 Descripción del Sistema de Bombeo.....	81
4.2.4 Parámetros de Funcionabilidad de la Estación de Bombeo...82	
4.2.5 Especificaciones Técnicas de los Grupos de Bombeo.....	82
4.2.6 Motores Eléctricos de los Grupos.....	85
4.3 Estimación de la Población Abastecida por el Grupo 1.....	86
4.3.1 Población actual.....	86
4.3.2 Proyección de la Población por Medio del Método Aritmético (Método Lineal).....	89
4.3.3 Proyección de la Población por Medio del Método Geométrico.....	91
4.3.4 Proyección de la Población por Medio del Método Parabólico.....	93
4.3.5 Comparación de los Métodos Utilizados para la Proyección de la Población.....	97
4.4 Estimación de la Rugosidad Actual de las Tubería.....	103
4.5 Curva Característica del Sistema.....	105
4.6 Evaluación y Diagnostico del Sistema de Bombeo (Grupo 1).....	108
4.7 Evaluación Hidráulica del Sector Guaremal.....	117
CAPÍTULO 5: CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO.....	128
5.1 Zona de Abastecimiento.....	128
5.2 Población a ser Abastecida por el Nuevo Diseño.....	130
5.3 Determinación del Caudal Medio.....	131
5.4 Periodo del diseño.....	132
5.5 Ubicación del Nuevo Sistema de Bombeo.....	134
5.6 Rango de Velocidades de Transito.....	134
5.7 Presiones de Operación del Sistema de Distribución.....	135
5.8 Determinación de los Caudales Medios para los Subsectores.....	135

CAPÍTULO 6: OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN...	140
6.1 Objetivo General.....	140
6.2 Determinación del Caudal de Diseño.....	140
6.2.1 Consumo Máximo Diario.....	140
6.2.2 Consumo Máximo Horario.....	140
6.2.3 Consumo en Caso de Ocurrencia de Incendio.....	141
6.2.4 Caudal de Diseño.....	141
6.3 Determinación del Número de Unidades de Bombeo y Etapas.....	142
6.3.1 Número de Unidades.....	142
6.3.2 Determinación del Número de Etapas.....	143
6.3.3 Determinación del Diámetro de la Tubería de Aducción del Sistema de Bombeo.....	144
6.4 Configuración de la Succión y Descarga del Sistema de Bombeo.....	144
6.4.1 Diámetros de Succión y Descarga de la Estación de Bombeo.....	145
6.4.2 Diámetro de Succión.....	145
6.4.3 Diámetro de Descarga.....	145
6.5 Característica del Sistema.....	146
6.5.1 Curva Característica del Sistema.....	146
6.5.2 Pérdidas Locales en la Estación de Bombeo.....	155
6.5.3 Determinación de los Equipos de Bombeo.....	160
6.6 Estimación de los Transitorios Hidráulicos.....	166
6.6.1 Golpe de Ariete por Suspensión del Suministro Eléctrico a los Equipos.....	166
6.6.2 Desconexión de los motores eléctricos en régimen permanente en el año 2030.....	167
6.7 Selección de Válvulas.....	172
6.8 Especificación de Tuberías.....	173
6.9 Selección de Motores.....	174

6.9.1 Potencia de los Motores.....	174
6.9.2 Especificación de los Motores.....	175
6.10 Instalación Eléctrica.....	175
6.10.1 Sistema de Potencia y Control del Arranque de los Motores.....	175
6.11 Estanque Principal.....	178
6.11.1 Variación Horaria del Consumo.....	178
6.11.2 Rata de Bombeo.....	180
6.11.3 Capacidad del Estanque.....	180
6.11.4 Ubicación del Estanque Nuevo.....	181
6.11.5 Especificaciones Técnicas del Nuevo Estanque.....	181
6.12 Especificaciones del Sistema de Distribución del Sector.....	183
CAPÍTULO 7: ESTIMACIÓN PRESUPUESTARIA.....	185
7.1 Presupuesto.....	185
7.1.1. Breve Descripción de Capítulos.....	185
7.1.1.1 Obras Preparatorias para Estructuras.....	185
7.1.1.2. Infraestructura de Concreto.....	186
7.1.1.3. Súper Estructura de Concreto.....	186
7.1.1.4. Encofrados.....	186
7.1.1.5. Armadura de Refuerzo.....	186
7.1.1.6. Albañilería.....	187
7.1.1.7. Impermeabilización.....	187
7.1.1.8. Herrería.....	187
7.1.1.9. Acabado con Pinturas.....	187
7.1.1.10. Instalaciones Eléctricas.....	187
7.1.1.11. Instalaciones Electromecánicas.....	188
7.1.1.12. Obras de Servicios y Varios.....	188
7.1.2. Total de la Inversión.....	189

CONCLUSIONES	190
RECOMENDACIONES	193
APÉNDICES	194
BIBLIOGRAFÍA	217

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Características del agua y su relación con α	26
Tabla 3.2 Módulos de elasticidad y relación de Poisson de algunos materiales	40
Tabla 3.3 Consumos mínimos permisibles según las normas INOS	46
Tabla 3.4 Consumo per. Cápita de acuerdo al tipo de vivienda	47
Tabla 4.1 Característica topográfica E/B La Matica-Entrada a Guaremal	74
Tabla 4.2 Características topográficas de la calle principal de Guaremal	76
Tabla 4.3 Características sociales y de servicio de agua de Guaremal	78
Tabla 4.4 Características físicas del sistema interno de distribución de Guaremal	79
Tabla 4.5 Características de las válvulas del sistema	80
Tabla 4.6 Principales características de las tuberías derivadas de la principal del Grupo 1	80
Tabla 4.7 Características físicas de los estanque de Guaremal	81
Tabla 4.8 Parámetros de funcionabilidad de la estación de bombeo	82
Tabla 4.9 Especificaciones técnicas de los Grupos de bombeo	83
Tabla 4.10 Maniobras de operación del sistema manejado por el Grupo 1	83
Tabla 4.11 Especificaciones técnicas de los motores de los Grupos de bombeo	85
Tabla 4.12 Registro poblacional del Instituto Nacional de Estadística (INE)	87
Tabla 4.13 Registro de viviendas establecidas en el sector Guaremal “Consejos Comunales”	88
Tabla 4.14 Calculo del valor de K_p por sector para la estimación de la población a proyectar	89
Tabla 4.15 Proyección de la población por medio del Método Aritmético	90
Tabla 4.16 Calculo de $(1+r)$ por sector para la estimación de la población a proyectar	92
Tabla 4.17 Proyección de la población por medio del Método Geométrico	93
Tabla 4.18 Coeficientes de la ecuación que rige el comportamiento cuadrático del crecimiento poblacional	95
Tabla 4.19 Proyección de la población por medio del Método Parabólico	96
Tabla 4.20 Resultados del análisis del agua	104
Tabla 4.21 Estimación de la rugosidad actual de las tuberías del sistema	105
Tabla 4.22 Consumo medio de los sectores dependientes de la E/B La Matica	109
Tabla 4.23 Consumo medio de los sectores y altura relativa dependientes del Grupo 1	114

Tabla 4.24 Relación de demanda y alturas relativas para sectores bajos	115
Tabla 4.25 Relación de demanda y alturas relativas para sectores bajos e intermedios	115
Tabla 4.26 Sectores en servicio bajo el cierre de la válvula La Panamericana	118
Tabla 4.27 Relación de consumos y alturas relativas de los sectores dependientes del Grupo 1	120
Tabla 4.28 Relación de demanda y altura relativa bajo la condición de la válvula La Panamericana cerrada	121
Tabla 4.29 Demanda de los sectores bajos manejados por el Grupo 1	125
Tabla 5.1 Población a ser abastecida por el sistema de abastecimiento de Guaremal	131
Tabla 5.2 Consumos mínimos recomendados por las normas INOS	131
Tabla 5.3 Caudal medio durante el periodo de diseño	132
Tabla 5.4 Relación diámetros-velocidad económica. INOS	135
Tabla 5.5 Relación porcentual de los subsectores en base a la población total de Guaremal	137
Tabla 5.6 Proporción de la población total en base a la relación porcentual para el periodo de diseño	138
Tabla 5.7 Estimación del caudal medio para el periodo de diseño en base a la relación porcentual y dotación mínima establecida	139
Tabla 6.1 relación del factor de fricción con respecto al diámetro. <i>Extraído de Crane McGraw Hill</i>	156
Tabla 6.2 Variación de la presión atmosférica con respecto a la altitud. Extraído de <i>Organización Panamericana de Salud. Lima, 2005. GUÍAS PARA EL DISEÑO DE ESTACIONES DE BOMBEO DE AGUA POTABLE</i>	165
Tabla 6.3 Propiedades físicas del agua. Extraído de Streeter W. Mecánica de Fluidos. 6ta Edición	168
Tabla 6.4 Características dimensionales de las tuberías de acero (cedula 40). Extraído del Mott R. Mecánica de Fluidos. 6ta Edición	169
Tabla 6.5 Variación horaria del consumo medio. Hidrocapital-Sistema Panamericano	179
Tabla 6.6 Comparación entre el caudal requerido y el bombeado	181
Tabla 7.1 Totales de cada capítulo y total de la inversión	189

ÍNCICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Organigrama de Hidrocapital	4
Figura 3.1 Velocidad media en dirección axial del conducto	12
Figura 3.2 Cambios en el área de la sección transversal del conducto	18
Figura 3.3 Esquema general de un sistema de bombeo	31
Figura 3.4 Recta Positiva de Bergeron	42
Figura 3.5 Transmisión de las ondas de perturbación en una derivación en “Y”	44
Figura 3.6 Esquema del diagrama de flujo de motor trifásico inducción	60
Figura 4.1 Esquema de la estación de bombeo La Matica	64
Figura 4.2 Diagrama de distribución del Grupo 1	66
Figura 4.3 Diagrama del sistema de distribución del sector Guaremal	67
Figura 4.4 Esquema de distribución del sistema Panamericano	73
Figura 4.5 Esquema general del Grupo de Bombeo 1 y 3	84
Figura 4.6 Esquema general del Grupo 2 de bombeo	85
Figura 4.7 Imagen general de los motores de los Grupos de bombeo	86
Figura 4.8 Envejecimiento de las tuberías	105
Figura 4.9 Especificaciones de la bomba instalada actualmente (Grupo 1)	110
Figura 4.10 características operacionales del equipo Grupo 1	111
Figura 4.11 Parámetros operacionales sin maniobra	120
Figura 4.12 Parámetros operacionales con maniobra	122
Figura 4.13 Parámetros operacionales requeridos para alcanzar Guaremal	123
Figura 4.14 Parámetros de operación para la condición de máximo caudal del Equipo	124
Figura 6.2 Esquema general del sistema de bombeo	147
Figura 6.3 Curva característica del sistema E/B-Punto Elevado	150
Figura 6.4 Curva del sistema Punto Mas Elevado-Estanque Principal	151
Figura 6.5 Curva del sistema con la Válvula Controladora de Caudal	154
Figura 6.6 Curva General del Sistema (incorporada la VCC)	154
Figura 6.7 Configuración de la descarga del Sistema de Bombeo	155
Figura 6.8 Configuración de la succión del Sistema de Bombeo	156
Figura 6.9 Entrada para succión. <i>Extraído de Crane McGraw Hill</i>	157
Figura 6.10 Esquema válvula de pie-filtro. <i>Extraído de Crane McGraw Hill</i>	157

Figura 6.11 Esquema de codos estándar. <i>Extraído de Crane McGraw Hill</i>	158
Figura 6.12 Esquema de válvula de compuerta. <i>Extraído de Crane McGraw Hill</i>	158
Figura 6.13 Esquema de válvula de retención (check). <i>Extraído de Crane McGraw Hill</i>	159
Figura 6.14 Esquema de Tes. <i>Extraído de Claudio Mataix. Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas</i>	159
Figura 6.15 Curva general del sistema de bombeo	160
Figura 6.16 Curva característica del equipo	162
Figura 6.17 Punto de operación del equipo	162
Figura 6.18 Esquema de potencia del arranque de los motores	176
Figura 6.19 Esquema de control del arranque de los motores	178
Figura 6.20 Representación grafica de la variación horaria del consumo	180
Figura 6.21 Dimensiones del estanque nuevo (metro)	182
Figura 6.22 Esquema de operación del estanque nuevo	183

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 4.1 Perfil topográfico E/B La Matica-Entrada a Guaremal	75
Grafica 4.2 Perfil topográfico de la calle principal de Guaremal	76
Grafica 4.3 Comportamiento del crecimiento poblacional de los sectores: El Encanto I, El Encanto II, El Encanto III, El Bosque y Las Tiunas	94
Grafica 4.4 Comportamiento del crecimiento poblacional de los sectores: Las Bambalinas-Av. Bertorrelli, Los Lagos, Barrio Miranda y Guaremal	94
Grafica 4.5 Comportamiento del crecimiento poblacional de los sectores: Doña Mamá, Camatagua-Los Alpes y Los Amarillos-El Trabuco	95
Grafica 4.6 Comparación de los métodos de proyección para El Encanto I	97
Grafica 4.7 Comparación de los métodos de proyección para El Encanto II	98
Grafica 4.8 Comparación de los métodos de proyección para El Encanto III	98
Grafica 4.9 Comparación de los métodos de proyección para Las Tiunas	99
Grafica 4.10 Comparación de los métodos de proyección para El Bosque	99
Grafica 4.11 Comparación de los métodos de proyección para Las Bambalinas-Av. Bertorrelli	100
Grafica 4.12 Comparación de los métodos de proyección para Los Lagos	100
Grafica 4.13 Comparación de los métodos de proyección para Camatagua-Los Alpes	101
Grafica 4.14 Comparación de los métodos de proyección para Doña Mamá	101
Grafica 4.15 Comparación de los métodos de proyección para Barrio Miranda	102
Grafica 4.16 Comparación de los métodos de proyección para Guaremal	102
Grafica 4.17 Comparación de los métodos de proyección para Los Amarillos-El Trabuco	103

GLOSARIO DE TERMINOS

a:	velocidad de propagación de las ondas de perturbación elásticas
A:	área
AWG:	Galga de Conductores Americanos
B:	bobina del contactor
C:	factor de colocación de la tubería
c_1, c_2, c_3 :	constantes de una ecuación cuadrática del tipo $f(x) = a + b \cdot x + c \cdot x^2$
CAD:	dibujo asistido por computador
$\cos\phi$:	factor de potencia
Covenin:	Comisión Permanente de Normas para Estructuras de Edificios del Ministerio del Desarrollo Urbano
d:	diámetro interior de la tubería
D:	diámetro exterior de la tubería
e:	espesor de la tubería
e_1, e_2 :	valores inicial y final de la energía específica
e_s, e_e :	energía específica en la salida y en la entrada de una bomba
E:	módulo de elasticidad del líquido
E_1, E_2 :	valores inicial y final de la energía de un sistema
E_c :	módulo de elasticidad de la tubería
f:	factor de fricción
f_1 :	onda reflejada en una derivación
f_{hfd} :	factor de fricción en tubería de hierro fundido dúctil
f_{hg} :	factor de fricción en tubería de hierro galvanizado
ft:	pies (“feet” en inglés)
F:	fuerza
F_1, F_2, F_3 :	ondas transmitidas en los tramos de tuberías (1, 2 y 3) de una derivación

g:	aceleración de la gravedad
h:	altura piezométrica
hab:	habitantes
h_f :	pérdida de carga por efectos viscosos
hfd:	hierro fundido dúctil
hg:	hierro galvanizado
h_s :	pérdidas de carga totales del lado de la succión
H:	altura
H_a :	aumento o disminución de la presión por efecto de golpe de ariete
He:	carga estática
H_o :	altura en la condición de régimen permanente
hr:	hora
H_v :	carga o altura en la válvula
I:	momento de inercia de masa de las partes rotatorias
I_L :	corriente de línea
in:	pulgadas (“inches” en inglés)
Inc:	caudal para combatir incendios
INE:	Instituto Nacional de Estadística
INOS:	Instituto Nacional de Obras Sanitarias
J:	constante de la ecuación de dinámica de giración
k:	coeficiente de pérdida localizada de energía
K:	constante de la curva de pérdidas
k_a :	tasa de cambio de la población en proporción lineal
k_e :	valor de la pendiente de la gráfica de población en papel semilog
K_1 :	relación entre el consumo medio diario y el consumo máximo diario
K_2 :	relación entre el consumo medio diario y el consumo máximo horario
K_3 :	relación entre el consumo medio diario y el consumo en caso de incendio
L:	longitud

L :	trabajo específico efectuado por el sistema
l/s:	litros por segundo
m:	flujo másico
m:	masa
M:	torque del conjunto conformado por rotor del motor, acople y bomba
m_B :	pendiente de la recta de Bergeron
m.c.a.:	metros de columna de agua
M_N :	par nominal del motor
MS:	control de marcha en seco
m.s.n.m.:	metros sobre el nivel del mar
N:	velocidad de rotación de la bomba y el motor
NEMA:	Nacional Electrical Manufacturers Association
$NPSH_d$:	carga neta de succión positiva disponible
$NPSH_r$:	carga neta de succión positiva requerida
n_q :	número de vueltas específico del rodete
Nºaños :	período de estimación de la proyección
OCEI:	Oficina Central de Estadística e Información
OL:	relé de protección de sobrecarga
p:	presión
p_a :	presión barométrica
P_{des} :	presión en la descarga de la bomba
p_e :	presión estática
$p_e/\gamma + z$:	carga o altura piezométrica
pers:	persona
pH:	grado de acidez o de basicidad de un fluido
p_s :	presión en la succión
p_T :	presión total o presión de estancamiento
p_v :	presión de vapor del líquido a la temperatura del flujo
P_b :	potencia requerida en el eje de la bomba
P_e :	potencia eléctrica

P_N :	potencia nominal del motor
P_{ob} :	población en un tiempo en particular
P_{ob_c} :	valor de población conocida
P_o :	potencia neta en el eje del motor
P_u :	potencia útil
Q :	caudal
Q_{comerc} :	caudal referido al consumo por comercios
$Q_{diseño}$:	caudal de diseño
Q_i :	caudal en el tramo i
Q_I :	caudal para el caso de ocurrencia de incendio
Q_m :	caudal medio diario
$Q_{m\acute{a}x-diario}$:	consumo máximo diario
$Q_{m\acute{a}x-horario}$:	consumo máximo horario
Q_{res} :	caudal referido al consumo residencial
$Q_{zona\ alta}$:	caudal correspondiente al consumo de la zona alta
$Q_{zona\ baja}$:	caudal correspondiente al consumo de la zona baja
r :	factor de transmisión de la onda de perturbación
R :	radio de giro
Re :	número de Reynolds
$Re_{cr\acute{i}t}$:	número de Reynolds crítico
s :	factor de reflexión de la onda de perturbación
S :	contactor de arranque
t :	intervalo de tiempo
t_c :	tiempo de fase o tiempo crítico igual a $2L/a$
T_1, T_2, T_3 :	bornes del motor
viv :	vivienda
V :	velocidad media del flujo
V_L :	tensión de línea
V_o :	velocidad en la condición de régimen permanente
W :	peso del conjunto en giración
X :	población en miles de habitantes

z :	posición relativa en sentido vertical
$1M$:	contactor de línea
${}_1Q_2$:	calor transmitido al sistema durante el proceso del estado 1 al 2
${}_1W_2$:	trabajo efectuado por el sistema durante un proceso
$2M$:	contactor de triángulo
α :	coeficiente de proporcionalidad para envejecimiento de la tubería
α_t :	ángulo de inclinación de la tubería
α_v :	relación de velocidades
β :	valor de par relativo al par del conjunto en condiciones permanentes
γ :	peso específico relativo del agua
ε :	rugosidad absoluta de la tubería
$\varepsilon_{inicial}$:	rugosidad inicial de la tubería
ξ, τ_c :	parámetros que describen los efectos transitorios en una conducción
η :	rendimiento de la bomba
η_{mec} :	rendimiento mecánico
η_{mot} :	rendimiento del motor
μ :	relación Poisson
ν :	viscosidad cinemática
ρ :	densidad de un fluido
ω :	velocidad angular
ΔP_{ob} :	crecimiento de población en un período de tiempo determinado
Δt :	diferencia de tiempo
Δz :	diferencia de cotas entre dos puntos

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de este trabajo especial de grado tiene como finalidad optimizar el sistema de distribución de agua potable del sector Guaremal, a partir de la estación de bombeo La Matica, la misma está a cargo de la compañía de HIDROCAPITAL. La situación actual de la estación es de baja eficiencia en el suministro de agua debido a las bajas presiones registradas en el sistema y a la deficiente cobertura del servicio, esto trae como consecuencia que el abastecimiento de agua presente ciclos de servicios amplios y con poca cantidad. Lo expuesto anteriormente justifica el desarrollo de este trabajo con la finalidad de mejorar el servicio de suministro de agua. El aumento progresivo la población en la zona de influencia de la estación ha originado que la demanda de agua también aumente y la estación no cumpla con los requerimientos de consumo, afectando directamente la calidad de vida de la población y el desarrollo social en la zona.

Este trabajo se fundamenta en la necesidad de garantizar un suministro eficiente de agua para las poblaciones beneficiadas por la estación, para ello se realiza un estudio completo del estado actual de la estación y se propone cuales deben ser los ajustes para mejorar el sistema. Este estudio involucra el estado de los equipos de bombeo, motores, sistema de tuberías tanto de succión como de descarga y de distribución, instalaciones eléctricas, capacidad de bombeo e infraestructura de la estación. El estudio del sistema de distribución se realizo con el motivo de determinar las posibilidades de garantizar el servicio de agua a la población en un periodo de 20 años.

Con el objetivo de garantizar un suministro eficiente se tomaron en cuenta el crecimiento continuo de la población y las necesidades de la misma y en base a esto se seleccionaron los equipos electromecánicos que cumplen con los requerimientos para el abastecimiento.



CAPÍTULO I

IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

1.1 Antecedentes de la Empresa

En 1943, el presidente de la república, Isaías Medina Angarita, inaugura el Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS), organismo de carácter público que asumía la histórica responsabilidad de hacer eficiente la prestación del servicio de agua potable en las zonas urbanas de todo el país.

El INOS planificaba el uso del recurso agua potable en función del posible crecimiento poblacional de las regiones de Venezuela, y por si fuera poca regulaba, prestaba el servicio y además construía la infraestructura necesaria.

En sus primeros 30 años, el INOS realizó todas estas tareas de forma magistral. El rol estelar que cumplió la gestión del agua y el nivel de excelencia alcanzado ubicó a nuestro instituto durante décadas como el mejor de Latinoamérica, y uno de los mejores del mundo.

Durante el año 1990, debido a las malas administraciones anteriores el estado venezolano comienza el proceso de reestructuración y liquidación del INOS, al tiempo que desconcentra el servicio de agua con la creación de las empresas hidrológicas regionales.

Estas empresas, incluyendo a HIDROCAPITAL, se convierten en responsables de la operación y administración del servicio de agua en cada región del país, bajo los lineamientos de HIDROVEN.

HIDROCAPITAL es la empresa hidrológica de la región Capital. Desde su fundación, el 11 de abril de 1991, es la encargada de administrar, operar, mantener, y ampliar y rehabilitar los sistemas de distribución de agua potable, y los sistemas de recolección y disposición de aguas potable y los sistemas de recolección de aguas servidas, en el Distrito Capital y en los estados Miranda y Vargas.

HIDROCAPITAL opera como una empresa adscrita al ministerio del Ambiente y los recursos Naturales, bajo los lineamientos de HIDROVEN, la casa matriz del sector agua potable y saneamiento.

1.2 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

1.3 Visión

Hidrocapital será una empresa 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.

1.3 Organigrama Principal

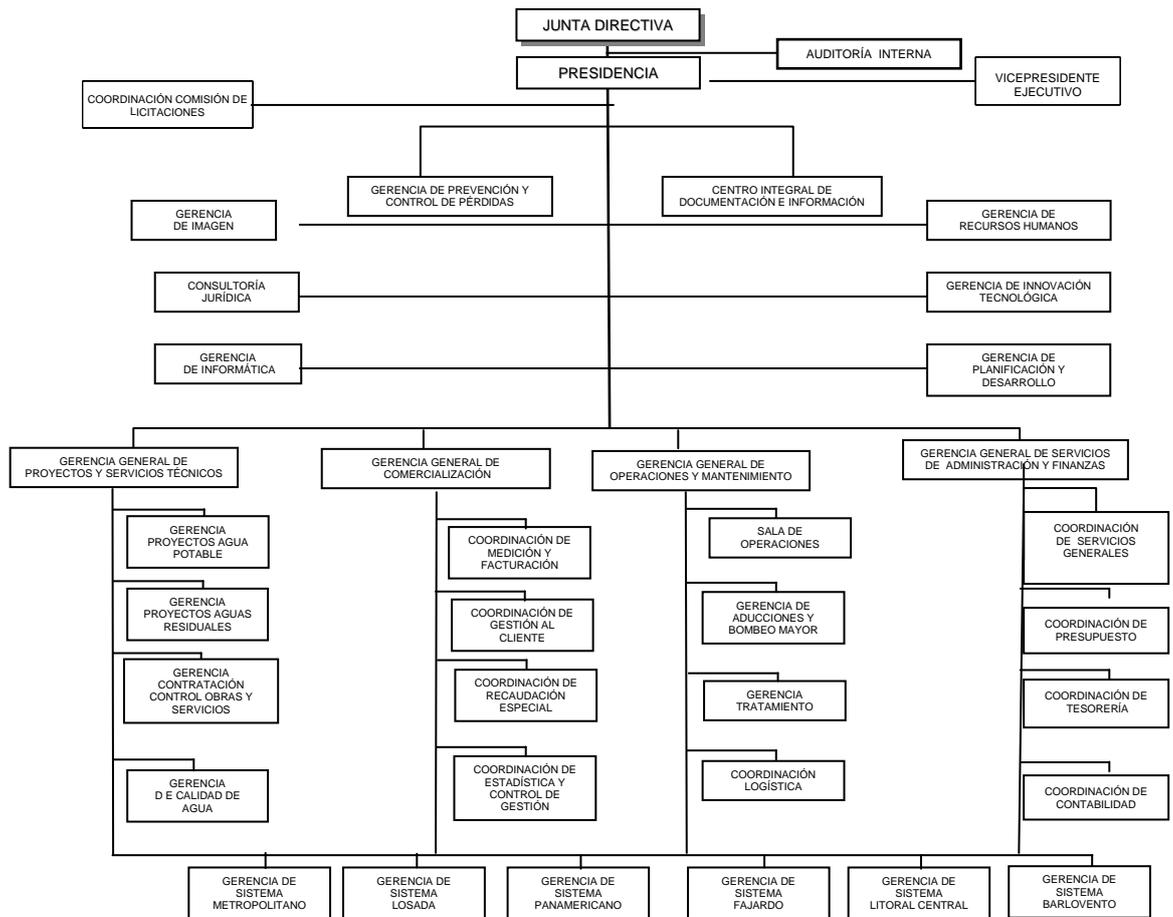


Figura 2.1 Organigrama de Hidrocapital

CAPITULO II

DEFINICIÓN DEL PROYECTO

2.1 Antecedentes

El sector Guaremal es uno de los muchos sectores que pertenecen al Municipio Guaicaipuro del Estado Miranda y como muchos de estos, son abastecidos por el Sistema Panamericano desde El Embalse La Mariposa. La forma en que se da servicio al sector es por medio de la E/B La Matica, ubicada a 1185 m.s.n.m y a unos 3,5 Km. de Guaremal, a partir del Grupo de bombeo numero 1 hacia el Estanque Principal de Guaremal ubicado a unos 1212 m.s.n.m y de éste se distribuye por la acción de la gravedad a los distintos subsectores de Guaremal. Este acueducto tiene un tiempo de servicio de más de 40 años y para la fecha no se ha elaborado estudio detallado alguno o planteamiento para la mejora del mismo.

La base para el desarrollo de este proyecto son los estudios realizados por el ingeniero Celina Matos en: Matos Medina, C. (Diciembre 2000). *Estudio del Acueducto del Municipio Guaicaipuro Estado Miranda.*

Matos Medina, C. (Junio 2003). *Actualización e Integración de los Estudios de los Acueductos de los Municipios Los Salías, Carrizal y Guaicaipuro Estado Miranda.*

2.2 Planteamiento del Problema

El agua es uno de los recursos indispensables para la vida, en especial para los seres humanos. La falta de este vital elemento trae consigo enfermedades y limita el desarrollo de los mismos. El hombre ha buscado para su establecimiento los lugares que le ofrecen mayores comodidades y facilidades para el desarrollo de sus actividades, procurando tener cerca una fuente de abastecimiento de agua, pero no siempre ha podido conseguirlo por razones diversas. Así surgió la necesidad de conducir el agua a lugares apartados, ya sea diseñando obras o ideando procedimientos que permitan la consecución del objetivo. La reunión de

las diversas obras que tienen por objeto suministrar agua a una población en cantidad suficiente, calidad adecuada, presión necesaria y en forma continua, es lo que constituye un sistema de abastecimiento de agua potable.

La concentración de la población en núcleos cada vez mayores trae consigo innegables ventajas como el mejoramiento económico, social y cultural pero también por esta causa han surgido múltiples problemas ambientales, como la contaminación, el colapso de los servicios públicos (agua, electricidad, gas, etc.) y el descontrol de la seguridad, solo por nombrar algunos.

Todo lo enmarcado con la distribución, manejo y control del agua potable se encuentra en manos de la principal empresa hidrológica del país, HIDROCAPITAL. En su constante labor por mantener un eficiente servicio de agua potable HIDROCAPITAL propone continuos proyectos para el mejoramiento del servicio de las comunidades. En esta oportunidad la comunidad a ser beneficiada es la comunidad de Guaremal.

La comunidad del sector Guaremal del Municipio Guaicaipuro Estado Miranda se encuentra ubicada en el Km. 28 de La Carretera Panamericana. Comprende un total de treinta y siete (37) subsectores, con un total aproximado de 1554 viviendas. Tiene una longitud total de 22,8 Km. de longitud total entre sus calles principales y secundarias. Su topografía es variada, comprendida entre los 1255 metros sobre nivel del mar (m.s.n.m) y los 821 m.s.n.m, caracterizándose el tipo de consumo doméstico.

La comunidad de Guaremal a causa de la deficiencia del servicio de agua en el sector, ha presentado peticiones para que se mejore las condiciones de operación de este. Actualmente el 80% de la población se encuentran dentro de un ciclo de servicio de ocho (8) días, esto es, son abastecidos una vez por semana cada subsector que conforma Guaremal. En casos particulares, existen comunidades donde el servicio es más crítico y no entran en el ciclo señalado anteriormente, siendo abastecidos cada 15 días o más, estos sectores que entra en esta clasificación la conforman el 45% de la población de Guaremal. Por lo anterior se justifica el estudio del acueducto, ya que a pesar que se logra abastecer a su población no se hace en forma regular, ni al 100% de ella.

El tipo de distribución del sector es por bombeo directo y a contra red a partir de un estación de bombeo ubicada a unos tres mil trescientos cincuenta metros (3350m) del estanque principal de Guaremal. La tubería principal de aducción abastece a más de diez sectores de gran demanda que superan las 1000 viviendas por sector.

El sector Guaremal posee un estanque principal de 300m³ de capacidad, el cual se encuentra ubicado a una cota máxima 1212 m.s.n.m respecto al resto del sector. El sistema está conformado por tuberías de diversos materiales, diámetros y longitudes.

El sistema presenta deficiencias de diversas características dentro de las cuales resaltan las bajas presiones registradas dentro de la red de distribución de Guaremal y las numerosas fallas que presentan las tuberías que conforman la red. El sistema actual de Guaremal funciona con las múltiples maniobras elaboradas para abastecer a la mayor cantidad de sectores, esto es, distribuyendo el caudal manejado por parte. A todo esto hay que agregar el tiempo de vida que tiene el sistema, el cual data desde los años sesenta (60) y también que gran parte de las tuberías implementadas en el sector han sido colocadas por la misma comunidad sin ningún tipo de accesorio calificada o de relación con la empresa hidrológica.

Igualmente hasta la fecha no se ha registrado evaluación alguna más que un proyecto realizado de manera general de todo el Municipio Guaicaipuro, siendo este: Celina Matos Medina. (Diciembre 2000). “*Estudio del Acueducto del Municipio Guaicaipuro Estado Miranda*”, de donde partirá el presente trabajo. Por tal motivo no se posee algún registro actual y exacto de los principales factores que afectan al sistema de distribución de Guaremal que en primera instancia son: la población, los parámetros de operación, el material del acueducto, los caudales manejados por la red y las presiones requeridas para un completo abastecimiento.

La elaboración del proyecto, se basa en realizar una evaluación de red de distribución actual, presentar un diagnóstico de dicha red y seguidamente se establecerá propuestas para la optimización de la misma beneficiándose así la comunidad del sector Guaremal.

Al final del proyecto se presentará un diagnóstico detallado del sistema de distribución y cuales deben ser los cambios a realizar para optimizar el sistema de distribución. Las mejoras planteadas tendrán como visión mantener un servicio eficiente a largo plazo, donde el tiempo de diseño depende de los factores que se establezcan para el desarrollo del proyecto. Todo esto enmarcado dentro de las normas que rigen a los sistemas de abastecimientos de agua.

2.3 Formulación del Problema

Tomando en cuenta los diversos factores que influyen en un sistema de abastecimiento de agua se plantean los siguientes ítems que se sustentaran a lo largo del desarrollo del proyecto, evidenciando así las causas principales que influyen en el mismo:

- Relacionar la demanda actual con el caudal manejado por el sistema.
- Monitorear la presión de descarga de la estación de bombeo La Matica, específicamente la del Grupo 1.
- Evaluar el caudal manejado por el Grupo 1 de la estación de bombeo La Matica.
- Evaluar la capacidad del tanque y monitorear sus condiciones de operación.
- Establecer los factores topográficos que influyen en la hidráulica del sistema.
- Evaluar las maniobras realizadas al sistema (válvulas).
- Comprobar las condiciones de las tuberías del sistema actual y sus parámetros de operación.
- Diagnosticar las condiciones de operación del sistema de acuerdo a sus necesidades y criterios establecidos por las normas para los sistemas de abastecimiento de agua.

2.4 Objetivos y Alcances

2.4.1 Objeto

El proyecto se caracteriza por ser del tipo descriptivo y aplicativo de acuerdo a Carlos Sabino. (1994), “*Como se Hace una Tesis*, ya que la aplicación de los conocimientos adquiridos en cuanto a la mecánica de fluidos e hidráulica es

determinante para la comprensión y manejo del problema planteado en este proyecto, así como para el desarrollo del diseño para optimizar el sistema de abastecimiento en cuestión que es en principio el alcance principal del proyecto. Adicionalmente se aplica el uso de las tecnologías disponibles que intervienen en los sistemas de abastecimientos de agua, esto es, tuberías, bombas, válvulas y demás accesorios y maquinarias, entre otros que se aplica tanto para el desarrollo, como para el diseño.

2.4.2 Objetivo General

Realizar una evaluación, diagnóstico y propuesta para la optimización del sistema de abastecimiento de agua potable del sector Guaremal Municipio Guaicaipuro Estado Miranda.

2.4.3 Objetivos Específicos

- Adquirir la información teórica relacionada con los sistemas de abastecimientos de agua.
- Establecer los parámetros de evaluación del sistema de abastecimiento de Guaremal.
- Observar y registrar las características del sector en los siguientes aspectos:
 - Tipo de población
 - Modo de distribución de la población
 - Calles que conforman el sector
 - Topografía del sector
 - Límites geográficos del sector
- Determinar la calidad del servicio de cada subsector que conforma a Guaremal.
- Determinar los censos poblacionales del sector y calcular la demanda actual.
- Estimar y pronosticar la demanda a futuro de cada subsector que conforma al sector Guaremal de acuerdo al tiempo de diseño establecido.
- Describir el modo de operación del sistema de abastecimiento de Guaremal (funcionamiento).

- Registrar los parámetros de operación del sistema (Caudal, presión, maniobras, entre otros).
- Analizar los parámetros de operación de la red actual.
- Evaluar el sistema actual de acuerdo a los datos registrados.
- Comparar los resultados de la evaluación con la data levantada de la situación actual en campo.
- Diagnosticar el sistema actual y solventar las interrogantes planteadas en cuanto a las posibles causas que afectan la operación del sistema de abastecimiento actual.
- Reportar las causas que influyen en la deficiencia del sistema.
- Establecer los criterios, parámetros y bases para la optimización del sistema de abastecimiento (diseño).
- Diseñar las propuestas para la optimización del sistema actual bajo las normas pertinentes y criterios establecidos.
- Evaluar las propuestas y formalizar los resultados de las mismas.
- Realizar los planos constructivos y de detalle de las propuestas.
- Realizar los cálculos métricos de cada propuesta.
- Presentar las propuestas a la Gerencia de HIDROCAPITAL y posteriormente a la comunidad de Guaremal.

CAPÍTULO III

FUNDAMENTO TEÓRICO

3.1 Proyecciones de Población

Las proyecciones de población constituyen uno de los aspectos más importantes en la planificación de las actividades económicas y sociales de un país. En sí, una proyección de población es el resultado de un conjunto de estimaciones laboradas mediante técnicas demográficas y estadísticas, que buscan establecer las posibles tendencias de las variaciones que experimenta la población. Es necesario aclarar que no siempre los cálculos sobre el futuro de una población son 100 por ciento exactos, ya que existen variaciones inesperadas por el efecto de un repentino cambio en el comportamiento de las variables demográficas.

El objetivo de esta sección es examinar algunas de las metodologías utilizadas con mayor frecuencia para proyectar poblaciones mediante las siguientes definiciones básicas.

3.1.1 Estimación

Es la cuantificación de algún hecho que en principio, no se obtiene por métodos de medición convencionales. Puede ser una estimación de la población o de cualquiera de los fenómenos demográficos en el pasado, presente o futuro (para una determinada fecha o lugar dado).

3.1.2 Estimación de población

Se interpreta como el número de personas que tiene o tendrá una localidad en un momento específico del tiempo. Tal número no es el producto de una medición directa, sino que para obtenerlo se tuvo en cuenta cierta información sobre la población como lo son las estimaciones del total de

habitantes de un país en diversos momentos dentro de un período intercensal, entre otras.

3.1.3 Proyecciones de Población

Es el conjunto de resultados provenientes de cálculos relativos a la evolución futura de una población, partiendo usualmente de ciertos supuestos respecto al curso que seguirán: la fecundidad, mortalidad y las migraciones. Por lo general se trata de cálculos formales que muestran los efectos de los supuestos adoptados.

El objeto de las proyecciones es calcular la magnitud y composición futura de una población basándose en un adecuado conocimiento de los hechos: demográficos, sociales y económicos, ocurridos en el presente y pasado próximo, considerando además los cambios que se prevé ocurrirán en los factores que influyen sobre la dinámica demográfica.

3.1.4 Utilidad de las proyecciones de población

Las proyecciones de población representan un insumo básico para la planificación económica y social de un país. Esto debe considerarse en relación a la doble función de la población en la sociedad, en un primer momento su participación como consumidora de bienes y servicios, y en un segundo término como la generadora de los bienes y servicios indispensables para el sostenimiento de ella misma.

Por lo tanto, la importancia de las proyecciones de población radica en la capacidad de anticipar las necesidades y capacidades básicas de un país o región a otros en un tiempo futuro.

3.1.5 Métodos Generales para Elaborar las Proyecciones

3.1.5.1 Métodos Matemáticos

Son aquellos métodos que permiten calcular la población apoyándose en la observación de las tendencias pasadas del crecimiento de la población y/o de sus componentes, utilizando dichas tendencias en la adopción de una función matemática, la misma que puede ser representada o ajustada a una línea recta, a

una curva polinómica de segundo o tercer orden, a una curva exponencial simple o modificada.

El uso de estos métodos tiene algunas de las siguientes limitaciones:

- a) Dificultad para establecer la función más adecuada que determine el comportamiento real de la población.
- b) No considera la estructura por edad de la población, según sexo y grupos de edad, y sus interrelaciones.
- c) Sólo sirven para proyectar a corto plazo.

Los métodos matemáticos más importantes son los siguientes:

Método Lineal

De acuerdo a este método, el crecimiento de la población sigue una trayectoria recta. Esto se verifica observando en la data histórica si ha habido un incremento constante en los últimos censos.

El cálculo de la población futura se realiza de acuerdo a la siguiente igualdad:

$$\text{Pob} = \text{Pob}_c + k_a \cdot \text{N}^\circ \text{años} \tag{3.1}$$

Donde

Pob : población en un tiempo en particular

Pob_c : población conocida

Nºaños : período de estimación de la proyección

k_a : tasa de cambio de la población

La constante k_a se define matemáticamente como:

$$k_a = \frac{d(\text{Pob})}{dt} \tag{3.2}$$

y se puede determinar gráficamente, o a partir de las poblaciones en censos sucesivos como:

$$k_a = \frac{\Delta \text{Pob}}{\Delta t} \tag{3.3}$$

Por lo general, este método se utiliza para proporciones en plazos de tiempo muy cortos, básicamente para obtener estimaciones de población a mitad de año.

El método lineal, supone un crecimiento constante de la población, lo cual significa que la población aumenta o disminuye en el mismo número de personas.

Método Geométrico o Exponencial

Un crecimiento de la población en forma geométrica o exponencial supone que la población crece a una tasa constante, lo que significa que aumenta exponencialmente en cada período de tiempo.

El crecimiento geométrico supone que la tasa de incremento es proporcional a la población y se describe a partir de la siguiente ecuación:

$$\frac{d(\text{Pob})}{dt} = k_e \cdot \text{Pob}_c \tag{3.4}$$

De la integración de esta ecuación se obtiene lo siguiente:

$$\text{Ln}(\text{Pob}) = \text{Ln}(\text{Pob}_c) + k_e \cdot \Delta t \tag{3.5}$$

Para verificar esta hipótesis se representa el crecimiento registrado de la población en papel semilogarítmico y se ajusta una línea recta a los datos determinando así el valor de la pendiente k_e :

$$k_e = \frac{\Delta \text{Pob}}{\Delta t} \tag{3.6}$$

Método Parabólico

En los casos en que se dispone de estimaciones de la población referidas a tres o más fechas pasadas y la tendencia observada no responde a una línea recta, ni a una curva geométrica o exponencial, es factible el empleo de una función polinómica, siendo las más utilizadas las de segundo o tercer orden.

Una parábola de segundo grado puede calcularse a partir de los resultados de tres censos o estimaciones. Este tipo de curva no sólo es sensible al ritmo medio de crecimiento, sino también al aumento o disminución de la velocidad de ese ritmo.

La fórmula general de las funciones polinómicas de segundo grado es la siguiente:

$$\text{Pob} = c_1 + c_2 \cdot t + c_3 \cdot t^2 \tag{3.7}$$

donde:

t : es el intervalo cronológico en años, medido desde fecha de la primera estimación.

Pob : es la cantidad de habitantes estimada t años después de la fecha inicial.

c_1, c_2, c_3 : son constantes que pueden calcularse resolviendo la ecuación para tres fechas censales o de estimaciones pasadas.

Al igual que en la aplicación de la curva geométrica, el empleo de una curva parabólica puede traer problemas si se extrapola la población por un período de tiempo muy largo, pues los puntos llegan a moverse cada vez con mayor rapidez, ya sea en sentido ascendente o descendente. Ello puede conducir a que en un período futuro lejano se obtengan valores de la población inmensamente grandes, o muy cercanos a cero.

3.1.5.2 Métodos Demográficos

Conocido también como método de los componentes, consiste en proyectar por separado cada grupo poblacional, según edad y sexo, a partir de la proyección de los tres elementos que componen la dinámica demográfica: natalidad, mortalidad y migraciones.

Como resultado de la aplicación de este método se obtiene la cantidad y composición futura de la población, según sexo y grupos de edad lo cual permite con posterioridad, la obtención de proyecciones derivadas sobre ciertos grupos poblacionales.

3.1.5.3 Métodos Económicos

Es posible hacer proyecciones que se basan en procedimientos que consideran los cambios demográficos, especialmente las migraciones, como fenómenos que dependen directamente de alguna variable económica importante, por ejemplo el crecimiento industrial de una región determinada.

En este tipo de proyecciones es necesario un profundo conocimiento teórico y empírico de las relaciones entre la economía y la población.

3.1.6 Cálculo de las Proyecciones de Población

Cabe mencionar que antes de elegir cualquiera de los métodos de proyección señalados anteriormente deben tomarse en cuenta ciertos criterios tanto para elegir el método adecuado como para el planteamiento de las hipótesis, a saber:

- a) Se debe conocer el tipo de información disponible: calidad, cobertura, consistencia interna y actualidad de la misma. En países como el nuestro, donde no se cuenta con buenos registros de las estadísticas vitales no nos permite contar con estimaciones confiables de los fenómenos demográficos a nivel de divisiones políticas secundarias. Por ende no es posible hacer proyecciones por el método de los componentes a nivel regional.
- b) Se debe tener en cuenta el alcance cronológico de las proyecciones. El plazo depende de las necesidades de investigación y pueden ser de largo, mediano y corto plazo (más de quince años, entre 5-15 años y hasta 5 años o menos respectivamente). Se pueden hacer proyecciones para cualquier año, pero lo más usual es hacerlas para años terminados en 0 y 5 y a mitad de año.
- c) Se deberá tener en cuenta el destino que se dará a las proyecciones. Si solamente se necesita el volumen total de la población, no sería necesario aplicar el método de los componentes. Pero si el fin de las proyecciones es la planificación a mediano plazo de la cobertura educativa de un país, entonces sí se requerirá del empleo del método de los componentes.

3.2 Principios de Mecánica de los Fluidos Aplicados a los Sistemas de Bombeo

3.2.1 Ecuación de Continuidad

En mecánica de los fluidos, la ley de la conservación de la masa se expresa mediante la ecuación de la continuidad. Dependiendo de los factores (3.8) específicos del caso de flujo sujeto a análisis, esta ecuación adopta una variedad de formas más o menos complejas. Para el efecto de este trabajo sólo será analizada para el flujo de líquidos incompresibles en tuberías consideradas inelásticas. Igualmente sólo se tomarán en cuenta los cambios en las propiedades del flujo y del fluido en la dirección principal del movimiento (método unidimensional de análisis). Así, para caracterizar cinemáticamente al régimen en una sección particular de la tubería, se hará referencia a su velocidad media, y a un valor único ρ , representativo de la densidad del fluido en tal sección. Bajo tales aspectos se tiene que:

$$V = f(x)$$

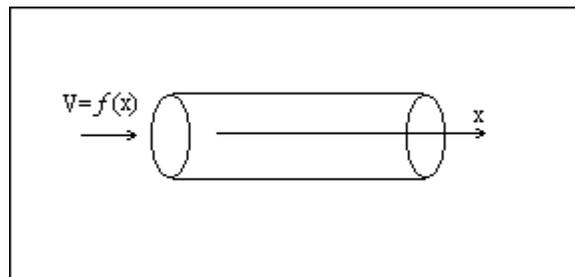


Figura 3.1 Velocidad media en dirección axial del conducto

A partir de la ecuación (3.8), y considerando que el flujo es permanente, unidimensional, de fluido considerado incompresible, se tiene la ecuación de la continuidad en términos de derivadas ordinarias:

$$\frac{d(A \cdot V)}{dx} = \frac{dQ}{dx} = 0 \tag{3.9}$$

Cuya integral es:

$$\tag{3.10}$$

$$Q = V \cdot A = \text{constante}$$

Siendo Q el caudal o volumen de fluido que pasa por la sección transversal de un conducto A en una unidad de tiempo.

La ecuación de la Continuidad es consecuencia del principio de la conservación de las masas, que dice que la masa de fluido por unidad de tiempo que atraviesa cualquier sección de un conducto permanece constante.

Si se aplica la ecuación de la continuidad en un conducto con diferentes secciones transversales se tiene que:

$$V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 = V_3 \cdot A_3 = \dots = V_n \cdot A_n \tag{3.11}$$

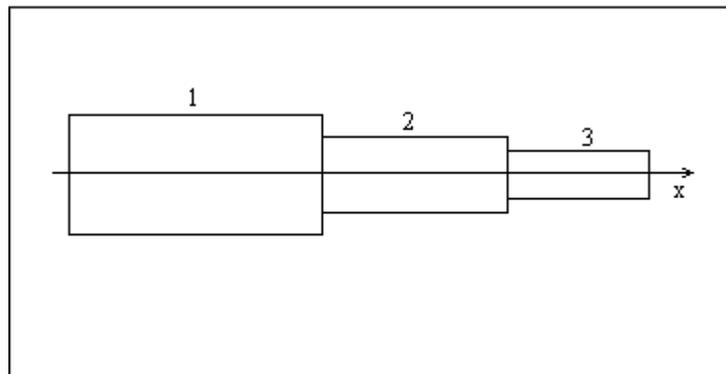


Figura 3.2 Cambios en el área de la sección transversal del conducto

Esta ecuación se cumple para flujos permanentes a través de tuberías en serie y es la forma más conocida de la ecuación de la continuidad en la hidráulica aplicada. Por otro lado, según la ecuación de la continuidad el caudal permanece constante en cualquier sección aun variando el área. Para que esta proporción se cumpla, al aumentar el área de una tubería se reduce la velocidad y viceversa.

3.2.2 Flujos de Fluidos Viscosos

Un flujo viscoso es aquel en el cual los efectos de los esfuerzos cortantes entre dos partículas de fluido que afectan el movimiento relativo entre ellas, es importante y no pueden despreciarse. Cualquier efecto viscoso que

podiera existir está confinado a una capa delgada, llamada *capa límite*, que está unida a la frontera.

Los flujos viscosos incluyen la amplia clase de los flujos internos, como los flujos en tuberías y conductos y canales abiertos. En tales flujos los efectos viscosos causan *pérdidas* sustanciales y explican las enormes cantidades de energía que hay que gastar para transportar petróleo y gas por tuberías, así como agua y otros líquidos viscosos. La condición de no deslizamiento que da pie a una velocidad cero en la pared, y los esfuerzos cortantes resultantes, generan directamente dichas pérdidas.

3.2.3 Flujos Laminares y Turbulentos

El flujo viscoso se puede clasificar como laminar o como turbulento. En el *flujo laminar* el fluido se mueve sin que haya mezcla significativa de partículas de fluido vecinas. Los esfuerzos cortantes viscosos siempre afectan los flujos laminares. El flujo puede depender considerablemente del tiempo o puede ser estable.

En un *flujo turbulento* los movimientos del fluido varían de forma irregular, de modo que las cantidades como velocidad y presión exhiben variaciones aleatorias con las coordenadas de espacio y tiempo.

El régimen de flujo depende de tres parámetros físicas que describen las condiciones de flujo. El primer parámetro es una escala de longitud del campo de flujo, como el espesor de una capa límite o el diámetro de una tubería. El segundo parámetro es una escala de velocidad tal como un promedio espacial de la velocidad. El tercer parámetro es la viscosidad cinemática.

Los tres parámetros pueden combinarse en uno solo que puede utilizarse para predecir el régimen de flujo. Esta cantidad es el **número de Reynolds**, un parámetro adimensional que se define como:

$$\text{Re} = \frac{V \cdot L}{\nu} \quad (3.12)$$

Donde L y V son una longitud y una velocidad características, respectivamente, y ν es la viscosidad cinemática. Si el número de Reynolds es relativamente pequeño el flujo es laminar; si es grande, el flujo es turbulento. Para ser más preciso al respecto, se define el número de Reynolds crítico, Re_{crit} , tal que el flujo es laminar si $Re < Re_{crit}$. En un flujo dentro de una tubería con paredes ásperas se determina que Re_{crit} es aproximadamente igual a 2000. Éste es el número de Reynolds crítico mínimo y es el que se emplea en la mayor parte de las aplicaciones de ingeniería.

3.2.4 La Ecuación de Bernoulli

Uno de los supuestos para la deducción de esta ecuación es que los efectos viscosos son insignificantes. Adicionalmente, se supone flujo estable, sin variaciones en la densidad del flujo y con marco de referencia inercial.

Se satisface, de acuerdo a los supuestos anteriores, que a lo largo de una misma línea de corriente:

$$\frac{V^2}{2} + \frac{p_e}{\rho} + g \cdot z = \text{constante} \tag{3.13}$$

Donde

V : velocidad media

p_e : presión estática

ρ : densidad del fluido

g : aceleración de la gravedad (9,807 m/s)

z : posición relativa de la sección transversal en sentido vertical

o entre dos puntos (1 y 2) de una misma línea de corriente:

$$\frac{V_1^2}{2} + \frac{p_{e1}}{\rho} + g \cdot z_1 = \frac{V_2^2}{2} + \frac{p_{e2}}{\rho} + g \cdot z_2 \tag{3.14}$$

Siendo esta la *ecuación de Bernoulli*, de acuerdo a las suposiciones hechas anteriormente.

Si dividimos esta ecuación entre g , se convierte entonces en:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 \quad (3.15)$$

La suma de los dos términos $(p_e/\gamma + z)$ se denomina *carga piezométrica* y la suma de los tres términos es la *carga total*. Otro término comúnmente utilizado la presión p_e referido como *presión estática*, y la suma de los dos términos se denomina *presión total* p_T o *presión de estancamiento*.

3.2.5 Pérdidas en Sistemas de Tuberías

Las pérdidas pueden dividirse en dos categorías: las debidas al esfuerzo cortante de pared en los elementos de las tuberías, y las debidas a los componentes de la tubería. Las primeras se distribuyen a lo largo de los elementos de la tubería. Las segundas se tratan como discontinuidades discretas en la línea de declive hidráulico y en la línea de nivel de la energía, y comúnmente se denominan pérdidas secundarias; se deben primordialmente a flujos separados o secundarios.

La cantidad de pérdida de altura o presión para un sistema dado depende de las características del líquido que se este manejando (densidad y viscosidad), así como también el tamaño de la tubería, rugosidad que este presente a lo largo de la superficie interior, caudal que se este manejando, entre otros. La rugosidad depende entonces del tipo de material y por supuesto de su acabado. Para efecto del cálculo cada material tiene su rugosidad determinada en laboratorio.

En la ecuación de Bernoulli, hablando ahora de fluidos reales, debemos introducir un nuevo término (h_f):

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_f \quad (3.16)$$

Donde h_f es la altura correspondiente a la pérdida de carga por fricción por efecto de la viscosidad.

Una gran cantidad de investigaciones se han hecho para determinar la cantidad de pérdidas por fricción para diferentes condiciones, y varias expresiones basadas sobre datos experimentales que han sido desarrolladas para el cálculo de las pérdidas por fricción. La expresión mas comúnmente usada en la práctica es la ecuación de Darcy-Weisbach. Esta ecuación contempla que la pérdida por fricción en la tubería depende de ciertas condiciones como: rugosidad de la superficie interior de la tubería, velocidad del flujo, viscosidad y diámetro.

La ecuación de Darcy - Weisbach se expresa como sigue:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (3.17)$$

Donde:

h_f : pérdida por fricción (metros o pies de líquido).

L: longitud de la tubería (m ó ft).

d : diámetro interior de la tubería (m ó ft).

V : velocidad promedio del flujo (m/s ó ft/s)

g: constante de gravedad (9.807 m/s²).

f: factor de fricción.

Para flujo laminar ($Re < 2000$) la rugosidad o condición interior de la tubería no incide directamente en la pérdida de carga por fricción (excepto en secciones con cambios de dirección), el factor de fricción se obtiene mediante la ecuación:

$$f = \frac{64}{Re} \tag{3.18}$$

Donde Re es el número de Reynolds.

Para flujo turbulento el factor de fricción se encuentra afectado por la rugosidad de las paredes interiores de la tubería y éste puede ser determinado por métodos numéricos con la ecuación implícita desarrollada por C.F Colebrook (1939):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{\epsilon}{3.71 \cdot d} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right) \tag{3.19}$$

Donde:

Re : número de Reynolds, adimensional.

f : factor de fricción.

ϵ : rugosidad absoluta de la tubería (ft).

d : diámetro interior de la tubería (ft).

Una aproximación de esta ecuación es la propuesta por Swami, la cual expresa el factor de fricción de manera explícita tal como se observa a continuación:

$$f = \frac{0.25}{\log \left(\frac{\epsilon}{3.71 \cdot d} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right)^2} \tag{3.20}$$

Las diferencias porcentuales entre los valores de f calculados según la ecuación de Colebrook y la de Swami se pueden observar en la referencia [10], donde se concluye que el cálculo mediante la ecuación (3.20) es bastante preciso para efectos de estudio de sistemas de abastecimientos de agua.

A parte de las fórmulas de Darcy – Weisbach, Colebrook y Swami, otras soluciones matemáticas han sido desarrolladas para estimar las pérdidas de presión por fricción, como lo son las fórmulas empíricas desarrolladas por Scobey, Manning y Hazen - Williams.

Las pérdidas localizadas de energía en conducciones resultan como consecuencia de la separación de la capa límite, ocasionada por las alteraciones en la geometría de los contornos. En razón de la complejidad cinemática y dinámica del régimen relacionado con la separación de la capa límite, se comprende que, casi invariablemente, la estimación de las pérdidas localizadas de energía deban conseguirse por la vía de la experimentación. Las pérdidas menores o localizadas se expresan en términos de un coeficiente de pérdida K , definido por:

$$h_f = k \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (3.21)$$

Los valores de k para las piezas especiales de uso más común en sistemas de distribución de agua han sido seleccionados después de realizar numerosos ensayos y corresponden a flujo turbulento completamente establecido.

Las pérdidas localizadas correspondientes a las siguientes condiciones y piezas especiales son las más utilizadas en este tipo de proyecto:

- Cambios en la dirección del flujo
 - Codos o curvas
 - Codos segmentados o seccionados
- Cambios en los diámetros de las tuberías
 - Expansiones graduales
 - Expansiones bruscas
 - Contracciones bruscas
 - Contracciones graduales

- Reunión y separación de flujos en tuberías a presión
 - Confluencias
 - Derivaciones
 - Orificios
- Pérdidas de energía por entrada
- Pérdidas de energía por salida
- Pérdidas localizadas de energía en válvulas

3.2.6 Envejecimiento de las Tuberías

Durante el período de servicio de una tubería, el grado de alteración que experimenta su rugosidad inicial dependerá de la calidad del agua transportada y de la naturaleza de la superficie del conducto. Esa alteración puede reducir la capacidad hidráulica del elemento de conducción, principalmente por el incremento del coeficiente de fricción y/o por la disminución sensible del área neta de flujo.

- Principales factores que afectan la capacidad hidráulica de un conducto: sedimentación, crecimientos orgánicos, depósitos minerales, corrosión y tuberculización.
- Corrosión: término que se utiliza para designar el deterioro interno o externo de las tuberías.
- Factores que determinan la corrosión interna de los conductos: la composición físico-química del agua, principalmente caracterizada por el pH, la naturaleza y concentración del contenido mineral y los gases disueltos, el diámetro de la tubería, la velocidad y la presión del flujo, la presencia de cierto tipo de bacterias, la temperatura del agua y el material de la tubería (superficie interna).
- Diversas investigaciones experimentales (detalles en referencia [10]) simplifican el crecimiento de la rugosidad con un comportamiento

lineal, según el cual, la rugosidad ϵ al cabo de T años, puede expresarse como:

$$\epsilon = \epsilon_{\text{inicial}} + \alpha \cdot t \tag{3.22}$$

Donde:

$\epsilon_{\text{inicial}}$: rugosidad inicial de la tubería

α : coeficiente de proporcionalidad

Para la estimación del coeficiente de proporcionalidad que aparece en la ecuación anterior, Levin (referencia [10]) propone una relación entre ϵ y las características del agua resumidas en la siguiente tabla:

Grupo	Características del Agua	Valores de α (mm/año)		
		Mínimo	Medio	Máximo
1	Aguas poco mineralizadas, no agresivas, con poco contenido de minerales y de materia orgánica.	0,005	0,025	0,055
2	Aguas poco mineralizadas pero corrosivas (pH reducido), de contenido de hierro y materia orgánica inferior a 3 mg/l	0,055	0,070	0,180
3	Agua muy corrosiva (pH muy bajo), contenido de cloruros y sulfatos menores de 150 mg/l y hierro superior a 3 mg/l	0,180	0,200	0,400
4	Aguas corrosivas (pH reducido), contenido de cloruros y sulfatos entre 500 y 700 mg/l, considerable materia orgánica	0,400	0,510	0,600
5	Aguas muy mineralizadas, de gran dureza, pH superior a 7, residuo sólido superior a 2000 mg/l.	0,600	0,700	1,000

Tabla 3.1 Características del agua y su relación con α

3.2.7 Cavitación

El complejo fenómeno denominado cavitación se produce cuando por efectos de la viscosidad (pérdidas de carga por fricción) el flujo en una tubería a presión alcanza la presión de vapor del líquido a la temperatura de operación. Luego se generan cavidades saturadas de vapor que sometidas a los gradientes de presión que prevalecen en esa región del movimiento, estas burbujas de vapor, por su baja densidad, pueden adquirir una considerable velocidad, y se condensarán cuando se vean transferidas a zonas de mayor presión. Aquéllas que entren en contacto con un contorno de la tubería o con una de las partes de algún dispositivo que en ellas se encuentre instalado, determinarán vibraciones, ruidos y esfuerzos de impactos de gran magnitud, que afectan el comportamiento de las obras civiles y/o de los componentes mecánicos.

En general, el proceso de deterioro no es instantáneo sino progresivo, diferenciándose un período inicial donde el material se fatiga debido a las continuas implosiones de las burbujas de vapor, hasta que comienza la destrucción propiamente dicha. A partir de este momento, el fenómeno junto con sus consecuencias se acelera, ya que debido al surgimiento de nuevas irregularidades, se multiplicarán los puntos potenciales creadores de bajas presiones y por ende se ampliará la zona de influencia destructiva del fenómeno.

La cavitación es capaz de acabar con superficies hechas con los materiales más resistentes, tales como el acero, el concreto, y las fibras epóxicas. Por tales motivos, este complejo fenómeno constituye una limitación importante en la definición altimétrica de las tuberías, y en la selección de las válvulas, medidores de flujo, piezas especiales y unidades de bombeo.

La cavitación en una bomba puede ser detectada por el ruido que se produce dentro de la carcasa, así como la formación de profundas

perforaciones y erosión general sobre el lado inferior de los vanos cerca de la entrada del impulsor.

La cavitación normalmente ocurre en el impulsor de una bomba centrífuga, y los daños causados por la misma pueden inutilizar el impulsor en tan solo unas cuantas semanas de operación continua.

Aunque el término cavitación se aplica a la formación de burbujas de vapor, también se usa para referenciar algunas manifestaciones de la actividad de dichas burbujas tales como:

- Erosión y picaduras en la superficie del metal.
- Caída de la capacidad de altura debido a la turbulencia.
- Limitaciones de flujo debido al bloqueo del pasaje del flujo.
- Ruidos o traqueteos causados por la formación de las burbujas de vapor.

De acuerdo con la intensidad, nivel de ruidos y daños, se han propuesto diversas clasificaciones para la cavitación. Una de estas clasificaciones es la siguiente:

- *Cavitación Incipiente*: corresponde a la aparición de la cavitación. El ruido que la acompaña proviene de un débil burbujeo intermitente y no han de esperarse daños por vibración o erosión de las partes del dispositivo expuestas al flujo.
- *Cavitación Crítica*: en este nivel se presenta un ruido característico, claramente perceptible. Aunque es una fase más severa que la cavitación incipiente, no se producen daños apreciables. Por esta razón, tal nivel de cavitación es a veces adoptado como límite a los efectos de diseño.
- *Daño Incipiente*: Esta fase corresponde a la aparición de la erosión en los contornos sólidos debido al impacto de las cavidades condensadas sobre tales contornos. Las vibraciones y el ruido alcanzan niveles considerablemente superiores a los correspondientes a la cavitación crítica.

- *Estrangulamiento por Cavitación*: condición en la cual la presión de vapor prevalece en toda la región de flujo adyacente a la salida del dispositivo, y por lo tanto, una disminución de la presión del líquido aguas abajo de esa región no produce aumento de caudal. En esta situación se dice que el flujo está estrangulado y los daños se producen generalmente aguas abajo del dispositivo cuyo funcionamiento hidráulico determina la cavitación.

La cavitación también se puede clasificar como:

- *Cavitación General*: ocurre cuando la presión media del sistema alcanza la presión de saturación.
- *Cavitación Local*: causada por obstrucciones.
- *Cavitación Transitoria*: causada por arranques bruscos, aumento de r.p.m., etc.
- *Cavitación Permanente*: es la más peligrosa ya que produce el desgaste continuo sobre las partes metálicas.

3.2.8 Régimen Permanente

Los sistemas de conducción de fluidos están caracterizados por una operación estable o casi estable durante la mayor parte de sus períodos de funcionamiento y, por consiguiente, el respectivo régimen se clasifica como permanente. En este tipo de movimiento las ecuaciones fundamentales de la hidráulica se simplifican notablemente, y tanto más cuando se las refiere al régimen unidimensional, turbulento, de un líquido considerado como incompresible, que se verifica en un conducto de sección circular.

3.2.8.1 Principio de la Energía

La Primera Ley de la Termodinámica define un sistema con cambio de estado, entre un punto inicial 1 a otro final 2, como:

$${}_1Q_2 = E_2 - E_1 + {}_1W_2 \quad (3.23)$$

Donde ${}_1Q_2$ es el calor transmitido al sistema durante el proceso del estado 1 al 2, E_1 y E_2 son los valores inicial y final de la energía E del sistema, y ${}_1W_2$ es el trabajo efectuado por el sistema durante el proceso.

En una turbomáquina el calor generado en su volumen de control se considera igual a cero. Por unidad de masa, esta ecuación se representa como:

$$\frac{E_2 - E_1}{m} = \frac{W}{m} \quad (3.24)$$

Es decir

$$e_2 - e_1 = L \quad (3.25)$$

Donde e_1 y e_2 es el valor inicial y final de la energía específica, y L es el trabajo específico efectuado por el sistema.

Para bombas o turbomáquinas generadoras, el trabajo específico es igual a la energía específica en la salida menos la energía específica en la entrada, esto es:

$$L = e_s - e_e \quad (3.26)$$

Sustituyendo los valores representativos de la energía específica en cada punto se obtiene la siguiente ecuación:

$$L = \left(u_s + p_s \cdot v_s + g \cdot z_s + \frac{V_s^2}{2} \right) - \left(u_e + p_e \cdot v_e + g \cdot z_e + \frac{V_e^2}{2} \right) \quad (3.27)$$

Esta ecuación describe el comportamiento de una turbomáquina sin variación de densidad ni temperatura; es decir, una turbomáquina hidráulica.

Despreciando los términos que no afectan significativamente el valor de L , la ecuación anterior se reduce a:

$$L = \frac{p_s - p_e}{\rho} + g \cdot (z_s - z_e) + \frac{V_s^2 - V_e^2}{2} \quad (3.28)$$

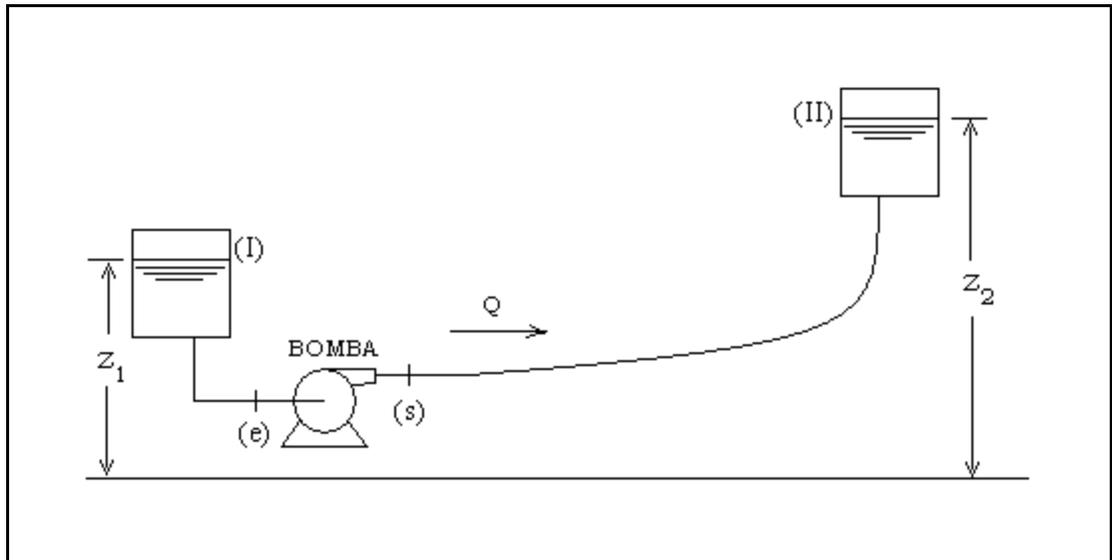


Figura 3.3 Esquema general de un sistema de bombeo

Aplicando la ecuación de Bernoulli entre I y la entrada de la bomba (e) se obtiene la relación:

$$u_I + \frac{p_I}{\rho} + g \cdot z_I + \frac{V_I^2}{2} = u_e + e_e + g \cdot hf_{I_e} \quad (3.29)$$

Esto es igual a:

$$e_e = \frac{p_I}{\rho} + g \cdot z_I + \frac{V_I^2}{2} - g \cdot hf_{I_e} \quad (3.30)$$

Igualmente entre la salida de la bomba (s) y el punto II:

$$u_s + e_s = u_{II} + \frac{p_{II}}{\rho} + g \cdot z_{II} + \frac{V_{II}^2}{2} + g \cdot hf_{s_II}$$

$$e_s = \frac{p_{II}}{\rho} + g \cdot z_{II} + \frac{V_{II}^2}{2} + g \cdot hf_{s_II}$$

Por lo tanto, el trabajo específico es igual a:

$$L = \frac{p_{II} - p_I}{\rho} + g(z_{II} - z_I) + \frac{V_{II}^2 - V_I^2}{2} + g(hf_{I_e} + hf_{s_II}) \tag{3.31}$$

Si dividimos esta ecuación entre g , la curva del sistema queda definida como:

$$H = \frac{p_{II} - p_I}{\gamma} + (z_{II} - z_I) + \frac{V_{II}^2 - V_I^2}{2g} + hf_{I_e} + hf_{s_II} \tag{3.32}$$

Donde hf_{I_e} y hf_{s_II} representan las pérdidas de carga en las tuberías de succión y de descarga, respectivamente. Esta es la ecuación de energía y se puede aplicar a cualquier flujo uniforme estable con una entrada y una salida.

Se llama “carga” a la pérdida de carga porque tiene dimensiones de longitud. También se puede referir a $V^2/2g$ como carga de velocidad y a p/ρ como carga de presión, porque estos términos también tienen dimensiones de longitud.

3.2.8.2 Análisis de Redes de Tuberías

Las metodologías de cálculo se fundamentan en las siguientes ecuaciones:

- Continuidad:

$$Q = V \cdot A = \text{constante} \tag{3.10}$$

- Energía:

$$H_2 + h_{f_2} + h_L + h_{f_1} = H_1 \tag{3.33}$$

- Cantidad de Movimiento:

$$F = \rho \cdot Q_1 \cdot V_1 + \rho \cdot Q_2 \cdot V_2 + \dots + \rho \cdot Q_n \cdot V_n \quad (3.34)$$

Por lo general, los planteamientos formulados sobre la base de las ecuaciones anteriores originan sistemas de ecuaciones no lineales que se resuelven sin mayores dificultades utilizando métodos de cálculo numérico.

Los métodos más utilizados en el análisis de redes son los siguientes:

- Método Gráfico
- Métodos Numéricos
- Método Lineal o de las Características
- Método de Hardy Cross
- Método de Newton – Raphson

En el **método gráfico** se requiere determinar los siguientes aspectos:

1. Definir los nodos.
2. Definir las ecuaciones que describen el comportamiento de los ramales utilizando la ecuación de la energía (3.33) calculada para cada caso.
3. Simplificar la red en ramales equivalentes.
4. Determinar el punto de trabajo (sistema, ramales y bombas) gráficamente.

La linealización de las ecuaciones de energía del sistema, o **método lineal**, se realiza con la finalidad de analizar la red y determinar los caudales en cada tramo de la misma. Para ello es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Representar la red de acuerdo a las ecuaciones que la definen mediante el balance de energía (ecuación 3.33).
2. Linealizar las ecuaciones descomponiendo los términos de segundo orden $(Q_i)^2$ en el producto de un valor discreto Q_i' y la variable de caudal Q_i , es decir:

$$(Q_i)^2 = |Q'_i| \cdot Q_i \tag{3.35}$$

3. Suponer una estimación inicial de los flujos Q'_i en cada tubería cumpliendo con la condición de continuidad.
4. Resolver el sistema de ecuaciones linealizadas.
5. Actualizar los caudales en cada tubo Q_i .
6. Repetir los pasos 4 y 5 hasta que se logre la exactitud deseada.

Para analizar una red mediante el **método de Hardy Cross**, los pasos generales a seguir son los siguientes:

1. Plantear las ecuaciones que definen a cada tramo de la red.
2. Definir un ajuste de flujo ΔQ para cada ciclo.
3. Suponer una estimación inicial de los caudales de tránsito de cada tramo que satisfaga la continuidad (ecuación 3.10).
4. Para cada ciclo o camino, evaluar el caudal correctivo ΔQ con la siguiente ecuación:

$$\delta Q = \frac{-\sum (K)_i \cdot Q_i \cdot (|Q_i|)^{n-1}}{\sum n \cdot |K_i \cdot (Q_i)^{n-1}|} \tag{3.36}$$

5. Actualizar los flujos en cada tubo de todos los ciclos sumando algebraicamente el caudal correctivo ΔQ a los caudales de tránsito correspondientes:

$$Q_i = Q_{o_i} + \sum \delta Q \tag{3.37}$$

6. Repetir los pasos 4 y 5 hasta conseguir la exactitud deseada.

3.2.9 Régimen Transitorio

Todos los sistemas de conducción de fluidos están sometidos, por diversas causas, a modificaciones temporales de las magnitudes medias de flujo que, generándose en ciertas secciones de los conductos por la acción de algún dispositivo o máquina instalada en la línea, o durante los vaciados y llenados de

las tuberías, se propagan en forma de ondas elásticas a todo el resto del sistema. Estas modificaciones producen el efecto de sobrepresión.

Las sobrepresiones son sobrecargas bruscas y transitorias que ocurren en las tuberías de aducción, causada por el efecto pulsátil de la onda irruptiva generada por un cambio abrupto de la velocidad del agua dentro de dicha tubería. Este efecto es también conocido como "golpe de ariete" o "ariete hidráulico" (waterhammer).

La columna de agua circulando a determinada velocidad posee una cierta cantidad de energía cinética que debe ser disipada al interrumpirse bruscamente el flujo. Si la tubería fuese completamente rígida, la única forma de disipar esta energía sería por compresión de la columna de agua. Tomando en cuenta que la tubería posee cierto grado de elasticidad, parte de la energía de velocidad será utilizada para ensanchar la tubería y el resto se transformará en energía potencial de compresión sobre el agua.

Al cerrar instantáneamente o parar el equipo de bombeo, la compresión del agua y la expansión de la tubería comienzan en el punto de cierre, transmitiéndose hacia arriba a una velocidad determinada, conocida como velocidad de la onda de presión o celeridad de la onda.

Cuando la onda de presión llega al extremo superior de la tubería, la totalidad de la columna de agua ha sido comprimida, la tubería se ha expandido en toda su longitud y la velocidad reducida a cero. Por tanto, la energía cinética se ha transformado en energía potencial, y el agua y la tubería han sido deformadas elásticamente.

Esta condición de energía potencial almacenada es inestable, y debido a que el agua en la tubería se encuentra ahora a una presión superior a la del depósito, ésta comenzará a fluir en dirección contraria.

Este fenómeno se repite al volver la tubería a su forma original y una nueva onda de presión se produce.

Debido a la complejidad de las ecuaciones descriptivas y los múltiples factores que intervienen el golpe de ariete, la selección del medio de protección más adecuado para un caso particular, implica cálculos sucesivos donde se prueban diversas estructuras y dispositivos hasta identificar aquella solución que mejor se adapta al problema que se analiza, tanto desde el punto de vista técnico como económico.

El golpe de ariete en estaciones de bombeo está relacionado, generalmente, con la puesta en servicio y desconexión de los grupos, así como también, con el tipo y características del accionamiento de las válvulas previstas en los múltiples de entrada y de salida. Durante la operación normal del bombeo, y siempre que existan válvulas de accionamiento controlado, las fluctuaciones transitorias podrán atenuarse, en la mayoría de los casos, mediante la especificación acertada de los tiempos de cierre y apertura de esos dispositivos.

Usualmente en líneas de bombeo el caso crítico de golpe de ariete se relaciona con la detención en emergencia de las motobombas, por averías electro-mecánicas o por fallas en el suministro de energía a la estación. En este caso, el accionamiento apropiado de las válvulas de control en el múltiple contribuye en forma apreciable a mitigar los efectos del golpe de ariete. Este recurso será más efectivo cuanto mayor sea la velocidad de giración inversa que admita el conjunto moto-bomba puesto que, de esta manera, se puede incrementar el tiempo de cierre de estas válvulas. Adicionalmente a esto, mientras mayor sea el momento de inercia de los grupos moto-bomba más lentamente se detendrán y menores serán los efectos transitorios.

3.2.9.1 Descripción Matemática del Régimen Transitorio en Tuberías

Las ecuaciones descriptivas del movimiento transitorio en tuberías a presión deben formularse tomando en cuenta las características que definen este tipo de movimiento admitiendo la variabilidad temporal de las magnitudes del flujo y la elasticidad del líquido y del conducto.

Tales ecuaciones son las de continuidad y movimiento. Para este caso de flujo, dentro del enfoque unidimensional de análisis, y con la limitación de ser aplicables a líquidos y a conductos circulares de propiedades únicas y poco elásticos, las respectivas ecuaciones adoptan las formas siguientes:

- Ecuación de la Continuidad:

$$V \cdot \frac{dh}{dx} + \frac{dh}{dt} + V \cdot \text{sen} \alpha_t + \frac{a^2}{g} \cdot \frac{dV}{dx} = 0 \quad (3.37)$$

en la cual:

V: velocidad media del flujo

α_t : ángulo de inclinación de la tubería

h: altura piezométrica

g: aceleración de la gravedad

x: dirección del movimiento

a: velocidad de propagación de las magnitudes del flujo

t: tiempo

- Ecuación Dinámica del Movimiento:

$$\frac{dh}{dx} + \frac{V}{g} \cdot \frac{dV}{dx} + \frac{1}{g} \cdot \frac{dV}{dt} + f \cdot \frac{V \cdot |V|}{2g \cdot D} = 0 \quad (3.38)$$

En esta ecuación f es el coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach y la expresión cuadrática en el término que evalúa los efectos de la fricción se decompone de esta forma para que ese término invierta su signo cuando lo haga la velocidad en la evolución del régimen transitorio.

- Velocidad de Propagación de las Ondas Elásticas o Perturbaciones de las Magnitudes de Flujo:

$$a = \sqrt{\frac{\frac{E}{\rho}}{1 + \frac{E \cdot D}{E_c \cdot e}} \cdot C} \quad (3.39)$$

en la cual:

a : velocidad de propagación de las perturbaciones

E : módulo de elasticidad del líquido

E_c : módulo de elasticidad del material del conducto

ρ : densidad del agua

D : diámetro del conducto

e : espesor del conducto

C : factor de colocación de la tubería

Las ecuaciones (3.37) y (3.38) conforman un sistema de ecuaciones en derivadas parciales no lineales, cuya integración analítica, sujeta a condiciones de contorno, o es imposible o excesivamente compleja. Se utilizan, entonces, procedimientos numéricos orientados a la definición de las funciones:

$$V = f(x,t)$$

$$h = g(x,t)$$

que constituyen la solución al régimen transitorio.

De una manera aproximada, los efectos transitorios en un sistema de conducción mediante tuberías a presión pueden caracterizarse por los siguientes parámetros:

$$\xi = \frac{a \cdot V_0}{g \cdot h_0} \tag{3.40}$$

$$\tau_c = \frac{T_v}{\left(\frac{2 \cdot L}{a}\right)} \tag{3.41}$$

En estas expresiones: a es la velocidad de propagación de las perturbaciones; V_0 y h_0 son los valores de la velocidad y de la altura piezométrica relacionados con el régimen permanente; T_v es un tiempo indicativo de la rapidez de los cambios en las condiciones de borde del sistema de conducción que originan el régimen transitorio; y L es la longitud del

conducto. En general, los efectos de este tipo de movimiento serán tanto más severos cuanto mayor sea el parámetro ξ y menor τ_c .

En el cálculo de la celeridad de las ondas elásticas, ecuación (3.39), el factor de colocación de la tubería C , depende de las restricciones en la tubería y de su tipo, y se define de acuerdo con las siguientes indicaciones:

- Tubería de acero o de plástico con juntas de soldadura en toda su extensión, anclada de forma tal que mantiene constante su longitud.

$$C = 1 - \mu^2 \tag{3.42}$$

donde μ representa la relación de Poisson.

- Tubería de acero con juntas mecánicas, o soldadas pero con frecuentes juntas de expansión, de longitud constante; tuberías de asbesto-cemento; de hierro fundido dúctil, de plástico, todas estas últimas con juntas que no admitan esfuerzos longitudinales y que absorban pequeñas deformaciones axiales. $C = 1$.
- Tuberías de acero con juntas de soldadura a todo lo largo de su eje y colocadas de forma tal que no se restringe la deformación axial global:

$$C = \frac{5}{4} - \mu \tag{3.43}$$

- Tuberías de concreto reforzado: en la ecuación (3.39) se utiliza como valor de Ec el módulo de elasticidad del acero siempre que para e se introduzca un espesor equivalente dado por la expresión:

$$e_e = E_r \cdot e_c + \frac{A_s}{l_s} \tag{3.44}$$

en la cual:

e_e : espesor equivalente

E_r : relación entre el módulo de elasticidad del concreto y del acero

e_c : espesor de concreto

A_s : área transversal del acero de refuerzo

l_s : espaciamiento de las barras o cables del acero de refuerzo

En la tabla siguiente se indica el módulo de elasticidad E_c de los materiales más comunes que se utilizan en la fabricación de tuberías y sus respectivas relaciones de Poisson:

Material	E_c (kgf/cm ²)	μ
Acero	$2,10 * 10^6$	0,30
Hierro Fundido Dúctil	$0,98 * 10^6$	0,25
Hierro Galvanizado	$1,687 * 10^6$	0,26
Concreto	$0,21 * 10^6$	0,10 – 0,15
Asbesto – cemento	$0,24 * 10^6$	-
Polietileno	$8,15 * 10^6$	0,46

Tabla 3.2 Módulos de elasticidad y relación de Poisson de algunos materiales

3.2.9.2 Formas Simplificadas de las Ecuaciones Descriptivas del Golpe de Ariete

Las formas simplificadas de las ecuaciones fundamentales (3.37) y (3.38) que describen el régimen transitorio son las siguientes:

- Ecuación de la continuidad:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{-a^2}{g} \cdot \frac{dV}{dx} \tag{3.45}$$

- Ecuación de movimiento

$$\frac{dH}{dx} = \frac{-1}{g} \cdot \frac{dV}{dt} \tag{3.46}$$

Las soluciones generales de estas ecuaciones son:

$$H - H_o = f\left(t - \frac{x}{a}\right) + F\left(t + \frac{x}{a}\right) \quad (3.47)$$

$$V - V_o = \frac{1}{a} \cdot \left(f\left(t - \frac{x}{a}\right) - F\left(t + \frac{x}{a}\right) \right) \quad (3.48)$$

3.2.9.3 Método de Allievi para el Cálculo de Golpe de Ariete

Se fundamenta en las ecuaciones (3.47) y (3.48) y su aplicación tradicionalmente se limita al análisis de golpe de ariete ocasionado por el accionamiento de una válvula instalada en el extremo aguas debajo de una tubería de diámetro constante que se alimenta de un estanque aguas arriba, cuyo nivel permanece invariable con el tiempo.

El caso más desfavorable de golpe de ariete para la configuración antes descrita lo representa el cierre completo de la válvula en tiempos menores o iguales al tiempo de fase y resulta el conocido valor extremo de sobrepresión:

$$H_a = \frac{a \cdot V_o}{g} \quad (3.49)$$

en el cual V_o es la velocidad del régimen permanente. El tiempo de fase o tiempo crítico está representado por la relación:

$$t_c = 2 \frac{L}{a} \quad (3.50)$$

donde L es la longitud total de la tubería.

3.2.9.4 Método Gráfico Simplificado de Bergeron

Este método se fundamenta en las ecuaciones integrales (3.47) y (3.48) las cuales se utilizan para obtener las ecuaciones que definen las conocidas rectas de Bergeron. Estas rectas se comportan de acuerdo a la siguiente expresión:

$$h(t_B, x_B) = h(t_A, x_A) + \frac{a}{gA} \cdot [Q(t_B, x_B) - Q(t_A, x_A)] \quad (3.51)$$

La ecuación anterior establece una relación lineal entre los valores definidos para la condición de A, (Q_A, H_A) , y B, (Q_B, H_B) , para tiempos t_A y t_B respectivamente, siempre que se cumpla la relación: (3.52)

$$x_B = x_A - (t_B - t_A) \cdot a$$

Entonces, conocidas las condiciones en A, se pueden relacionar linealmente con las condiciones del flujo en una sección aguas arriba de ésta para un tiempo $(t_A + L/a)$ siempre que la distancia que las separe a ambas secciones sea L.

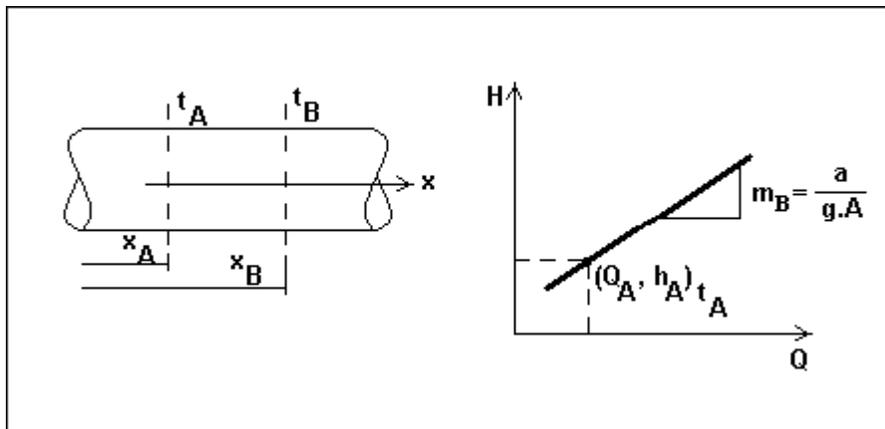


Figura 3.4 Recta Positiva de Bergeron

De la misma manera ocurre para el caso en que la pendiente de la ecuación (3.51) sea negativa: $m_B = - a / (g.A)$.

3.2.9.5 Método Gráfico Mejorado

Existen numerosas condiciones de operación en instalaciones de bombas centrífugas manejadas por motores eléctricos que son capaces de producir cambios sustanciales de presión en las líneas de descarga. Una de las más importantes es la desaceleración violenta de los grupos motobomba debido a fallas por desconexión eléctrica.

Cuando se interrumpe el suministro de energía eléctrica al motor, la única energía que mantiene el movimiento de la bomba en el sentido original es la energía cinética del conjunto en rotación conformado por el rotor del motor, el rodete, los elementos transmisores de la potencia mecánica y el agua en movimiento en la bomba.

A medida que la velocidad de la bomba se reduce, de la misma manera lo hace el flujo de agua en la descarga de la bomba. Estas ondas de presión no estables se mueven rápidamente hacia la línea de descarga donde se produce una reflexión de dichas ondas. Seguidamente, la velocidad de la bomba se reduce hasta el punto en que el flujo de agua se detiene. Si no hay válvula de control en la línea de la bomba, el flujo se devuelve a través de esta a pesar de que la bomba podría estar rotando aún en el sentido original de rotación.

En este momento, la velocidad de la bomba se reduce más rápidamente hasta que se detiene hasta que unos instantes después, comienza girar en sentido contrario operando como una turbina. Mientras la bomba sigue girando en sentido contrario el flujo se reduce nuevamente produciendo un aumento de la presión a lo largo de la tubería de descarga.

Los factores más importantes a ser considerados para realizar el estudio de golpe de ariete por detención accidental del grupo motobomba son: el momento de inercia de la masa del conjunto en rotación, la característica de la bomba y el fenómeno de transmisión de las ondas perturbadoras en la línea de descarga.

La ecuación dinámica de giración del conjunto motobomba es:

$$M = \frac{-W \cdot R^2}{g} \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{dN}{dt} \tag{3.53}$$

Para un intervalo de tiempo muy pequeño $\Delta t = t_2 - t_1$, esta ecuación se escribe aproximadamente como sigue:

$$\frac{M_1 + M_2}{2} = -\frac{W \cdot R^2}{g} \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{N_1 - N_2}{\Delta t} \tag{3.54}$$

Se considera el valor de $\square = M / M_0$ como el valor de par relativo al par del conjunto en condiciones permanentes, referido a la característica de la bomba para efectos de resolución gráfica de los transitorios hidráulicos.

El desarrollo completo de este método se encuentra más detallado en la referencia [12] de la bibliografía.

3.2.9.6 Reflexión de la Onda de Perturbación en Confluencias

Considerando la derivación de la figura 3.5, de acuerdo con las ecuaciones (3.47) y (3.48) aplicadas en cada tramo de tubería, se obtienen los factores de transmisión y reflexión de la onda que llega a la confluencia de tal manera que:

$$F_2 = F_3 = s \cdot F_1 \tag{3.55}$$

$$f_1 = r \cdot F_1 \tag{3.56}$$

donde

$$s - r = 1 \tag{3.57}$$

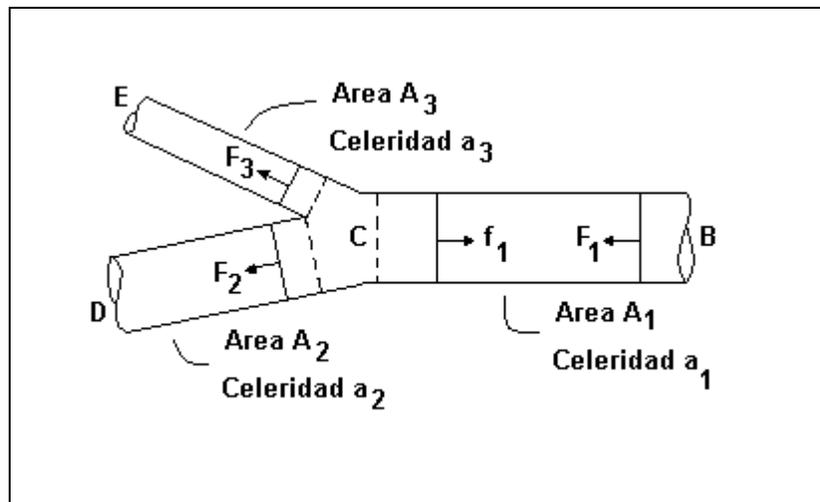


Figura 3.5 Transmisión de las ondas de perturbación en una derivación en “Y”

En estas ecuaciones, r y s son los factores de transmisión y reflexión de la onda de perturbación, respectivamente. Estos factores dependen del área de la sección transversal y de la velocidad de propagación de la onda de cada sección de tubería. Los valores de estos factores se hallan con las ecuaciones:

$$s = \frac{2 \frac{A_1}{a_1}}{\frac{A_1}{a_1} + \frac{A_2}{a_2} + \frac{A_3}{a_3}} \tag{3.58}$$

$$r = \frac{\frac{A_1}{a_1} - \frac{A_2}{a_2} - \frac{A_3}{a_3}}{\frac{A_1}{a_1} + \frac{A_2}{a_2} + \frac{A_3}{a_3}} \tag{3.59}$$

De acuerdo a las ecuaciones (3.51) y (3.52), se nota que en cada confluencia que alcanza una perturbación se produce una reflexión de la onda f_1 y una transmisión de igual magnitud $F_2 = F_3$ hacia los tramos CD y CE.

3.3 Criterios Básicos Para el Diseño de un Sistema de Abastecimiento de Agua

3.3.1 Consumo de Agua

Esta información es de vital importancia en el diseño de sistemas de abastecimiento de agua. Se ha llegado a aproximaciones bastante precisas del consumo de agua de acuerdo a estudios realizados que permiten asignar cifras para las dotaciones de agua tomando en cuenta el uso de la tierra, la zonificación, y en otros casos las características de la población, expresándolas en litros/día/parcela, litros/persona/día, o, en casos de industrias, en función del tipo y de la unidad de producción.

Estas cifras conducen a la determinación de un gasto o consumo medio, lo cual ha de constituir la base de todo diseño, requiriéndose, por tanto, un conocimiento cabal de estas estimaciones.

En nuestro país se define Medio Rural a zonas con población menor de 5.000 habitantes, y Sector Urbano a aquellas zonas con más de 5.000 habitantes.

Las normas INOS sugieren como consumos mínimos permisibles para objeto de diseño de sistemas de abastecimiento de agua, los indicados en la siguiente tabla:

POBLACIÓN	Servicios con Medidores (litros/persona/día)	Servicios sin Medidores (litros/persona/día)
Hasta 20.000 habitantes	200	400
De 20.000 a 50.000 habitantes	250	500
Más de 50.000 habitantes	300	600

Tabla 3.3 Consumos mínimos permisibles según las normas INOS

3.3.2 Factores que Afectan el Consumo

3.3.2.1 Tipo de Comunidad

- *Consumo Doméstico*: constituido por el consumo familiar de agua de bebida, lavado de ropa, baño y aseo personal, cocina, limpieza, riego de jardín, lavado de carro y adecuado funcionamiento de las instalaciones sanitarias
- *Consumo Comercial o Industrial*: puede ser un gasto significativo en casos donde el área a desarrollar tenga una vinculación industrial o comercial. En tal caso, las cifras de consumo deben basarse en el tipo de industria y comercio. Cuando el comercio o industria constituye una situación tal como pequeños comercios o industrias, hoteles, estaciones de gasolina, etc., ello puede ser incluido y estimado dentro de los consumos per. Capita adoptados, y diseñar en base a esos parámetros.

- *Consumo Público:* Está constituido por el agua destinada al riego de zonas verdes, parques y jardines públicos, así como la limpieza de las calles.
- *Consumo por Pérdida en la Red:* Es motivado por juntas en mal estado, válvulas, conexiones defectuosas y pueden llegar a representar de 10 a un 15 por 100 del consumo total.
- *Consumo por Incendio:* En términos generales, puede decirse que un sistema de abastecimiento de agua representa el más valioso medio para combatir incendios, y que en el diseño de alguno de sus componentes este factor debe ser considerado de acuerdo a la importancia relativa en conjunto y de lo que puede representar para el conglomerado que sirve.

3.3.2.2 Factores Económicos-Sociales

Las características económicos-sociales de una población pueden evidenciarse a través del tipo de vivienda. En este sentido, investigaciones realizadas, presentan algunas consideraciones que permiten evaluar este factor, al analizar para diversas zonas del país los consumos de agua en diferentes tipos de viviendas.

	Rancho		Casa		Vivienda Rural		Casa Quinta	
	l/Viv./día	l/pers/día	l/Viv./día	l/pers/día	l/Viv./día	l/pers/día	l/Viv./día	l/pers/día
Máximo	693 marzo	100 marzo	951 marzo	139 marzo	1.015 marzo	156 marzo	1.211 marzo	274 marzo
Mínimo	473 junio	71 junio	728 junio	106 junio	885 junio	139 junio	961 junio	193 junio
Promedio	562	85	849	127	966	149	1.100	227

Tabla 3.4 Consumo per. Cápita de acuerdo al tipo de vivienda

3.3.2.3 Factores Meteorológicos

Generalmente los consumos de agua de una región varían a lo largo del año de acuerdo a la temperatura ambiental y a la distribución de las lluvias. Este mismo hecho puede establecerse por comparación entre varias regiones con diferentes condiciones ambientales, de tal forma que la temperatura ambiental de la zona define, en cierto modo, los consumos correspondientes a higiene personal de la población que influenciarán los consumos per. Cápita.

3.3.3 Variaciones periódicas de los consumos e influencia sobre las diferentes partes del sistema

Con respecto a los consumos de un sistema de abastecimiento se tiene lo siguiente:

- Se debe suministrar agua a una comunidad en forma continua y con presión suficiente, a fin de satisfacer razones sanitarias, sociales, económicas y de confort, propiciando así su desarrollo.
- Se debe conocer el funcionamiento del sistema de acuerdo a las variaciones en los consumos de agua que ocurrirán para diferentes momentos durante el período de diseño previsto.
- Los consumos de agua de una localidad muestran variaciones estacionales, mensuales, diarias y horarias que pueden expresarse en función (%) del consumo medio (Q_m).
- Las comunidades demandan menores cantidades de agua del acueducto que en épocas de sequía.
- Durante una semana cualquiera ocurren días de máximo consumo (generalmente lunes) y días de mínimo consumo (generalmente el domingo).
- Durante un día cualquiera los consumos de agua presentarán variaciones hora a hora, mostrándose horas de máximo y de mínimo consumo.

3.3.3.1 Consumo Medio Diario

Adoptado un criterio para las dotaciones per. Cápita, la determinación del consumo medio (Q_m), expresado en l/s, que ha de constituir la base del diseño, se hará para la población futura proyectada en el período de diseño económico que se establezca. Por tanto, la estimación del desarrollo poblacional, característica particular de cada localidad, debe ser calculada por el método que se considere más conveniente.

El consumo medio diario (Q_m) puede ser obtenido:

- Como la sumatoria de las dotaciones asignadas a cada parcela en atención a su zonificación, de acuerdo al plan regulador de la ciudad.
- Como el resultado de una estimación de consumo per. cápita para la población futura del período de diseño.
- Como el promedio de los consumos diarios registrados en una localidad durante un año de mediciones consecutivas.

Para determinar el consumo medio diario (Q_m) expresado en litros por segundo, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_m = \frac{\text{Población} \cdot \text{Dotación}}{86400} \quad (3.60)$$

3.3.3.2 Consumo Máximo Diario

Se define el consumo máximo diario, como el día de máximo consumo de una serie de registros observados durante los 365 días de un año. Este valor, relacionado con el consumo medio, ha permitido establecer constantes de diseño apoyado en diversas investigaciones hechas.

Puede entonces establecerse la relación:

$$Q_{\text{máx_diario}} = K_1 \cdot Q_m \quad (3.61)$$

Donde: $K_1 = 1,2 - 1,6$

$Q_m =$ consumo medio en litros por segundo

3.3.3.3 Consumo Máximo Horario

El consumo máximo horario, se define como la hora de máximo consumo del día de máximo consumo. Éste está relacionado respectivamente al consumo medio (Q_m) mediante la expresión:

$$Q_{\text{máx_horario}} = K_2 \cdot Q_m$$

Las Normas INOS expresan: “El Consumo Máximo Horario debe suponerse como 200 por 100 del consumo diario promedio anual cuando la población de la ciudad sea 100.000 mil ó más, cuando la población es mil ó menos, el consumo máximo horario promedio anual. Para ciudades con población entre estos dos extremos el consumo máximo horario puede obtenerse por medio de la fórmula siguiente: (3.63)

$$Q_{\text{máx_horario}} = 275 - 0.75 \cdot X$$

En la cual, X es la población en miles de habitantes y $Q_{\text{máx-horario}}$ es el consumo máximo horario en porcentaje del promedio anual.”

3.3.3.4 Factor para el Caso de Incendios

Debe contemplarse esta condición para lo cual debe determinarse el factor K_3 , en base de un análisis de probabilidad de ocurrencia de un incendio con distintas horas de consumo más el gasto requerido para atender la contingencia de incendio. (3.64)

$$Q_I = K_3 \cdot Q_m + \text{Inc}$$

Este factor K_3 dependerá del rango de confianza deseado. Un factor K_3 razonable se estima entre 1,5 y 1,8. Las Normas INOS establecen: “Debe hacerse un análisis del sistema en la demanda correspondiente a 180 por 100 del consumo promedio anual, más la demanda de incendio”.

- 10 (l/s): zona residencial unifamiliar de viviendas aisladas.
- 16 (l/s): zona residencial, comercial o mixta con 120 por 100 de área de construcción aisladas o construcciones unifamiliares continuas.

- 32 (l/s): zona industrial, de comercio, viviendas con áreas de construcción mayores de 120 por 100 y áreas de reunión pública como iglesias, cines, teatros, graderíos para espectadores, etc.
- No se exigirá dotación de incendio en parcelamiento con un promedio igual a 4 lotes por hectárea, o menor, destinados a viviendas unifamiliares aisladas.

3.3.4 Redes de Distribución

Una red de distribución es el trazado del sistema de tubería que son utilizadas para distribuir el agua, siendo de vital importancia la capacidad de la fuente de abastecimiento.

Las cantidades de agua estarán definidas por los consumos, estimados en base a las dotaciones de agua. Sin embargo, el análisis de la red debe contemplar las condiciones más desfavorables, lo cual hace pensar en la aplicación de los factores K_2 y K_3 para las condiciones de consumo máximo horario y la estimación de la demanda de incendio, dependiendo de la ciudad y de la zonificación de la zona en estudio.

Las presiones en la red deben satisfacer ciertas condiciones mínimas y máximas para las diferentes situaciones de análisis que pueden ocurrir. En tal sentido, la red debe mantener presiones de servicio mínimas, que sean capaces de llevar agua al interior de la vivienda (las normas establecen en el medio rural un mínimo de 10 m.c.a. y en el medio urbano se ha establecido un mínimo de 20 a 25 m.c.a. dependiendo de la importancia de la ciudad).

3.3.4.1 Tipos de redes

Dependiendo de la topografía, de la vialidad y de la ubicación de las fuentes de abastecimiento y del tanque, puede determinarse el tipo de red de distribución.

Tipo Ramificado:

Son redes de distribución constituidas por un ramal troncal y una serie de ramificaciones que pueden construir pequeñas mallas, o constituidos por

ramales ciegos. Este tipo de red es utilizado cuando la topografía es tal que dificulta, o no permite la interconexión entre ramales.

Tipo Mallado:

Son aquellas redes constituidas por tuberías interconectadas formando mallas. Este tipo de red de distribución es el más conveniente y tratará siempre de lograrse mediante la interconexión de las tuberías, a fin de crear un circuito cerrado que permita un servicio más eficiente y permanente.

3.4 Estación de Bombeo

Se considera como estación de bombeo a aquélla que toma el agua directamente o indirectamente de la fuente de abastecimiento y la eleva al tanque de almacenamiento, a una estación de rebombeo o a la red. En ellas se localizan los equipos electromecánicos y accesorios necesarios para la operación de la misma. Para el diseño de una estación de bombeo se deben considerar los siguientes aspectos:

- El equipo de bombeo.
- Los accesorios complementarios.
- Las edificaciones y las fundaciones.

3.4.1 Equipo de Bombeo

El número de unidades de bombeo dependerá fundamentalmente del gasto de bombeo y de sus variaciones. Además, debe suponerse un margen de seguridad, previendo equipos de reserva para atender situaciones de emergencias.

Con respecto al gasto de bombeo, el factor a considerar debe ser el correspondiente al consumo máximo diario.

3.4.2 Parámetros de las Bombas

Los parámetros asociados a la operación normal de las unidades de bombeo son los siguientes:

- Caudal o gasto de bombeo: es el volumen de líquido que fluye a través de la bomba un una unidad de tiempo.
- Carga dinámica total o altura total de bombeo:
 - *Carga estática*: distancia vertical entre el nivel mínimo de las aguas de captación y la cota de rebose en el tanque o sitio de descarga.
 - *Pérdidas de carga en la tubería*: están representadas por las pérdidas de presión debido a la fricción generada en las paredes de las tuberías.
 - *Pérdidas menores*: accesorios como cambios de dirección, válvulas, etc., generan pérdidas localizadas de carga a lo largo de la línea de bombeo.

- Potencia Útil: es la potencia hidráulica suministrada al fluido por la bomba y se calcula con la expresión:

$$P_u = \gamma \cdot Q \cdot H \tag{3.65}$$

- Rendimiento o Eficiencia: representa la relación entre la potencia que recibe la bomba P_b y la potencia que esta entrega al fluido P_u , siendo esta última menor que la primera. La relación es la siguiente:

$$\eta = \frac{P_u}{P_b} \tag{3.66}$$

- Potencia: se refiere a la potencia en el eje de transmisión requerida por la bomba en un determinado punto de trabajo. Se expresa mediante la ecuación:

$$P_b = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta} \tag{3.67}$$

- Velocidad de Rotación: es la velocidad de angular de los elementos giratorios del conjunto motobomba.

- Torque o Par Mecánico: es el par necesario para producir el movimiento de rotación del conjunto en giración y la correspondiente transferencia de energía de la bomba al fluido, y es debido a la transformación de energía eléctrica en energía mecánica. De acuerdo con la dinámica de los movimiento giratorios, la relación entre torque y potencia es:

$$M = \frac{P}{\omega} \tag{3.68}$$

- Momento de Inercia del Grupo Motobomba: se refiere al momento de inercia de masa de las partes rotatorias del motor, del eje de transmisión de potencia, del impelente de la bomba, y del líquido contenido en este último componente. Se suele expresar de la siguiente manera:

$$I = W \cdot R^2 = \frac{m \cdot R^2}{g} \tag{3.69}$$

Donde: m: masa del conjunto en giración
 R: radio de giro
 W: peso del conjunto en giración

- Carga Neta de Succión Positiva (NPSH):
 - *NPSH Requerido*: es la altura total mínima absoluta que se requiere en la succión de la bomba para garantizar que se no se produzca la vaporización del líquido en su interior y la subsiguiente cavitación, la cual puede causar, en breve tiempo, graves daños a la bomba. Ésta información es suministrada por el fabricante de la bomba, expresada en unidades absolutas.
 - *NPSH Disponible*: es la altura total referida al plano horizontal que contiene al eje de apertura de la succión (bombas horizontales) o al plano inferior del primer impelente (bombas verticales), menos la presión de vapor (absoluta) del líquido bombeado a la temperatura

del flujo. Este valor expresa la altura sobre el punto de vaporización del fluido en la succión de la bomba.

Si la presión en la succión es positiva:

$$NPSH_d = \frac{P_a}{\gamma} + \Delta z - \frac{P_v}{\gamma} - h_s \quad (3.70)$$

Si la presión en la succión es negativa:

$$NPSH_d = \frac{P_a}{\gamma} - \Delta z - \frac{P_v}{\gamma} - h_s \quad (3.71)$$

Siendo Δz : carga estática de succión

p_a : presión barométrica del lugar

p_v : presión de vapor del líquido a la temperatura del flujo.

h_s : pérdidas de carga totales del lado de la succión

γ : peso específico relativo del agua

A fin de que no se produzca cavitación en la succión de las bombas, se debe cumplir con la siguiente condición:

$$NPSH \text{ disponible} > NPSH \text{ requerido} \quad (3.72)$$

- Leyes de Semejanza: para una bomba especificada, y cuando se puedan ignorar los efectos del número de Reynolds, la teoría de semejanza de máquinas hidráulicas proporciona las siguientes relaciones:

$$\frac{Q}{Q_o} = \frac{N}{N_o} \cdot \left(\frac{D}{D_o} \right)^3 \quad (3.73)$$

$$\frac{H}{H_o} = \frac{\rho_o}{\rho} \cdot \left(\frac{N}{N_o} \right)^2 \cdot \left(\frac{D}{D_o} \right)^2 \quad (3.74)$$

$$\frac{P}{P_o} = \frac{\rho}{\rho_o} \cdot \left(\frac{N}{N_o} \right)^3 \cdot \left(\frac{D}{D_o} \right)^5 \quad (3.75)$$

$$\frac{M}{M_0} = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot \left(\frac{N}{N_0}\right)^2 \cdot \left(\frac{D}{D_0}\right)^5 \quad (3.76)$$

Donde Q_0, Q : caudal en la condición inicial y final, respectivamente

N_0, N : velocidad en la condición inicial y final

D_0, D : diámetro en la condición inicial y final

H_0, H : carga de presión en la condición inicial y final

ρ_0, ρ : densidad del fluido en la condición inicial y final

P_0, P : potencia en la condición inicial y final

M_0, M : par mecánico en la condición inicial y final

- Número Específico de Vueltas del Rodete: es un número adimensional que puede definirse como el número de revoluciones por minuto de una bomba ideal, geoméricamente igual a la bomba considerada, la cual es capaz de elevar a una altura de un metro, un caudal de $1 \text{ m}^3/\text{s}$, en su punto de máximo rendimiento. Para calcular este índice de diseño hidráulico o número tipo, se expresa matemáticamente mediante la siguiente ecuación:

$$Nq = \frac{\omega \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right) \cdot \sqrt{Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)}}{\left(L \left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}\right)\right)^{\frac{3}{4}}} \quad (3.77)$$

3.4.3 Válvulas en las Estaciones de Bombeo

Las válvulas son elementos que se colocan en las tuberías como auxiliares para la adecuada operación, mantenimiento y seguridad en los

sistemas de conducción de fluidos. La clasificación más común de las válvulas según su función es la siguiente:

- Válvulas de Paso: También denominadas de reparación, tienen como objetivo permitir o interrumpir la totalidad del flujo en la tubería y, por lo general, su accionamiento se realiza en situaciones relacionadas con el mantenimiento o emergencias en los sistemas de conducción de fluidos.

Entre las más comunes:

- *Válvulas de Compuerta*: El elemento de cierre de este tipo de válvula es una compuerta de forma rectangular o circular, cuyos planos extremos pueden ser paralelos o de cuña. En el proceso de apertura o cierre, la compuerta se desliza a través de ranuras o guías, practicadas en el cuerpo de la válvula. El elemento de cierre puede ser accionado mediante un eje de transmisión a tracción o rotatorio, según el modelo.
- *Válvulas de Mariposa*: El elemento de cierre de este tipo de válvulas está constituido por una placa circular, la cual gira alrededor de un eje, generalmente ubicado en un plano horizontal, y acoplado al mecanismo de accionamiento solidario al cuerpo de la válvula.
- Válvulas Reguladoras: este tipo de válvulas tiene como finalidad la regulación o el control de diversas magnitudes hidráulicas en los sistemas de conducción de fluidos, principalmente la presión y el caudal mediante un proceso de disipación de energía. Entre las más utilizadas están las siguientes:
 - *Válvulas de Globo*: Las válvulas de globo están caracterizadas por un elemento obturador circular, solidario a un vástago de desplazamiento, generalmente vertical, el cual cierra contra un asiento de igual geometría, contenido en el cuerpo de la válvula, y perpendicular al eje de la tubería. El flujo en su paso a través de la válvula cambia su dirección en 90°, para luego retornar al alineamiento original.

- *Válvulas de Paso Anular*: El obturador de este tipo de válvula está constituido por un órgano que transforma la sección de flujo circular a una superficie anular. Ese elemento, de forma fluido-dinámica, es accionado bien sea por un vástago de manivela o por un eje de transmisión roscado. Su movimiento es en la misma dirección que el flujo, verificándose el cierre mediante el empuje del émbolo contra un asiento circular de la válvula, solidario a un cuerpo.
- *Válvulas de Esfera y Cono*: En este tipo de válvulas el obturador es de forma esférica o cónica, provista de una perforación en forma cilíndrica del mismo diámetro de la tubería. En posición de completa apertura, la superficie de paso es igual a la correspondiente en la tubería, y sus componentes, muy robustos, las habilita para resistir severas sollicitaciones hidromecánicas.
- Válvulas para el Control Direccional del Flujo: el diseño mecánico de estas válvulas es tal que admiten flujo en una sola dirección, y entre los diversos tipos disponibles, las más comunes son la de retención a clapeta basculante y las válvulas de pie. Las válvulas para el control direccional del movimiento, impiden el vaciado de tanques en las líneas de flujo, y la giración inversa de moto-bombas cuando ella debe evitarse, o garantizan el cebado de las tuberías de succión en ciertas estaciones de bombeo con unidades verticales.
- *Válvulas de Retención*: Entre los diversos tipos de válvulas para el control de direccional de flujo, o de retención, se describe el modelo más común, el cual está constituido por una placa circular, articulada al cuerpo de la válvula mediante un eje tangencial generalmente horizontal. Bajo condiciones normales de operación, el elemento de cierre es sostenido por la acción hidrodinámica del flujo. Una vez que se interrumpe el movimiento, la compuerta cae por efecto de su propio peso, o ayudada por un contrapeso.

- Válvulas Complementarias del Servicio de Acueductos:
 - *Válvulas de Admisión y Expulsión de Aire*
 - *Válvulas de Descarga para el Vaciado de Tuberías*
 - *Válvulas de Alivio:* Estas válvulas se utilizan ocasionalmente para atenuar cierto tipo de solicitaciones transitorias que se originan como consecuencia del golpe de ariete. Están dotadas de un dispositivo de apertura, el cual se acciona cuando las presiones internas en la tubería tienden a superar cierto valor prefijado.

3.4.4 Motor Eléctrico

El elemento más utilizado para el accionamiento de bombas centrífugas en estaciones de bombeo es el motor eléctrico de corriente altera trifásico. Este transforma la energía eléctrica en energía mecánica, la transmite al eje de la bomba mediante un par o torque, que luego la bomba lo transforma en energía hidráulica.

Los motores eléctricos trifásicos de corriente alterna más comunes para esta aplicación pueden ser de dos tipos:

- Sincrónicos:
 - Rotor liso o cilíndrico
 - Rotor de polos salientes
- Asincrónicos (inducción):
 - Rotor tipo jaula de ardilla (corto-circuito)
 - Rotor bobinado o de anillos

3.4.4.1 Motor Eléctrico de Inducción Rotor Jaula de Ardilla

El principio de funcionamiento de este tipo de motores se basa fundamentalmente en tres principios:

- La Ley de Inducción Electromagnética de Faraday: relativa a la tensión inducida en un conductor por la acción de corte de líneas de fuerza de un campo magnético (campo magnético rotante).

- La Ley de Ohm: relativa a la corriente inducida que circula por las barras del rotor.
- La Ley de Laplace: relativa a la fuerza inducida en un conductor eléctrico que transporta corriente y está dentro de la acción de un campo magnético.
- Par Motor (electromagnético): relativo al movimiento de rotación.

El diagrama de flujo de potencia de un motor trifásico de inducción es el siguiente:

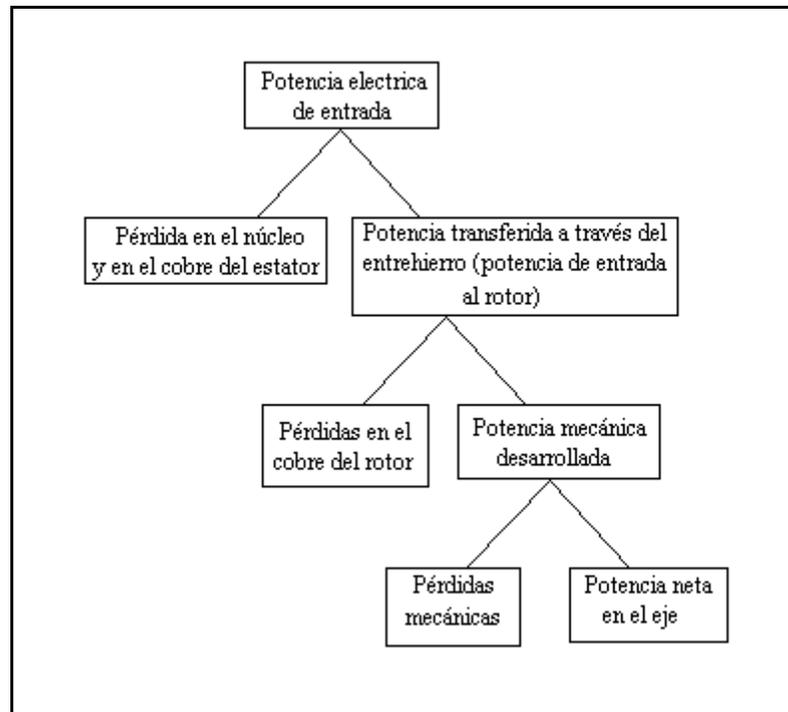


Figura 3.6 Esquema del diagrama de flujo de motor trifásico inducción

La potencia eléctrica requerida por cada motor se rige por la siguiente relación:

$$P_e = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos\phi \tag{3.78}$$

Donde P_e : potencia eléctrica

V_L : tensión de línea

I_L : corriente de línea

$\text{Cos}\phi$: factor de potencia

La curva de la gráfica 3.1 representa un comportamiento típico del factor de potencia de motores trifásicos de inducción:

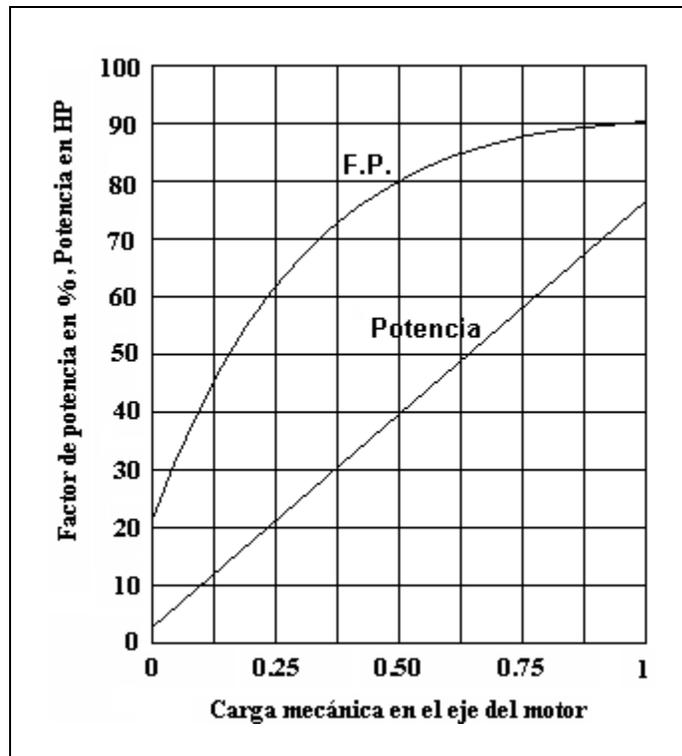


Figura 3.7 Factor de potencia

En el caso de sistemas de bombeo, el cálculo de la potencia que debe entregar el motor a la bomba se realiza mediante la siguiente relación:

$$P_o = \frac{P_b}{\eta_{mec}} \tag{3.79}$$

- Donde:
- P_o : potencia neta en el eje del motor
 - P_b : potencia requerida en el eje de la bomba
 - η_{mec} : rendimiento mecánico de la transmisión

La relación entre la potencia neta en el eje del motor y la potencia eléctrica requerida por éste, se denomina rendimiento total del motor, e incluye

todas las pérdidas mencionadas en la figura 3.6. Este rendimiento del motor es igual a:

$$\eta_{\text{mot}} = \frac{P_o}{P_e} \quad (3.80)$$

Donde: P_o : potencia neta en el eje del motor

P_e : potencia eléctrica exigida por el motor

CAPÍTULO IV

EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR GUAREMAL

El trabajo se presenta como un estudio del sistema de abastecimiento de agua del sector Guaremal el cual depende de la estación de bombeo La Matica, específicamente del Grupo 1 de dicha estación. La siguiente figura muestra el esquema actual de la estación.

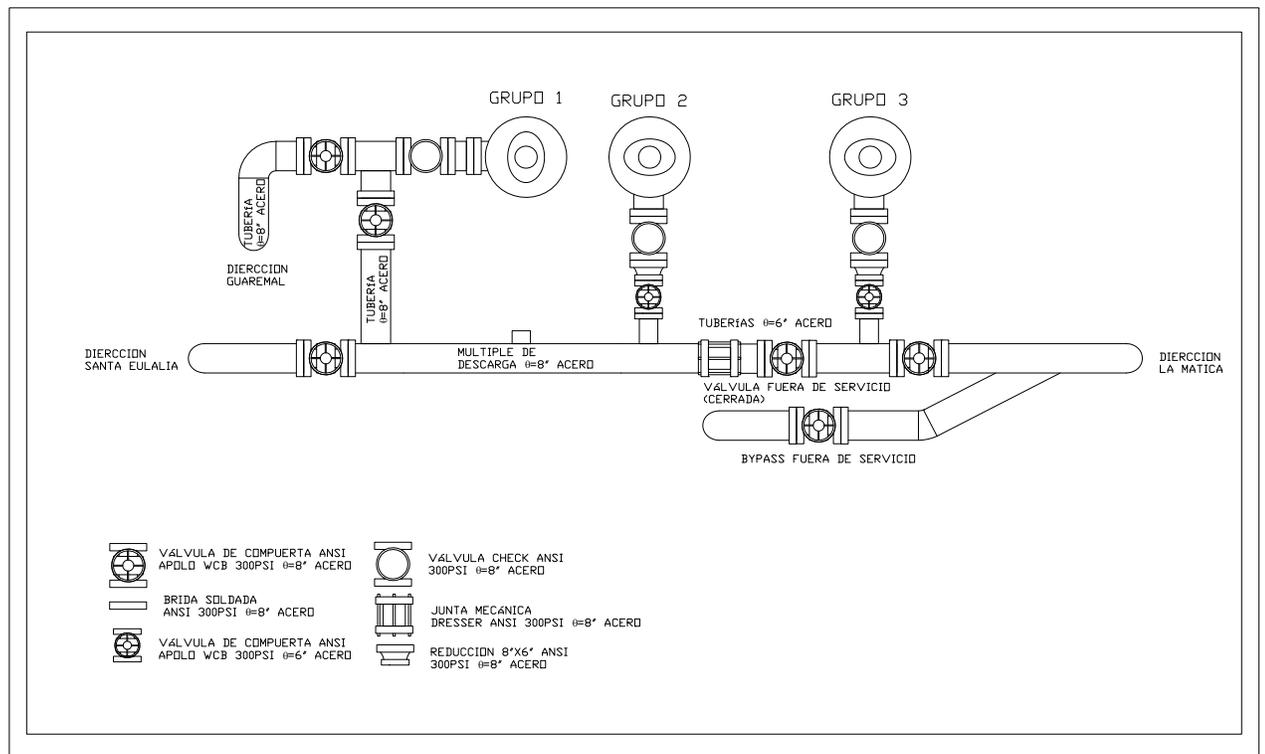


Figura 4.1 Esquema de la estación de bombeo La Matica

El sistema de abastecimiento se caracteriza por tener la particularidad de trabajar a bombeo directo al estanque y distribución por gravedad o por bombeo contra la red (figura 4.2).

4.1 Ubicación Geográfica del Sector y Descripción del Sistema

La comunidad del sector Guaremal del Municipio Guaicaipuro, Estado Miranda, se encuentra ubicada en el Km. 28 de la Carretera Panamericana. Éste comprende un total de 34 subsectores, con un total aproximado de 1554 viviendas. Tiene 22,8 Km. de longitud total entre sus calles principales y secundarias. Su topografía es variada, comprendida entre los 1255 metros sobre nivel del mar (m.s.n.m) y los 821 m.s.n.m, caracterizándose el tipo de consumo domestico (ver figura 4.3 “Diagrama de distribución de Guaremal”).

El sistema de abastecimiento del sector Guaremal depende de la estación de Bombeo (E/B) La Matica. Esta posee actualmente tres Grupos, cada uno del tipo bomba vertical con su respectivo motor (moto-bomba), el Grupo 1 da servicio a través de una tubería de D=8” en acero que distribuye a los sectores de El Bosque, Platilujo, Av. Bertorrelli, Las Bambalinas, Las Tiunas, El Encanto I, II y III, Los Lagos, Camatagua, Los Alpes, La Escuela Especial Doña Mamá, Barrio Miranda, Los Barriales parte baja, Guaremal, El Trabuco y Los Amarillos. Figura 4.2

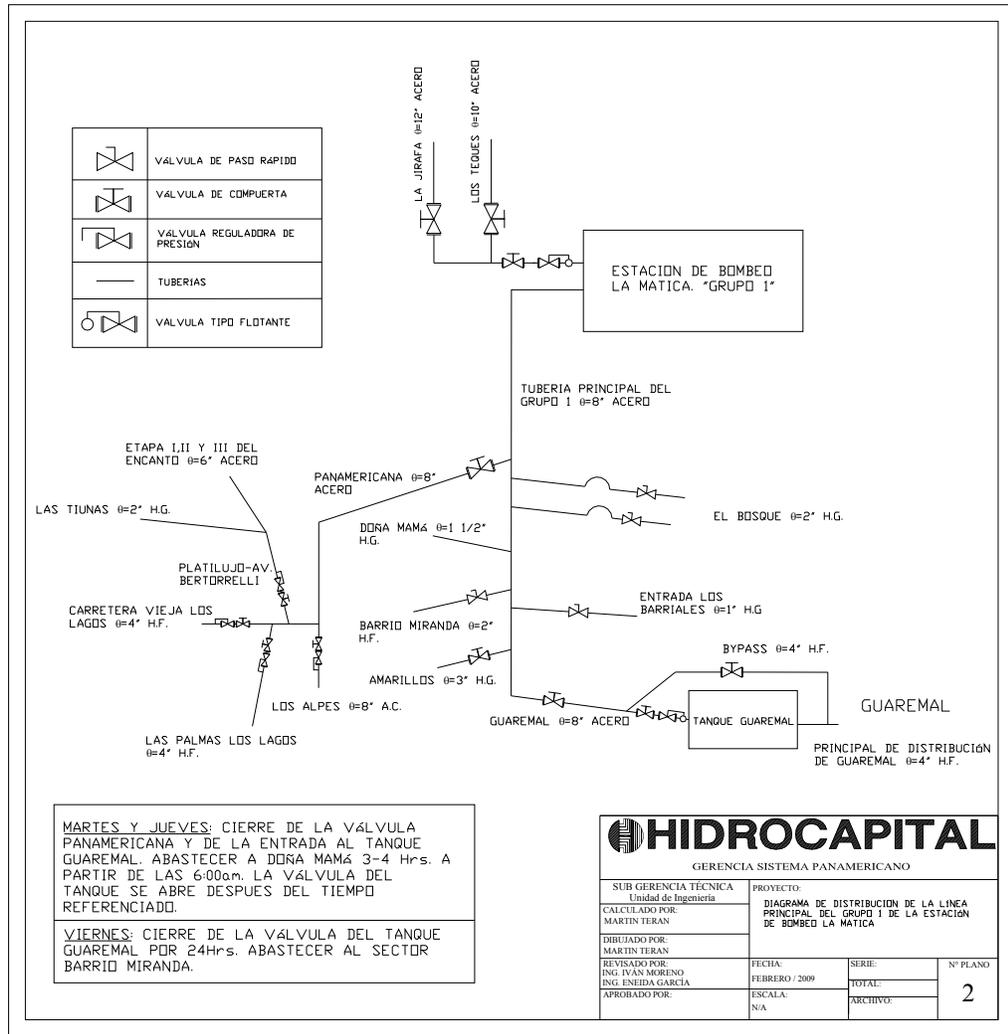


Figura 4.2 Diagrama de distribución del Grupo 1

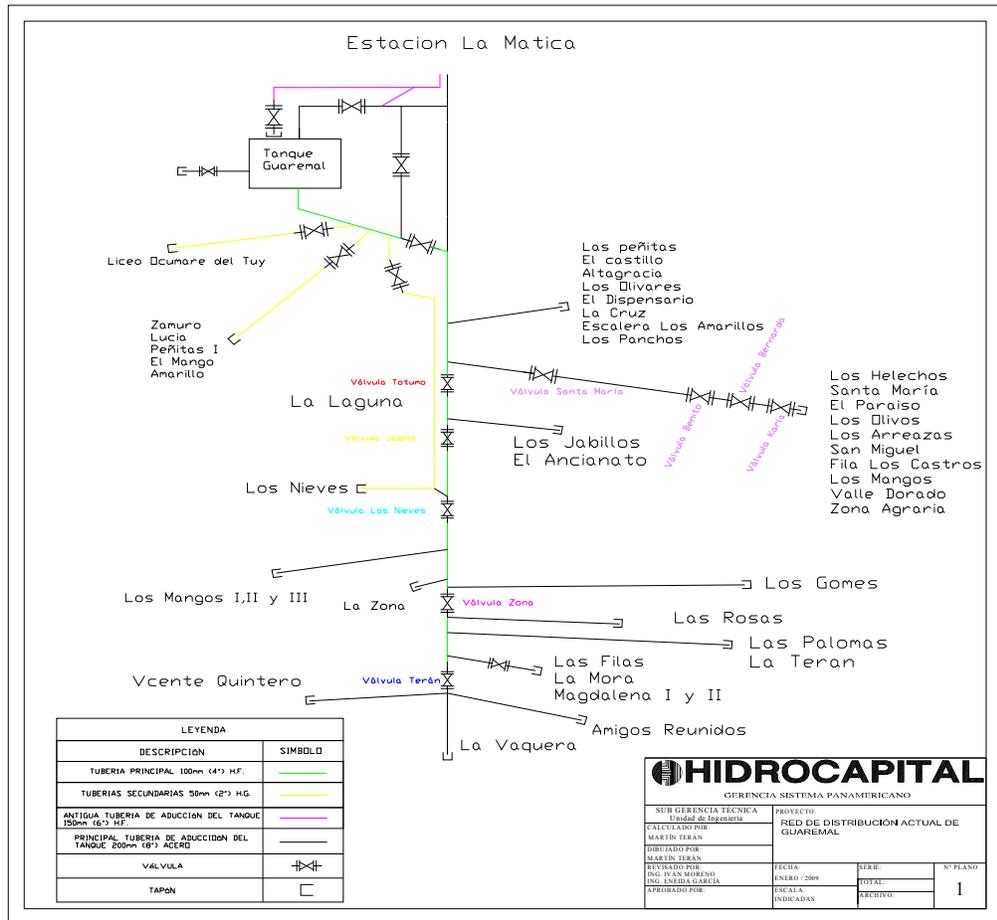


Figura 4.3 Diagrama del sistema de distribución del sector Guaremal

4.2 Características Técnicas

4.2.1 Descripción del Sistema

Para el suministro de agua potable al sector Guaremal, se parte de la E/B La Matica ubicada en el Km. 25 de la Carretera Panamericana a 1185 m.s.n.m. A esta llega actualmente una tubería de acero de D=12” proveniente del sistema de válvulas La Gillette a 1330 m.s.n.m.

También llega a la estación una tubería de acero de D=12” proveniente del Sistema Panamericano y que previamente da servicio al Casco Central de Los Teques.

Actualmente la tubería de mayor importancia en la alimentación de la estación es la tubería de acero de D=12" Aducción La Jirafa proveniente del sistema de válvulas La Gillette.

La tubería que va hacia Guaremal es de acero de D=8" y se dirige al sur por la Carretera Panamericana al lado de contra flujo donde encontramos la válvula La Panamericana a 1189 m.s.n.m, en este punto la tubería se bifurca en dos de D=8" en acero, la primera va directo al estanque Guaremal y la segunda se ramifica para la distribución de los sectores adyacentes a la zona. Esta última llega al sistema de válvula Platilujo (1195 m.s.n.m) donde coinciden cuatro (4) ramales de distribución, estos se describen a continuación.

La primera se dirige al norte a 1198 m.s.n.m por la Avenida Bertorelli de D=6" de hierro fundido y finaliza con una válvula limite de red del Sistema Panamericano. En su trayecto distribuye a la población de Gallo Pelón a 1200 m.s.n.m por medio de un ramal de D=2" de hierro galvanizado, alimenta la estación de bombeo de Las Tiunas por medio de una tubería de D=2" de hierro galvanizado que distribuye a la urbanización Las Tiunas a 1234 m.s.n.m y finalmente llega a la estación de bombeo El Encanto a 1226 m.s.n.m, con la cual se distribuye al Encanto I a 1259 m.s.n.m por medio de una tubería de D=4" de acero y por medio de la tubería de D=6" de hierro fundido al Encanto II y III a 1269 m.s.n.m.

La segunda se dirige al sur de la Avenida Bertorelli que tiene como fin distribuir por medio de una tubería de D=4" de hierro fundido al sector Palo Alto y al sector Los Lagos por la Carretera Vieja a unos 1251 m.s.n.m.

La tercera tubería es de D=4" de hierro fundido y distribuye sector Camatagua y al sector Las Palmas a 1263 m.s.n.m.

Finalmente después del sistema de válvulas Platilujo (1196 m.s.n.m), sale una tubería que se dirige al sur por la carretera Panamericana de D=8" de asbesto-cemento para surtir a Los Alpes a 1263 m.s.n.m donde finaliza.

Retomando la tubería con dirección al estanque de Guaremal, en el punto el mirador existe una toma de D=1 ½". Para surtir a Doña Mamá a unos 1266 m.s.n.m.

Aproximadamente en el Km. 28 a 1253 ms.n.m la tubería de D=8” en acero, presenta una derivación de D=2” en hierro galvanizado hacia la estación de bombeo Barrio Miranda a partir de la cual se distribuye a dicho sector. En este punto la tubería de D=8” en acero sale de la Carretera Panamericana para seguir la vía del sector Los Barriales a 1233 m.s.n.m recorriendo aproximadamente unos 650 m para llegar a la derivación hacia sector los Amarillos a 1210 m.s.n.m, esta derivación es de D=3” en hierro fundido.

Esta tubería de D=3” en hierro fundido distribuye a la población del Pozo Los Canales sigue una vía secundaria para luego retomar la Carretera Panamericana y mantenerse en D=3” en hierro fundido.

Antes de llegar al estanque El trabuco hay una derivación de D=2” en hierro galvanizado para abastecer a la comunidad de la calle antes del estanque El Trabuco, luego de la derivación se surte el estanque El Trabuco para luego continuar la tubería de D=3” en dirección a la Carretera Panamericana.

Del estanque El Trabuco sale una tubería de D=4” en hierro fundido que después de aproximadamente un kilómetro se divide en dos tuberías de D=2” en hierro galvanizado para distribuir a la población del Trabuco. La otra tubería es de D=3” en hierro galvanizado que continúa en dirección a la carretera Panamericana, después de 740m tiene una salida de D=1/2” para continuar hasta llegar al estanque Los Amarillos. Antes de llegar al estanque Los Amarillos existe una derivación de D=1” Hierro Galvanizado, a partir del cual se distribuye al propio sector y mediante otra tuberías de D=1” en hierro galvanizado se distribuye al sector de Puerta Morocha, Las Casitas, Cumbre Roja, al estanque Caña Larga y de éste a dicho sector, a la Finca Chacao y al estanque Puinki con una tubería de D=1” en poli cloruro de vinilo (P.V.C).

Retomando la tubería de D=8” en acero con dirección al estanque Guaremal, luego de la derivación de Los Amarillos, recorre aproximadamente unos 245m y en su recorrido abastece de manera directa al sector de Los Barriales a 1233 m.s.n.m,

para después llegar al estanque Guaremal a 1212 m.s.n.m. Antes de la entrada al estanque existe un Bypass de D=4” en hierro fundido.

A la entrada del estanque hay una reducción de la tubería de D=8” en acero a D=6” del mismo material y a la salida del estanque se tiene una reducción de D=6” en acero a D=4” en hierro fundido. El estanque posee una capacidad de 300 m^3 y las tuberías que distribuyen al sector Guaremal son cuatro, de las cuales tres son de D=2” en hierro galvanizado y una de D=4” en hierro fundido que es la principal para la distribución al sector de Guaremal.

La primera tubería de D=2” de hierro galvanizado distribuye al liceo que se encuentra cerca del estanque a 1212 m.s.n.m (Liceo Ocumare del Tuy). Esta tubería solo distribuye a dicho liceo.

La segunda tubería de D=2” de hierro galvanizado recorre aproximadamente 1 Km. para abastecer a la población del Zamuro a unos 1102 m.s.n.m. La tubería toma la dirección de la calle Zamuro después de unos 300m del comienzo de dicha calle, finalizando su recorrido antes del punto de intersección de la calle Zamuro y la principal de Guaremal a 1056 m.s.n.m.

La tubería de D=4” de hierro fundido junto con la tercera de D=2” de hierro galvanizado, en paralelo, siguen la dirección de la carretera del sector Guaremal recorriendo unos 650m pasando por la calle del sector la Cruz a 1135 m.s.n.m para abastecer a esta población por medio de la tubería de D=2”. Antiguamente el estanque se encontraba alimentado por la tubería de D=4” pero se realizó un Bypass a dicho tanque y actualmente se encuentra fuera de servicio. Con este se abastecía a la comunidad de dicho sector, la capacidad de este estanque es de 50 m^3 .

Luego de retomar la calle principal de Guaremal continúan en paralelo hasta recorrer aproximadamente unos 250m donde se presenta una derivación de D= 2” en hierro galvanizado. Esta tubería abastece al sector Santa Maria a unos 1040 m.s.n.m. Antes de llegar al Arco de Santa Maria se presenta una salida de D= ½” con dirección al norte que abastece el sector Los Helechos a 1025 m.s.n.m, seguidamente se tiene

dos tomas de $D= \frac{1}{2}$ " cada una para abastecer a los sectores El paraíso a 985 m.s.n.m y Los Arreazas a 993 m.s.n.m respectivamente, en este último se encuentra también el sector Los olivos a unos 1013 m.s.n.m el cual es abastecido por una tubería de $D=\frac{1}{2}$ ".

Luego del punto de referencia La Cancha a 1053 m.s.n.m, la tubería cambia a $D=2$ " en PEAD y llega hasta el punto de bifurcación de las calles El tambor-Valle Dorado y Fila Los Castros a unos 1012 m.s.n.m. En este punto la tubería que surte al sector la Fila es de $D=2$ " en PEAD a una cota aproximada de 1050 m.s.n.m y la otra sigue la dirección Valle Dorado con $D=1 \frac{1}{2}$ " en PEAD a unos 937 m.s.n.m. Esta última presenta tres (3) válvulas de operación para abastecer las zonas más elevadas con respecto a la tubería principal de distribución.

Retomando las tuberías de $D=4$ " y $D=2$ ", estas continúan en paralelo en dirección hacia el sur para distribuir a la población de El Oso a 1061 m.s.n.m, Los Totumos a 1035 m.s.n.m, La Laguna 1003 m.s.n.m, durante su recorrido presenta dos (2) válvulas de operación Los Totumos y los Jabillos.

Siguiendo la trayectoria de la carretera hasta llegamos al punto donde se incrementa la cota topográfica de 1003 a 1031 m.s.n.m, durante este trayecto se abastece al sector El Ancianato y Los Jabillos, para luego disminuir la cota hasta llegar a la válvula Los Nieves a 1023 m.s.n.m. En este punto la tubería de $D=2$ " sigue la calle con dirección a Los Nieves y finaliza en este sector a unos 1043 m.s.n.m.

La tubería de $D=4$ " continua en la dirección de la calle principal de Guaremal y en su trayecto abastece al sector Los Mangos a 1003 m.s.n.m por una tubería de $D=1$ ". Manteniendo la trayectoria de la calle principal de Guaremal se encuentra una válvula llamada La Zona a 1002 m.s.n.m, y aguas arriba de esta se encuentran los sectores Los Gómez a 975 m.s.n.m y La Zona a 1015 m.s.n.m, que son abastecidos por medio de tuberías de $D=\frac{1}{2}$ " cada uno.

Continuando con la tubería de $D=4$ ", ésta llega a la válvula La Terán a unos 983 m.s.n.m, aguas arriba de la válvula se encuentra el sector La Fila a 910 m.s.n.m el cual es abastecido por una tubería de $D=1$ " en hierro galvanizado. Así mismo, se tiene al sector Las Palomas a unos 977 m.s.n.m, el cual es abastecido por medio de

una tubería de D=2” de hierro galvanizado. También aguas arriba de la válvula La Terán, el sector La Fila y del sector Las Palomas se encuentra el sector Las Rosas a 925 m.s.n.m, el cual es abastecido por una tubería de D=3/4”.

La tubería principal de D=4” continua en dirección a la carretera principal de Guaremal y finaliza en la última parada de buses del sector Guaremal a una cota de 915 m.s.n.m. En su trayecto abastece al sector de Clavelito a 955 m.s.n.m ubicado antes de llegar al final de la red (Parada de Buses) donde por último existen cuatro (4) tomas, dos de D=3/4” de hierro galvanizado que abastece al sector Vicente Quintero a 885 m.s.n.m y Amigos Reunidos a 925 m.s.n.m. La otra, de D=1” con dirección a la Vaquera a unos 898 m.s.n.m, la cual presenta una reducción a D=3/4”, y por último una tubería de D=2” en PEAD que abastece a la comunidad de La Magdalena I y II a 880 m.s.n.m.

El sistema de distribución que se presentó anteriormente es del tipo por gravedad a partir del estanque Guaremal y el uso del bypass es para el aprovechamiento directo del caudal y presión manejada por el sistema de bombeo del Grupo 1.

Dentro de los elementos característicos del sistema de abastecimiento del sector se destacan:

- **Fuente de abastecimiento:** la fuente de abastecimiento del sector Guaremal proviene del embalse La Mariposa con un aproximado de 1500 lts/s de producción de agua de los cuales aproximadamente 600 lts/s se derivan al sector de Caricuao del Distrito Capital.
- **Línea de aducción:** esta definida por una tubería de 8” de diámetro de acero que parte de la estación de bombeo La Matica y finaliza en el estanque Guaremal.
- **Estanque de almacenamiento:** este es un estanque tipo rectangular de concreto, ubicado a la máxima cota respecto al sector Guaremal de 1212

m.s.n.m, sus dimensiones son de 11m de largo, 9m de ancho y 3m de alto dando una capacidad de almacenamiento de aproximadamente unos 300m³.

- **Estación de bombeo:** la estación de bombeo de la cual depende el sector Guaremal es la de la estación La Matica. Esta opera las 24 horas del día, y por lo regular maneja una presión de descarga entre 12,5 Kg/cm² y los 9 Kg/cm².
- **Planta de tratamiento:** se encuentra ubicada en la cercanía del embalse La Mariposa. (Ver Figura 4.4)

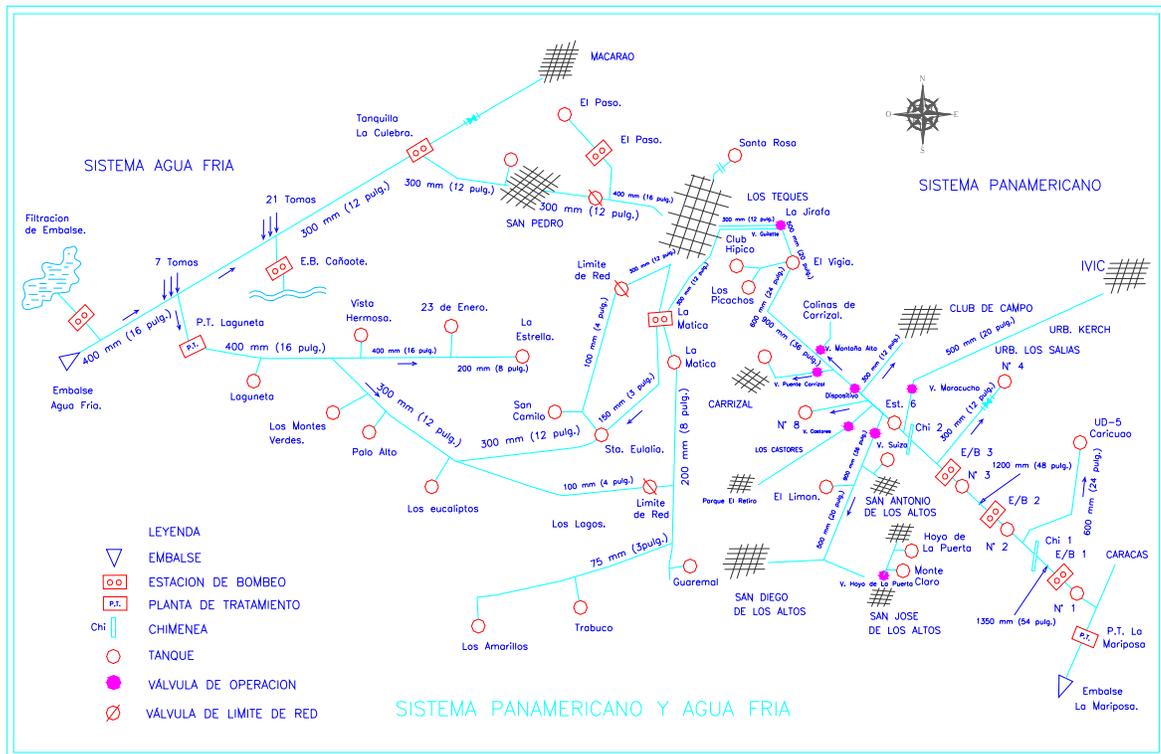


Figura 4.4 Esquema de distribución del sistema Panamericano

4.2.2 Especificaciones de Campo

Esta actividad se separó en dos etapas, la etapa uno (I) corresponde al sector Guaremal y la etapa dos (II) corresponde a las características topográficas desde la

estación de bombeo La Matica, y sectores de influencia, hasta el sector Guaremal, obteniendo así un perfil topográfico amplio del sistema en estudio.

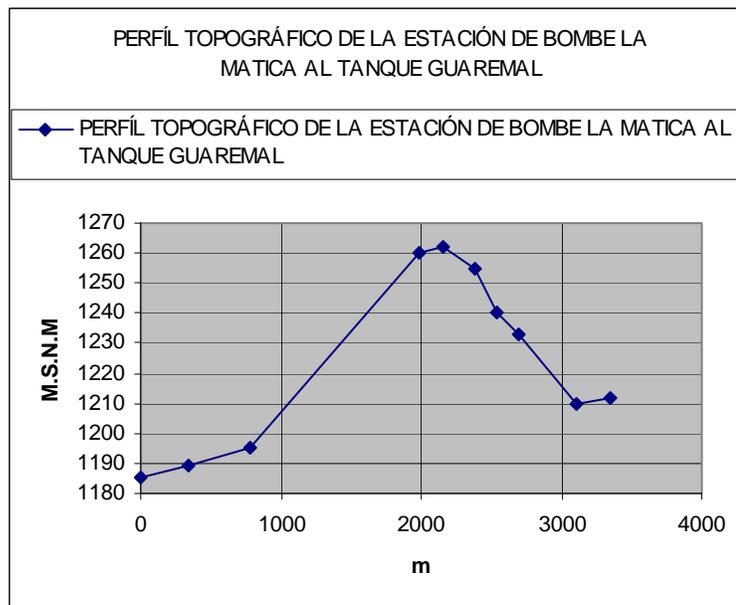
Del levantamiento anterior se generaron los perfiles topográficos, lo cual es punto importante para el análisis y evaluación del sistema tanto actual como para su posterior diseño. La base principal para el levantamiento topográfico fue considerar los siguientes aspectos como puntos para el desarrollo del perfil:

- Picos y valles de la superficie en estudio.
- Distancias no mayores a 200m para superficies irregulares.
- Referencias específicas y manejables.
- Accesorios o elementos que conforman al sistema.

A continuación se presentan los perfiles topográficos más importantes:

<i>Carretera Panamericana</i>		
Cota	Distancia	Referencia
1185	0	Estación de bombeo La Matica
1189	340	Válvula Panamericana
1195	780	Válvula Platilujo
1260	1980	Entrada al sector Los Lagos
1262	2160	Hotel Los Alpes (punto de máxima cota)
1255	2380	Entrada al sector Guaremal (Barriales)
1240	2540	Primera Curva después de la entrada. Los Barriales
1233	2690	Segunda curva "S". Casa amarilla Sra. Ruiz
1210	3100	Sistema de válvulas para Guaremal y El Trabuco
1212	3350	Tanque de Guaremal

Tabla 4.1 Característica topográfica E/B La Matica-Entrada a Guaremal



Grafica 4.1 Perfil topográfico E/B La Matica-Entrada a Guaremal

<i>Calle Principal de Guaremal</i>		
Cota	Distancia	Referencia
1212	0	Tanque de Guaremal
1191	150	El Castillo
1154	370	El Dispensario
1135	530	Entrada a La Cruz
1139	640	Final de la calle. Parte alta
1131	700	Retoma de la calle principal de Guaremal
1056	1040	Unión de las calle s Guaremal-Zamuro
1061	1140	Punto alto del sector El oso
1035	1210	Retoma de la calle principal de Guaremal (válvula Los Totumos)
1003	1600	Liceo Luisa Cáceres de Arismendi. Bodega López
1012	1750	Válvula El Jabillo
1031	2020	Calle El Ancianato (Ancianato 1037)
1023	2280	Válvula Las Nieves. Entrada a la misma
1017	2480	Válvula
1006	2590	Entrada a Los Mangos
1002	2830	Válvula La Zona. Entrada a La Zona y Los Gómez
998	2990	Entrada a Las Rosas
996	3130	Entrada Las Palomas
994	3180	Entrada a Calle La Fila
983	3270	Válvula Terán
955	3530	Primera salida a la derecha en la dirección hacia La Parada. Clavelito
915	3990	La Parada de Buses

912	4220	Primera salida a la derecha. Calle La Vaquera
910	4350	Entrada al Colegio La Vaquera
898	4610	Final de La Vaquera

Tabla 4.2 Características topográficas de la calle principal de Guaremal

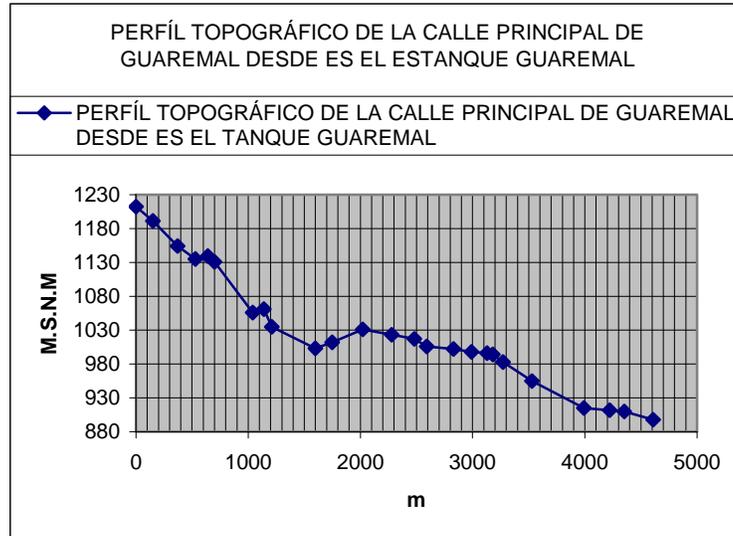


Gráfico 4.2 Perfil topográfico de la calle principal de Guaremal

Así mismo se obtuvo información en cuanto a las características del sector. Los aspectos más resaltantes fueron:

- Tipo de comunidad
- Límites geográficos del sector
- Calidad del servicio

Los aspectos anteriores permiten clasificar a los distintos subsectores y al mismo tiempo el tipo de consumidor y la cantidad de estos. Se obtuvo un total de 34 subsectores del sector Guaremal y 9 sectores de influencia con la aducción principal. Adicionalmente se clasificó la población de acuerdo al tipo de consumidor. Así mismo, se considera también el estado o calidad del servicio de cada subsector, lo cual permite establecer cuáles de ellos son los más críticos a primera vista.

La clasificación de la calidad del servicio se designa de la siguiente manera:

- **Regular:** son sectores que son abastecidos continuamente o por medio de un ciclo de servicio bien definido (se asegura servicio).
- **Irregular:** son sectores abastecidos por ciclos no seguros y de intervalos de repetición amplios (el servicio no es seguro).

CARACTERÍSTICAS DE LOS SECTORES					
SECTOR	URBANO	RURAL	EDUCATIVA	OTRO	CALIDAD DEL SERVICIO
Los Barriales	X				Regular
Altagracia	X				Regular
Peñitas parte alta-dispensario	X				Regular
Dispensario-La Cruz	X				Regular
La Cruz	X				Regular
El Oso-Totumos	X				Regular
La Laguna	X				Regular
El Ancianato				X	Irregular
Los Jabillos	X				Regular
Los Nieves	X				Irregular
Los Mangos (1,2 y 3)	X				Regular
La Zona	X				Irregular
Los Gómez	X				Irregular
Las Rosas	X				Irregular
Las Palomas	X	X			Irregular
El Zamuro	X				Regular
Santa María	X				Irregular
Valle Dorado		X			Irregular
Fila Los Castros		X			Irregular
Los Arreazas	X				Irregular
Los Olivos	X				Irregular
Los Helechos	X				Irregular
El Paraíso	X				Regular
La Fila		X			Irregular
La Magdalena I y II		X			Irregular
Amigos Reunidos		X			Irregular
Vicente Quintero		X			Irregular
La Vaquera		X			Irregular
Clavelito	X				Regular
Liceo Ocumare del Tuy			X		Regular

Colegio La Vaquera			X		<i>Irregular</i>
Liceo Santa María			X		<i>Irregular</i>
Liceo La Laguna			X		<i>Irregular</i>
Colegio La Zona			X		<i>Irregular</i>
Sector El Bosque	X				<i>Irregular</i>
Sector El Encanto	X				<i>Regular</i>
Sector Tiuna	X				<i>Regular</i>
Sector Gallo Pelón- Las Bambalinas	X				<i>Regular</i>
Sector Palos Altos-Camatagua	X				<i>Regular</i>
Sector Los Lagos	X				<i>Regular</i>
Sector Los Alpes	X				<i>Regular</i>
Doña Mamá		X			<i>Irregular</i>
Parte baja de Los Barriales	X				<i>Regular</i>
Sector Barrio Miranda	X				<i>Regular</i>

Tabla 4.3 Características sociales y de servicio de agua de Guaremal

Adicionalmente se levanto la siguiente información de campo del sistema:

TUBERÍAS				
<i>SECTOR</i>	<i>MATERIAL</i>	<i>LONGITUD (m)</i>	<i>DIAMETRO (pulg.)</i>	<i>EDAD (años)</i>
Los Barriales	Hierro Fundido	970	6	40
Liceo Ocumare del Tuy	Hierro Galvanizado	110	2	60
Altigracia	Hierro Galvanizado	260	¾	40
Peñitas parte alta-dispensario	Hierro Fundido	220	4	60
Dispensario-La Cruz	Hierro Fundido	160	4	60
La Cruz	Hierro Galvanizado	170	2	60
El Oso-Totumos	Hierro Galvanizado	440	2	60
La Laguna	Hierro Fundido	710	4	60
El Ancianato	Hierro Galvanizado	100	¾	60
Los Jabillos	Hierro Fundido	1110	4	60
Los Nieves	Hierro Galvanizado	170	2	60
Los Mangos (1,2 y 3)	Hierro Galvanizado	430	1	60
La Zona	Hierro Galvanizado	110	½	60
Los Gómez	Hierro Galvanizado	430	½	60
Las Rosas	Hierro Galvanizado	580	½	60
Las Palomas	Hierro Galvanizado	850	2	60
El Zamuro	Hierro Galvanizado	990	2	60
Santa María	Hierro Galvanizado	750	2	60
Valle Dorado	PEAD	1840	1 ½	40

Fila Los Castros	PEAD	780	2	40
Los Arreazas	Hierro Galvanizado	440	½	60
Los Olivos	Hierro Galvanizado	110	½	60
Los Helechos	Hierro Galvanizado	360	½	60
El Paraíso	Hierro Galvanizado	610	½	60
La Fila	PEAD y Hierro galvanizado	920	1	40
La Magdalena I y II	PEAD	980	1 ½	40
Amigos Reunidos	Hierro Galvanizado	320	¾	40
Vicente Quintero	Hierro Galvanizado	410	¾	40
La Vaquera	Hierro Galvanizado	980	¾ y ½	40
Clavelito	Hierro Fundido	720	4	60

Tabla 4.4 Características físicas del sistema interno de distribución de Guaremal

CARACTERÍSTICAS DE LAS VÁLVULAS DEL SECTOR				
SECTOR	TIPO	DIÁMETRO (pulg.)	OPERACIÓN	NODO
La Panamericana	Compuerta	8	Línea con dirección a Platilujo	N/A
Platilujo	Compuerta	10	Línea de distribución a Los Alpes, Los Lagos, Bertorrelli, El Encanto, Las Tiuna, Palo Alto y Gallón Pelón	N/A
Los Alpes	Compuerta y de Regulación de presión	8	Línea de Los Alpes	N/A
Los Lagos	Compuerta y de Regulación de presión	4	Línea de Los Lagos	N/A
Palo Alto	Compuerta y de Regulación de presión	4	Línea de Palo Alto	N/A
Av. Bertorrelli	Compuerta y de Regulación de presión	6	Línea de Av. Bertorrelli	N/A
El Bosque	Compuerta	1	Línea de El Bosque	N/A
Doña Mamá	Compuerta	1 ½	Línea de Doña Mamá	N/A
Barriales parte baja	Compuerta	1	Línea de Barriales parte baja	J-6
Barrio Miranda	Compuerta	2	Línea de Barrio Miranda	J-20
Tanque Guaremal	Compuerta	4	Entrada al tanque	J-1
ByPass	Compuerta	4	Control del ByPass del tanque	J-16
Liceo Ocumare del Tuy	Compuerta	2	Línea del liceo	J-34
El Zamuro	Compuerta	2	Línea del Zamuro	J-4
Los Nieves	Compuerta	2	Línea de Los Nieves	J-30
Guaremal	Compuerta	4	Línea Principal de Guaremal	J-18
Santa María	Compuerta	2	Línea Principal de Santa María	J-36
La Granja	Compuerta	1 ½	Línea Principal de Fila Los Castros y	J-335

Valle Dorado			
Fila Los Castros	Compuerta	2	Línea Fila Los Castros J-22
Valle Dorado	Compuerta	1 ½	Línea Valle Dorado J-159
Benito	Compuerta	1 ½	Línea de Valle Dorado a la altura de la casa del Sr. Benito J-148
Bernarda	Compuerta	1 ½	Línea de Valle Dorado a la altura de la casa del Sra. Bernarda J-106
Carla	Compuerta	1 ½	Línea de Valle Dorado a la altura de la casa del Sra. Carla J-126
Totumo	Compuerta	4	Línea Principal de Guaremal sector Totumo J-97
Jabillo	Compuerta	4	Línea principal de Guaremal a la altura de la bodega del Sr. López J-142
Los Nieves	Compuerta	4	Línea Principal de Guaremal a la altura del sector Los Nieves J-144
La Zona	Compuerta	4	Línea Principal de Guaremal a la altura del sector La Zona J-135
Terán	Compuerta	4	Línea Principal de Guaremal a la altura de la bodega Terán J-117
Magdalena I y II	Compuerta	2	Línea Principal de La Magdalena I y al comienzo de Magdalena II J-71 Y J-10
El Trabuco	Compuerta	3	Línea principal del sector Trabuco J-26

Tabla 4.5 Características de las válvulas del sistema

TUBERÍAS DE SECTORES DEPENDIENTE DE LA ADUCCIÓN PRINCIPAL DEL GRUPO 1 DE LA E/B LA MATICA				
SECTOR	MATERIAL	LONGITUD (m)	DIÁMETRO (pulg.)	EDAD (años)
El Bosque	Hierro Galvanizado	170	1	40
El Encanto	Hierro Fundido	760	6	60
Tiuna	Hierro Galvanizado	360	2	60
Las Bambalinas	Hierro Galvanizado	400	2	60
Los Lagos	Hierro Fundido	800	4	60
Camatagua	Hierro Fundido	1400	4	60
Los Alpes	Asbesto Cemento	1200	8	60
Doña Mamá	Hierro Galvanizado	150	1 ½	40
Parte baja de Los Barriales	Hierro Galvanizado	110	1	20
Barrio Miranda	Hierro Galvanizado	290	2	40

Tabla 4.6 Principales características de las tuberías derivadas de la principal del Grupo 1

ESTANQUES DEL SECTOR GUAREMAL		
<i>SECTOR</i>	<i>DIMENSIONES (m)</i>	<i>CAPACIDAD (m3)</i>
Guaremal (principal)	11x9x3	300
La Cruz	5x5x2	50
La Cochineria (Valle Dorado-Fila Los Castros)	5x5x2	50
Bernarda (Valle Dorado)	5x4x2	40

Tabla 4.7 Características físicas de los estanque de Guaremal

4.2.3 Descripción del Sistema de Bombeo

Ubicada en el Km. 25 de la Carretera Panamericana, la estación de bombeo La Matica a unos 1185 m.s.n.m, es una de las más importantes del sistema Panamericano, en especial del sector oeste del Municipio Guaicaipuro. Fue diseñada hace unos 30-40 años con el principal objetivo de poder abastecer a los sectores mas elevados de la zona sur del Municipio Guiacaipuro.

Actualmente la alimentación de la estación se hace por medio de dos tuberías de gran envergadura; la proveniente de la distribución de los Teques, la cual es de D=12” acero, y la proveniente de La Jirafa de D=12” acero.

4.2.3.1 Características del sistema de tuberías de la estación de bombeo

Las tuberías que conforman el sistema de bombeo son todas de acero al carbono, se debe destacar que no se contó con información alguna de los planos del complejo, por lo que fue necesario realizar el trabajo de campo pertinente para obtener las características de la estación.

4.2.3.1.1 Succión de los Grupos

Todos los Grupos dependen de una tanquilla de succión de dimensiones 9x6x3.5m arrojando una capacidad de 189 m3. Se desconoce la altura de colocación de los Grupos debido a la inexistencia de los planos constructivos. El suministro de la tanquilla es a través de la unión de una tubería de D=12” de acero proveniente del Sistema de válvula La Jirafa y la de D=12” proveniente de la distribución del Casco Central de Los Teques.

4.2.3.1.2 Descarga de los Grupos

La descarga de cada Grupo es a través de una tubería de D=6” en acero para coincidir en una tubería o múltiple de descarga de D=8” en acero.

4.2.3.1.3 Configuración actual de los Grupos

La configuración actual es como se especifica en la figura 4.1, donde cada Grupo opera al sector indicado.

4.2.4 Parámetros de Funcionabilidad de la Estación de Bombeo

La estación de bombeo, también depende de la presión manejada por La Jirafa y de este del El Dispositivo, ya que ello determina la cantidad de caudal disponible a la estación, esto es, a mayor presión en El Dispositivo mayor caudal a la estación. (Ver Tabla 4.8)

mca: metro de columna de agua.

DISPOSITIVO	ESTACION DE BOMBEO LA MATICA		
	DEFICIENTE	MEDIA	EFICIENTE
45-0 mca	X		
50-0 mca		X	
150-80 mca			X

Tabla 4.8 Parámetros de funcionabilidad de la estación de bombeo

4.2.5 Especificaciones Técnicas de los Grupos de Bombeo

La estación de bombeo cuenta con tres grupos de bombas: *Guaremal*, *Santa Eulalia* y *La Matica*, identificados como Grupo 1, Grupo 2 y Grupo 3 respectivamente. Estos grupos de bombeo son del tipo vertical.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS GRUPOS DE BOMBEO DE LA ESTACIÓN LA MATICA								
BOMBA	DENOMINACIÓN	MARCA	TIPO	MODELO	REVOLUCIONES POR MINUTO (R.P.M.)	LONGITUD DE LA BOMBA	PESO	LUBRICACIÓN
GRUPO 1	GUAREMAL	PEELERSS	TURBINA	12MB-8	1760	3,64m	534Kg	AGUA

GRUPO 2	SANTA EULALIA	WORTHINGTON	TURBINA	10M50-9	1760	4,26m	623Kg	AGUA
GRUPO 3	MATICA ARRIBA	PEELERSS	TURBINA	12MB-8	1760	3,64m	534Kg	AGUA

Tabla 4.9 Especificaciones técnicas de los Grupos de bombeo

4.2.5.1 Datos técnicos del Grupo 1

La presión de descarga se encuentra entre los 9 Kg/cm² y los 14 Kg/cm². los registros de las presiones bajas ocurren cuando se encuentra abierta la válvula La Panamericana. Los registros de presiones altas entre 12,5 Kg/cm² y 14 Kg/cm² suceden cuando se encuentra cerrada la válvula La Panamericana. A continuación se resumen las maniobras realizadas para mejorar el funcionamiento del Grupo 1:

<i>OPERACIONES PARA LOGRAR EL ABASTECIMIENTO CON EL GRUPO I</i>		
Martes y Jueves	<i>Cierre de la válvula La Panamericana</i>	<i>Abastecimiento al instituto Doña Mamá y Guaremal</i>
Viernes	<i>Cierre de la válvula del Estanque Guaremal</i>	<i>Abastecimiento del sector Barrio Miranda</i>

Tabla 4.10 Maniobras de operación del sistema manejado por el Grupo 1

La descripción física del Grupo de bombeo 1 y 3 se muestra en la figura 4.5 y las especificaciones técnicas se muestran en la tabla 4.11.

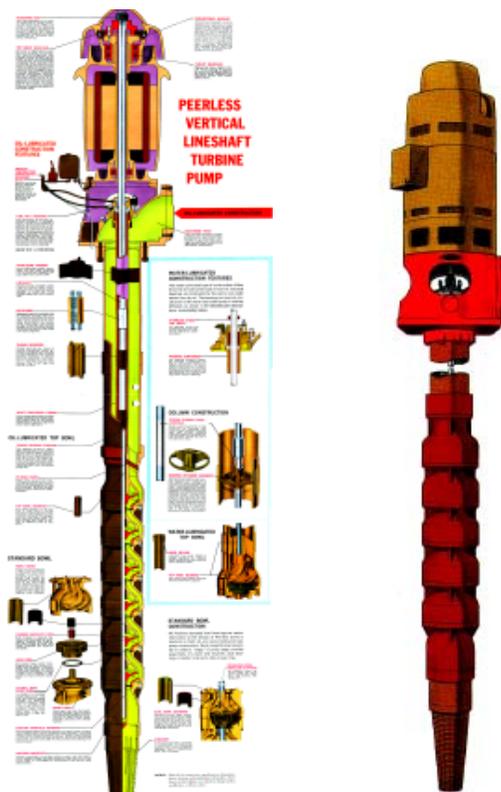


Figura 4.5 Esquema general del Grupo de Bombeo 1 y 3

Para el resto de los días (lunes, miércoles, sábado y domingo) la válvula La Panamericana se mantiene en servicio.

4.2.5.2 Datos técnicos del Grupo 2

La presión de descarga registrada se encuentra por el orden de los 12.5Kg/cm² y los 15Kg/cm². La presión normal de operación del Grupo 2 es de 14Kg/cm² con la cual se garantiza una cobertura del 80-95% de los sectores dependientes de este grupo.



Figura 4.6 Esquema general del Grupo 2 de bombeo

4.2.5.3 Datos técnicos del Grupo 3

Las presiones de este grupo no varían de manera notoria, sus presiones están por el rango de los 15Kg/cm² a los 16Kg/cm². Este grupo se encarga de distribuir al Sector La Matica y su correspondiente estanque, además de otros sectores adyacentes que también dependen del Grupo 3.

4.2.6 Motores Eléctricos de los Grupos

Las características técnicas de los motores de los Grupos de bombeo se especifican a continuación:

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS MOTORES DE LOS GRUPOS DE BOMBEO DE LA ESTACION LA MATICA							
BOMBA	DENOMINACIÓN	MARCA	TIPO	MODELO	FRAME	NC DE FASES	POTENCIA
GRUPO 1	GUAREMAL	U.S. MOTORS	RU	AA84	405 TP	3	125HP
GRUPO 2	SANTA EULALIA	U.S. MOTORS	RU	S324	365 TP	3	125HP
GRUPO 3	MATICA ARRIBA	U.S. MOTORS	RU	AA84	405 TP	3	125HP

Tabla 4.11 Especificaciones técnicas de los motores de los Grupos de bombeo

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS MOTORES DE LOS GRUPOS DE BOMBEO DE LA ESTACION LA MATICA							
VOLTAJE	AMPERAJE	FRECUENCIA	R.P.M.	NEMA	Nº POLOS	AISLAMIENTO	LUBRICACIÓN
440/380/220V	148Amp	60Hz	1760	A	4	CLASS F	ACEITE/GRASA
440/380/220V	148Amp	60Hz	1760	A	4	CLASS F	ACEITE/GRASA
440/380/220V	148Amp	60Hz	1780	A	4	CLASS F	ACEITE/GRASA

Tabla 4.11 Especificaciones técnicas de los motores de los Grupos de bombeo
(continuación)

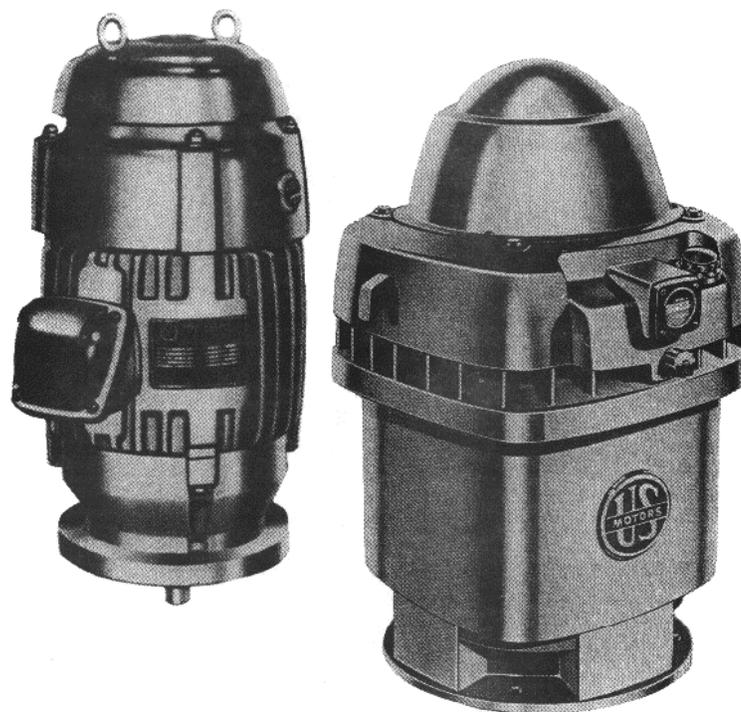


Figura 4.7 Imagen general de los motores de los Grupos de bombeo

4.3 Estimación de la Población Abastecida por el Grupo 1

4.3.1 Población actual

Para la determinación de la población actual del sector Guaremal se contó con los registros del Instituto Nacional de Estadística (INE). Adicionalmente se toma en cuenta los registros de todos los sectores vinculados al sistema de abastecimiento manejado por el Grupo 1, esto porque está ligado directamente al servicio y suministro del sector en estudio (Guaremal).

REGISTRO POBLACIONAL DEL LOS SECTORES QUE INFLUYEN EN EL GRUPO 1									
SECTOR	HABITANTES POR AÑO								
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
El Encanto I	730	733	741	754	773	798	831	874	928
El Encanto II	785	789	798	814	837	865	898	945	997
El Encanto III	767	770	777	788	804	827	857	894	946
El Bosque	549	552	560	572	590	612	641	678	720
Tiuna	1469	1473	1482	1495	1510	1538	1571	1618	1676
Las Bambalinas-Av. Bertorrelli	1400	1404	1413	1429	1449	1474	1502	1529	1564
Los Lagos	976	980	989	1003	1021	1043	1072	1107	1155
Barrio Miranda	5083	5087	5096	5109	5125	5146	5175	5208	5253
Guaremal	11340	11348	11366	11391	11427	11476	11532	11604	11690
Los Amarillos-Trabuco	6009	6017	6035	6060	6101	6160	6228	6302	6398
Escuela Doña mamá	109	113	122	138	153	171	184	201	216
Camatagua-Los Alpes	3379	3383	3392	3408	3433	3471	3517	3574	3652
TOTAL	32596	32649	32771	32961	33223	33581	34008	34534	35195

Tabla 4.12 Registro poblacional del Instituto Nacional de Estadística (INE)

Así mismo, a través de los consejos comunales de los distintos subsectores que conforman Guaremal se obtuvo un registro de las viviendas establecidas en cada subsector, la siguiente tabla muestra los resultados de dicha información.

Características del tipo de consumidores por subsector						
SECTOR	TIPO DE CONSUMIDOR	N° DE VIVIENDAS	N° DE PERSONAS	N° DE DORMITORIOS	UNIFAMILIAR	MULTIFAMILIAR
Los Barriales	Urbano	76			X	
Altagracia	Urbano	16			X	
El Castillo	Urbano	62			X	
Dispensario-La Cruz	Urbano	86			X	
La Cruz	Urbano	67			X	
El Oso-Totumos	Urbano	56			X	
La Laguna	Urbano	158			X	
El Ancianato	Pensión			30		X
Los Jabillos	Urbano	105			X	
Los Nieves	Urbano	20			X	
Los Mangos	Urbano	31			X	

(1,2 y 3)						
La Zona	Urbano	20			X	
Los Gómez	Urbano	35			X	
Las Rosas	Urbano	52			X	
Las Palomas	Urbano y Rural (58 y 42%)	133			X	
El Zamuro	Urbano	134			X	
Santa María	Urbano	145			X	
Valle Dorado	Rural	93			X	
Fila Los Castros	Rural	53			X	
Los Arreazas	Urbano	28			X	
Los Olivos	Urbano	5			X	
Los Helechos	Urbano	28			X	
El Paraíso	Urbano	21			X	
La Fila	Rural	63			X	
La Magdalena I y II	Rural	12			X	
Amigos Reunidos	Rural	11			X	
Vicente Quintero	Rural	15			X	
La Vaquera	Rural	11			X	
Clavelito	Urbano	14			X	
Liceo Ocumare del Tuy	Educativa		224			
Colegio La Vaquera	Educativa		114			
Liceo Santa María	Educativa		254			
Liceo La Laguna	Educativa		110			
Colegio La Zona	Educativa		86			

Tabla 4.13 Registro de viviendas establecidas en el sector Guaremal “Consejos Comunales”

4.3.2 Proyección de la Población por Medio del Método Aritmético (Método Lineal)

De acuerdo a la teoría de proyección de población por el Método Aritmético descrita en el Capítulo III. Empleando la ecuación 3. para los sectores con los registros poblacionales obtenidos se tiene:

P_i : Población para el año inicial

P_f : Población para el año final

t_p : Periodo de estimación ($t_f - t_i$)

K_p : Constante de proporcionalidad (promedio del crecimiento anual)

$$K_p = \frac{P_f - P_i}{t_p}$$

ESTIMACION DEL VALOR K_p PARA EL CALCULO DE LA POBLACION A PROYECTAR				
SECTOR	HABITANTES POR AÑO		K_p (Ha/Año)	t_p (Año)
	2000	2008		
El Encanto I	730	928	9,000	8,0
El Encanto II	785	997	9,636	8,0
El Encanto III	767	946	8,136	8,0
El Bosque	584	720	6,193	8,0
Tiuna	1202	1676	21,545	8,0
Las Bambalinas-Av. Bertorrelli	1400	1564	7,455	8,0
Los Lagos	976	1155	8,136	8,0
Barrio Miranda	5096	5253	7,149	8,0
Guaremal	11340	11690	15,909	8,0
Los Amarillos-Trabuco	6009	6398	17,682	8,0
Escuela Doña mamá	109	216	4,864	8,0
Camatagua-Los Alpes	3379	3652	12,409	8,0

Tabla 4.14 Calculo del valor de K_p por sector para la estimación de la población a proyectar

Se determino un K_p para cada uno de los sectores comprendido dentro de los registros poblacionales del 2000 al 2008. Una vez obtenido los distintos K_p por sector se procedió a calcular la población proyectada para el año 2030 por medio de la ecuación 3. $P_{2030} = P_{2008} + K_p * t_p$, donde

P_{2030} : Población para el año 2030

t_p : Período de proyección (para nuestra caso $t_p = 22$ años)

Los resultados de los cálculos se muestran en la siguiente tabla:

PROYECCION DE LA POBALCION VINCULADA AL GRUPO 1											
SECTOR	HABITANTES POR AÑO										
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
El Encanto I	937	946	955	964	973	982	991	1000	1009	1018	1027
El Encanto II	1007	1016	1026	1036	1045	1055	1064	1074	1084	1093	1103
El Encanto III	954	962	970	979	987	995	1003	1011	1019	1027	1036
El Bosque	726	732	739	745	751	757	763	770	776	782	788
Tiuna	1698	1719	1741	1762	1784	1805	1827	1848	1870	1891	1913
Las Bambalinas-Av. Bertorelli	1571	1579	1586	1594	1601	1609	1616	1624	1631	1639	1646
Los Lagos	1163	1171	1179	1188	1196	1204	1212	1220	1228	1236	1245
Barrio Miranda	5260	5267	5274	5282	5289	5296	5303	5310	5317	5324	5332
Guaremal	11706	11722	11738	11754	11770	11785	11801	11817	11833	11849	11865
Los Amarillos-Trabuco	6416	6433	6451	6469	6486	6504	6522	6539	6557	6575	6593
Escuela Doña mamá	221	226	231	235	240	245	250	255	260	265	270
Camatagua-Los Alpes	3664	3677	3689	3702	3714	3726	3739	3751	3764	3776	3789
TOTAL	35323	35451	35579	35707	35836	35964	36092	36220	36348	36476	36604

Tabla 4.15 Proyección de la población por medio del Método Aritmético

PROYECCION DE LA POBALCION VINCULADA AL GRUPO 1										
HABITANTES POR AÑO										
2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1036	1045	1054	1063	1072	1081	1090	1099	1108	1117	1126
1113	1122	1132	1142	1151	1161	1170	1180	1190	1199	1209
1044	1052	1060	1068	1076	1084	1092	1101	1109	1117	1125
794	801	807	813	819	825	831	838	844	850	856
1935	1956	1978	1999	2021	2042	2064	2085	2107	2128	2150
1653	1661	1668	1676	1683	1691	1698	1706	1713	1721	1728
1253	1261	1269	1277	1285	1293	1301	1310	1318	1326	1334

5339	5346	5353	5360	5367	5375	5382	5389	5396	5403	5410
11881	11897	11913	11929	11945	11960	11976	11992	12008	12024	12040
6610	6628	6646	6663	6681	6699	6716	6734	6752	6769	6787
274	279	284	289	294	299	304	308	313	318	323
3801	3813	3826	3838	3851	3863	3875	3888	3900	3913	3925
36732	36860	36989	37117	37245	37373	37501	37629	37757	37885	38014

Tabla 4.15 Proyección de la población por medio del Método Aritmético (Continuación)

4.3.3 Proyección de la Población por Medio del Método Geométrico

Para determinar la proyección de la población de los sectores considerados para el estudio por medio de este método, se emplea la ecuación 3. . a continuación se describen los elementos que conforman la ecuación del método y el procedimiento empleado para la obtención de los resultados.

P_i : población para el año inicial

P_f : población para el año final

t_p : periodo de estimación ($t_f - t_i$)

N_p : Intervalo entre los periodos de los últimos censos (años)

Así:

$$N_p = 2008 - 2000 = 8$$

$$(1 + r) = \sqrt[N_p]{\frac{P_f}{P_i}}$$

Una vez determinado los componentes necesarios para la aplicación del método, empleamos la ecuación 3. $P_{2030} = P_{2008} * (1 + r)^{t_p}$ Para obtener la población proyectada

P_{2030} : Población para el año 2030

P_{2008} : Población para el año 2008

t_p : Período para el cual se proyecta la población ($t_p = t_f - t_i = 22 \text{ años}$)

t_f : Año final para el periodo considerado

t_i : Año inicial para el periodo considerado

ESTIMACION DEL VALOR (1+r) PARA EL CALCULO DE LA POBLACION A PROYECTAR				
SECTOR	HABITANTES POR AÑO		(1+r)	Np (Año)
	2000	2008		
El Encanto I	730	938	1,032	8,0
El Encanto II	785	998	1,030	8,0
El Encanto III	767	983	1,032	8,0
El Bosque	523	670	1,032	8,0
Tiuna	1202	1618	1,038	8,0
Las Bambalinas-Av. Bertorrelli	1400	1548	1,013	8,0
Los Lagos	976	1105	1,016	8,0
Barrio Miranda	5136	5279	1,003	8,0
Guaremal	11340	11656	1,003	8,0
Los Amarillos-Trabuco	6009	6236	1,005	8,0
Escuela Doña mamá	109	165	1,053	8,0
Camatagua-Los Alpes	3379	3697	1,011	8,0

Tabla 4.16 Calculo de (1+r) por sector para la estimación de la población a proyectar

PROYECCION DE LA POBALCION VINCULADA AL GRUPO 1											
SECTOR	HABITANTES POR AÑO										
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
El Encanto I	958	988	1019	1052	1085	1120	1156	1192	1230	1270	1310
El Encanto II	1027	1059	1091	1124	1158	1194	1230	1268	1306	1346	1387
El Encanto III	976	1007	1038	1071	1105	1139	1175	1212	1251	1290	1331
El Bosque	743	766	790	815	841	867	895	923	952	982	1013
Tiuna	1739	1805	1874	1945	2018	2094	2174	2256	2341	2430	2522
Las Bambalinas-Av. Bertorrelli	1584	1604	1624	1645	1665	1686	1708	1729	1751	1773	1796
Los Lagos	1173	1191	1210	1229	1248	1268	1288	1308	1328	1349	1370
Barrio Miranda	5271	5289	5307	5326	5344	5362	5381	5399	5418	5437	5455
Guaremal	11730	11771	11811	11852	11893	11933	11975	12016	12057	12099	12140
Los Amarillos-Trabuco	6428	6458	6488	6518	6548	6578	6609	6640	6671	6702	6733
Escuela Doña mamá	227	240	252	266	280	295	310	327	344	363	382

Camatagua-Los Alpes	3693	3735	3777	3820	3863	3907	3951	3996	4041	4087	4133
TOTAL	35549	35912	36282	36661	37049	37445	37851	38266	38691	39126	39571

Tabla 4.17 Proyección de la población por medio del Método Geométrico

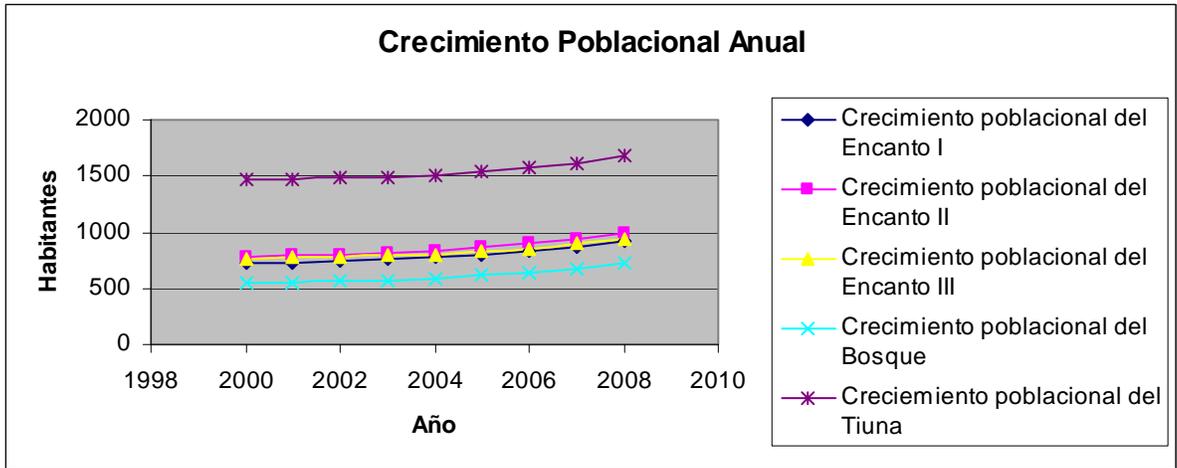
PROYECCION DE LA POBALCION VINCULADA AL GRUPO 1										
HABITANTES POR AÑO										
2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1352	1395	1439	1485	1532	1581	1631	1683	1737	1792	1849
1429	1473	1518	1564	1611	1661	1711	1763	1817	1872	1929
1373	1416	1460	1506	1554	1603	1653	1705	1759	1814	1872
1045	1078	1111	1147	1183	1220	1258	1298	1339	1381	1425
2617	2717	2819	2926	3037	3152	3271	3395	3523	3657	3795
1818	1841	1865	1888	1912	1936	1961	1986	2011	2036	2062
1391	1413	1435	1458	1480	1504	1527	1551	1575	1600	1625
5474	5493	5512	5531	5550	5569	5588	5607	5627	5646	5665
12182	12224	12266	12308	12351	12393	12436	12479	12521	12565	12608
6764	6795	6827	6859	6891	6923	6955	6987	7019	7052	7085
402	424	446	470	495	521	549	578	609	641	675
4179	4227	4275	4323	4372	4421	4471	4522	4573	4625	4677
40027	40495	40973	41464	41967	42483	43012	43554	44110	44681	45267

Tabla 4.17 Proyección de la población por medio del Método Geométrico (*Continuación*)

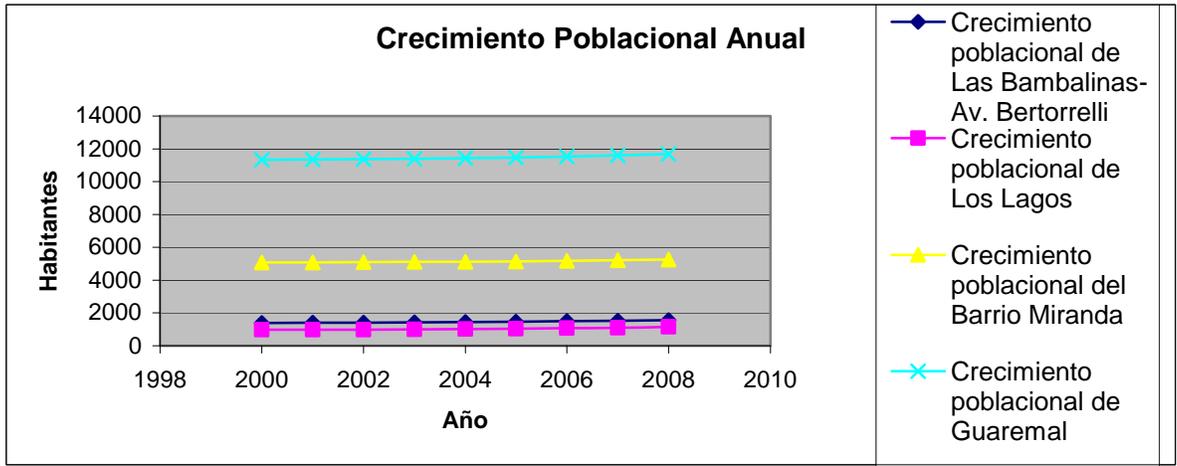
4.3.4 Proyección de la Población por Medio del Método Parabólico

Para la aplicación de este método se adopta que el comportamiento del crecimiento poblacional de los sectores considerados es específicamente de manera cuadrática.

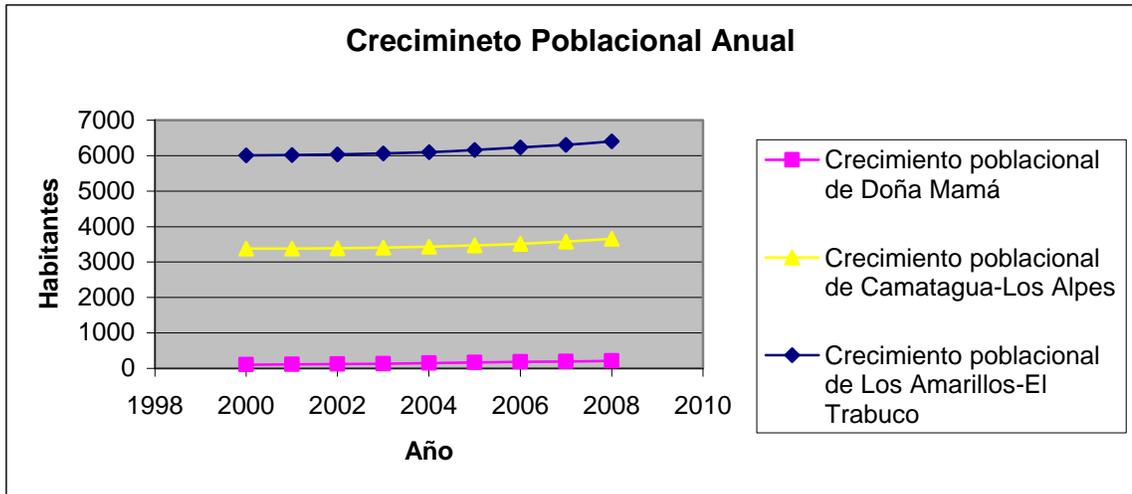
Para la obtención de los coeficientes de la ecuación de segundo grado que rige el comportamiento del crecimiento poblacional de los sectores involucrados en el estudio, se procedió a graficar el crecimiento anual de cada sector y posteriormente se determinó la forma de la ecuación empírica.



Grafica 4.3 Comportamiento del crecimiento poblacional de los sectores: El Encanto I, El Encanto II, El Encanto III, El Bosque y Las Tiunas



Grafica 4.4 Comportamiento del crecimiento poblacional de los sectores: Las Bambalinas-Av. Bertorrelli, Los Lagos, Barrio Miranda y Guaremal



Grafica 4.5 Comportamiento del crecimiento poblacional de los sectores: Doña Mamá, Camatagua-Los Alpes y Los Amarillos-El Trabuco

Aplicando la ecuación 3.6 se obtienen los siguientes resultados:

COEFICIENTES DE LA ECUACION CUADRATICA DEL CRECIMIENTO POBLACIONAL			
SECTOR	COEFICIENTES		
	a	b	c
El Encanto I	147925,825	-168,857	0,0476
El Encanto II	109421,085	-133,865	0,0397
El Encanto III	184904,042	-203,23	0,0555
El Bosque	88067,629	-107,301	0,0317
Tiuna	373416,58	-392,66	0,1033
Las Bambalinas-Av. Bertorrelli	116045,085	-136,865	0,0397
Los Lagos	89072,463	-107,874	0,0319
Barrio Miranda	127737,085	-140,865	0,0397
Guaremal	346986,749	-377,385	0,1047
Los Amarillos-Trabuco	479623,476	-522,571	0,1428
Escuela Doña mamá	62707,412	-78,928	0,0238
Camatagua-Los Alpes	355299,584	-382,66	0,1033

Tabla 4.18 Coeficientes de la ecuación que rige el comportamiento cuadrático del crecimiento poblacional

Donde $P_{t_p} = a + b * t_p + c * t_p^2$, sería el modelo de la ecuación y:

t_p : Periodo de proyección ($t_p = t_f - t_i = 22\text{años}$)

t_f : Año final del periodo considerado

t_i : Año inicial del periodo considerado

PROYECCION DE LA POBALCION VINCULADA AL GRUPO 1											
SECTOR	HABITANTES POR AÑO										
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
El Encanto I	810	832	855	877	900	923	946	969	992	1015	1038
El Encanto II	719	744	770	796	822	848	874	900	926	953	979
El Encanto III	617	637	657	677	697	718	738	759	779	800	821
El Bosque	444	464	484	504	524	545	565	586	606	627	648
Tiuna	1490	1512	1535	1558	1581	1604	1628	1652	1676	1700	1724
Las Bambalinas-Av. Bertorrelli	1316	1338	1361	1384	1407	1430	1453	1476	1499	1523	1546
Los Lagos	1105	1125	1145	1166	1186	1207	1228	1248	1269	1290	1311
Barrio Miranda	4972	4990	5009	5028	5047	5066	5085	5104	5123	5143	5162
Guaremal	11398	11441	11485	11529	11573	11617	11662	11706	11751	11796	11841
Los Amarillos-Trabuco	6131	6182	6234	6286	6338	6390	6443	6496	6549	6603	6657
Escuela Doña mamá	200	217	233	250	267	284	301	318	335	352	369
Camatagua-Los Alpes	3463	3495	3528	3561	3594	3627	3661	3695	3729	3763	3797
TOTAL	45178	45758	46337	46917	47496	48076	48655	49234	49814	50393	50973

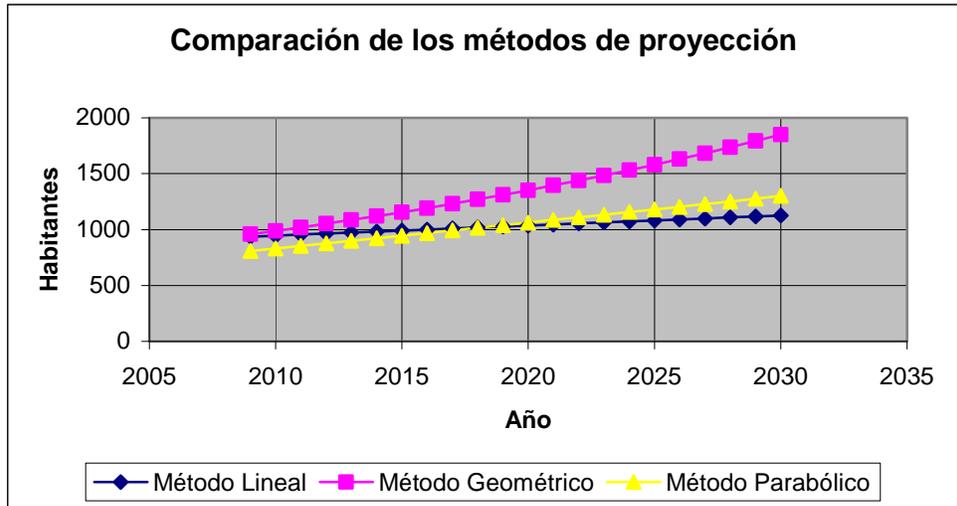
Tabla 4.19 Proyección de la población por medio del Método Parabólico

PROYECCION DE LA POBALCION VINCULADA AL GRUPO 1										
HABITANTES POR AÑO										
2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1062	1085	1109	1132	1156	1180	1204	1228	1252	1277	1301
1006	1032	1059	1086	1112	1139	1166	1193	1220	1248	1275
842	863	884	905	926	948	970	991	1013	1035	1057
668	689	710	731	752	773	794	815	836	858	879
1749	1773	1798	1824	1849	1875	1900	1926	1953	1979	2006
1570	1593	1617	1641	1664	1688	1712	1736	1760	1785	1809
1332	1353	1374	1395	1416	1438	1459	1480	1502	1523	1545
5182	5201	5221	5241	5260	5280	5300	5320	5340	5361	5381
11887	11933	11979	12025	12071	12118	12164	12211	12258	12306	12353
6711	6766	6820	6875	6931	6986	7042	7099	7155	7212	7269
386	404	421	438	456	473	491	508	526	543	561
3832	3866	3901	3937	3972	4008	4043	4079	4116	4152	4189

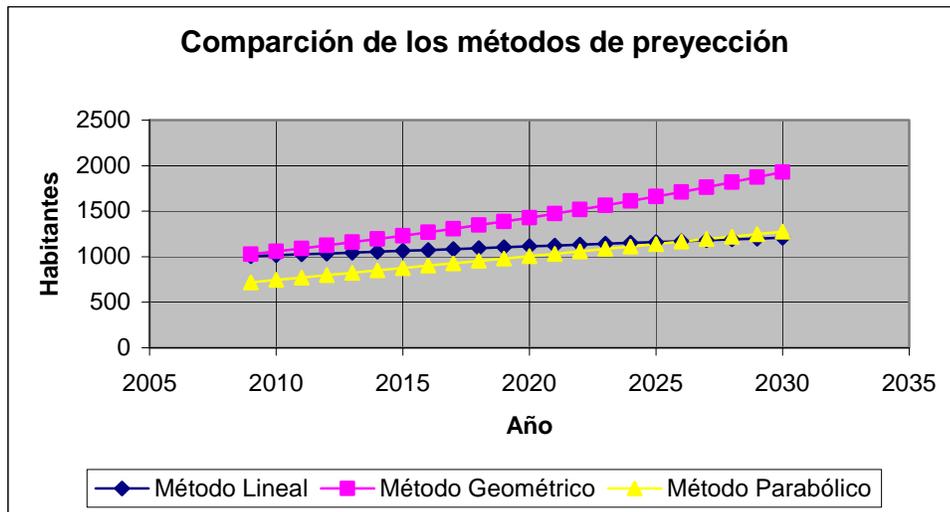
51552	52132	52711	53290	53870	54449	55029	55608	56187	56767	57346
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabla 4.19 Proyección de la población por medio del Método Parabólico (continuación)
4.3.5 Comparación de los Métodos Utilizados para la Proyección de la Población

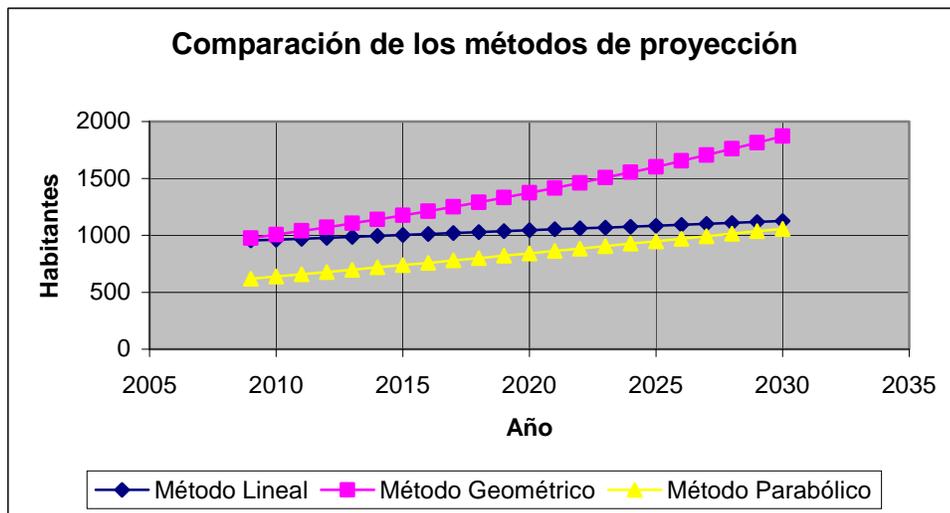
La siguiente representación muestra una comparación gráfica de los resultados obtenidos por los diferentes métodos matemáticos utilizados en la estimación de la población de los sectores dependientes del Grupo 1 hasta el año 2035:



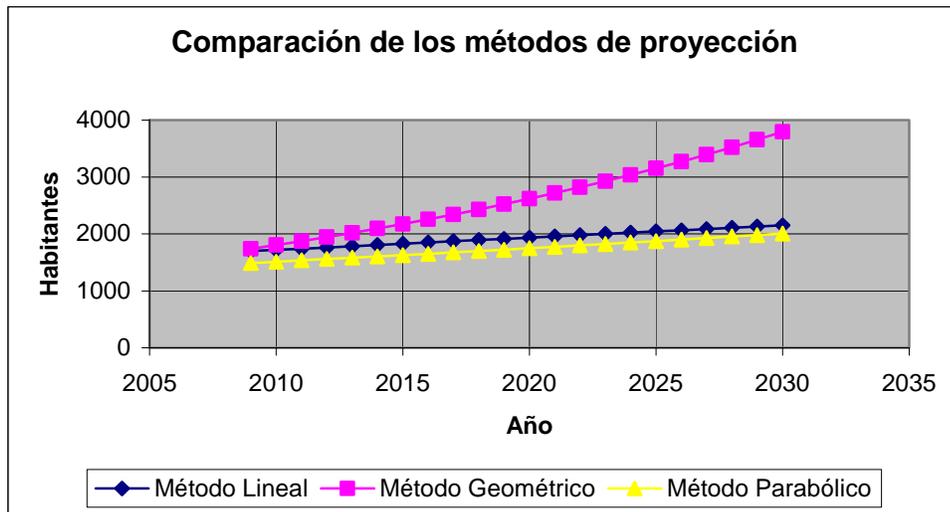
Grafica 4.6 Comparación de los métodos de proyección para El Encanto I



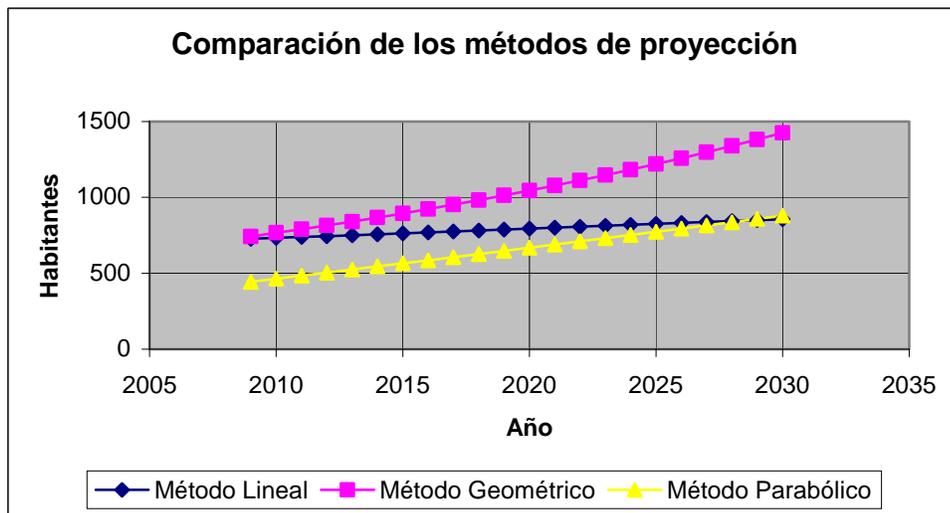
Grafica 4.7 Comparación de los métodos de proyección para El Encanto II



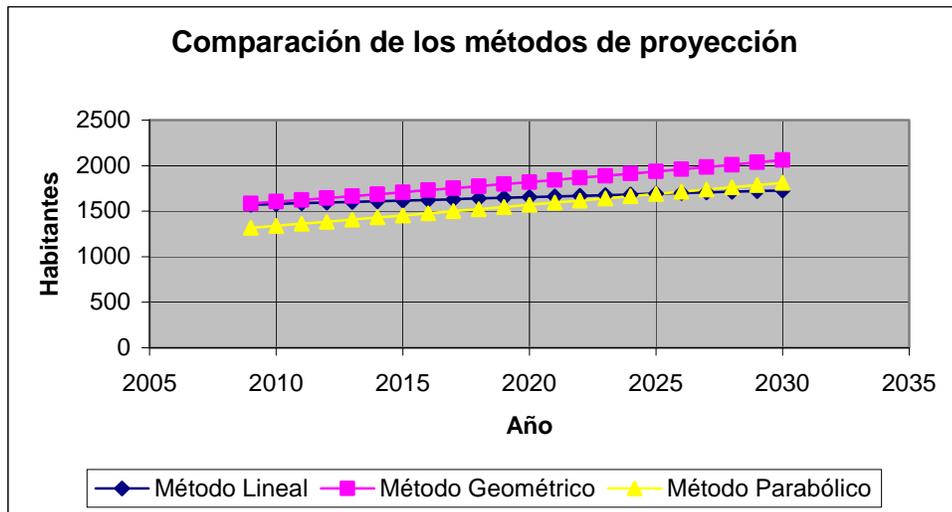
Grafica 4.8 Comparación de los métodos de proyección para El Encanto III



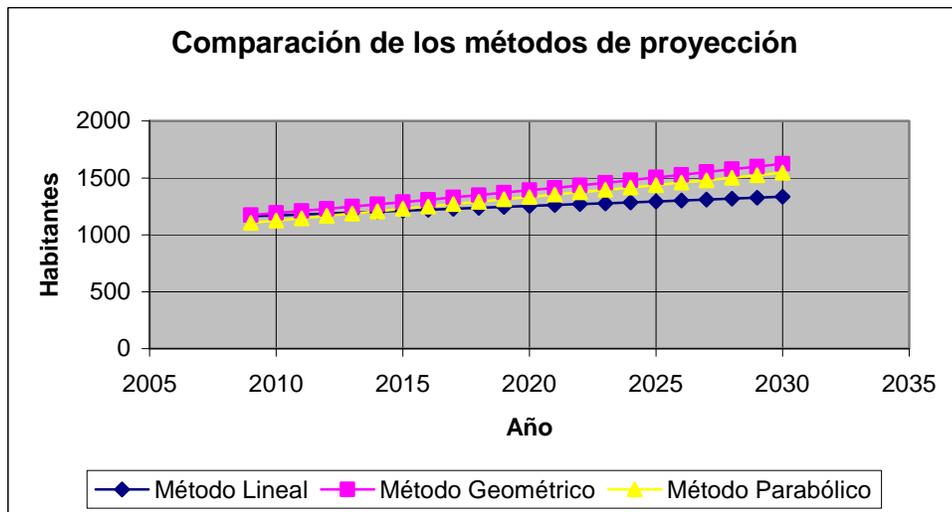
Grafica 4.9 Comparación de los métodos de proyección para Las Tiunas



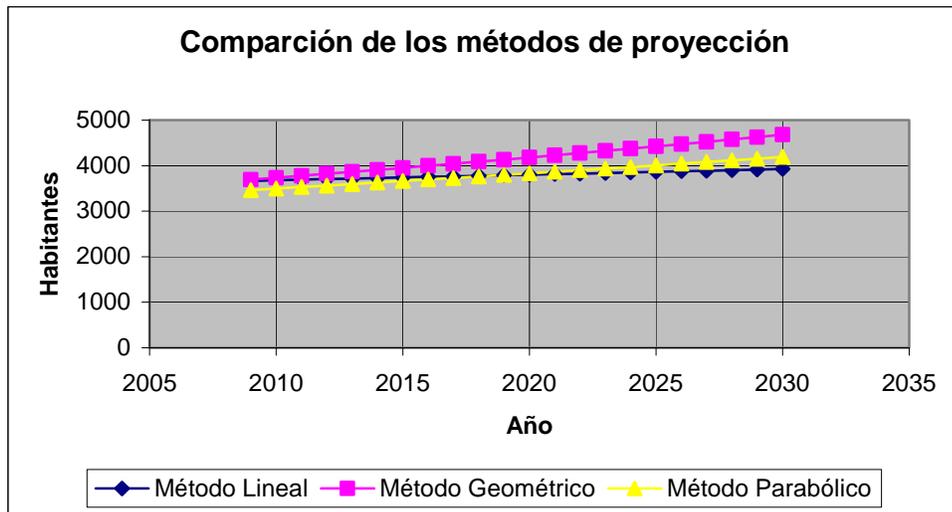
Grafica 4.10 Comparación de los métodos de proyección para El Bosque



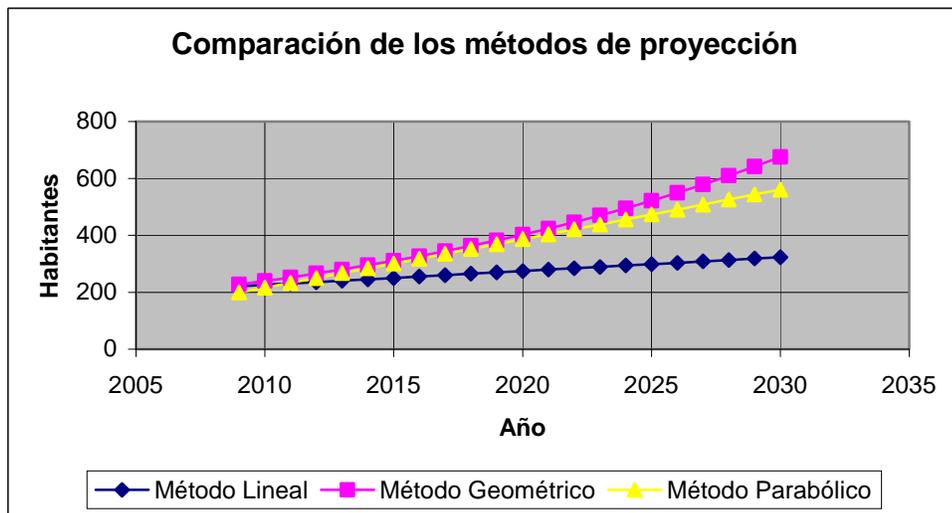
Grafica 4.11 Comparación de los métodos de proyección para Las Bambalinas-Av. Bertorrelli



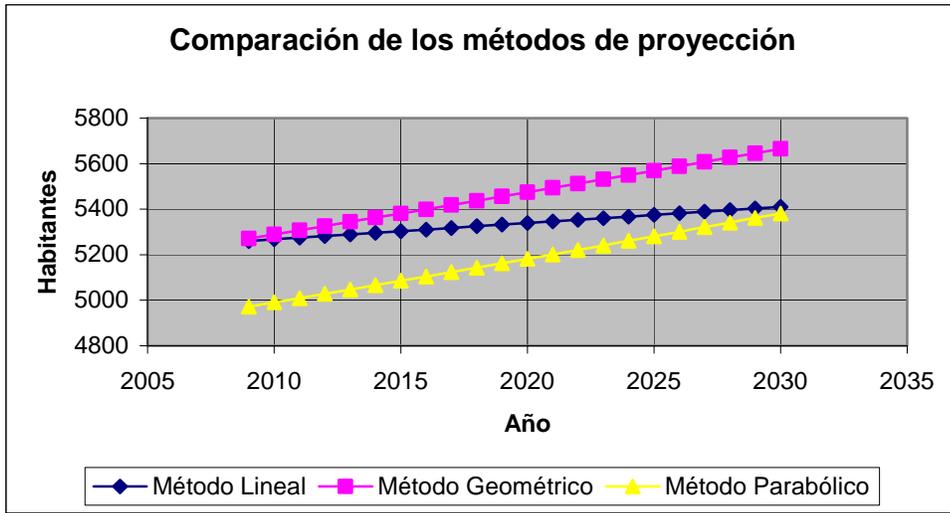
Grafica 4.12 Comparación de los métodos de proyección para Los Lagos



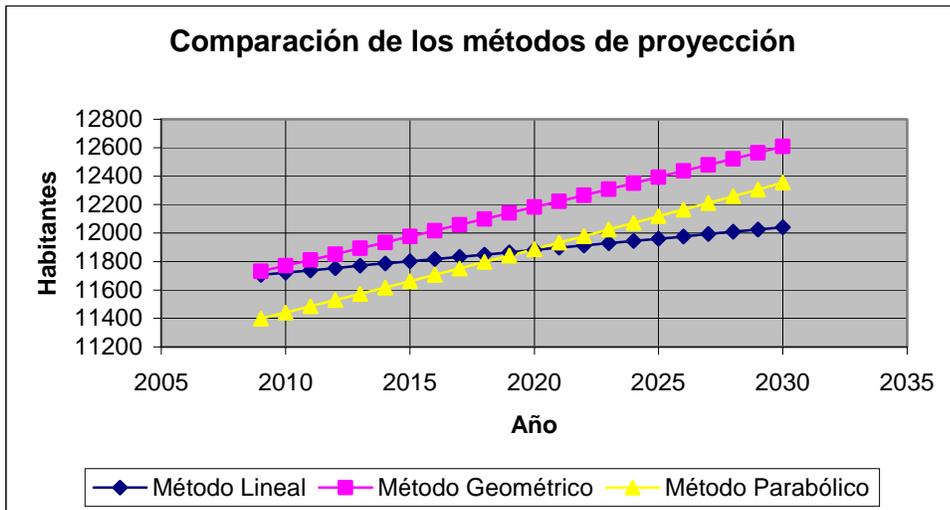
Grafica 4.13 Comparación de los métodos de proyección para Camatagua-Los Alpes



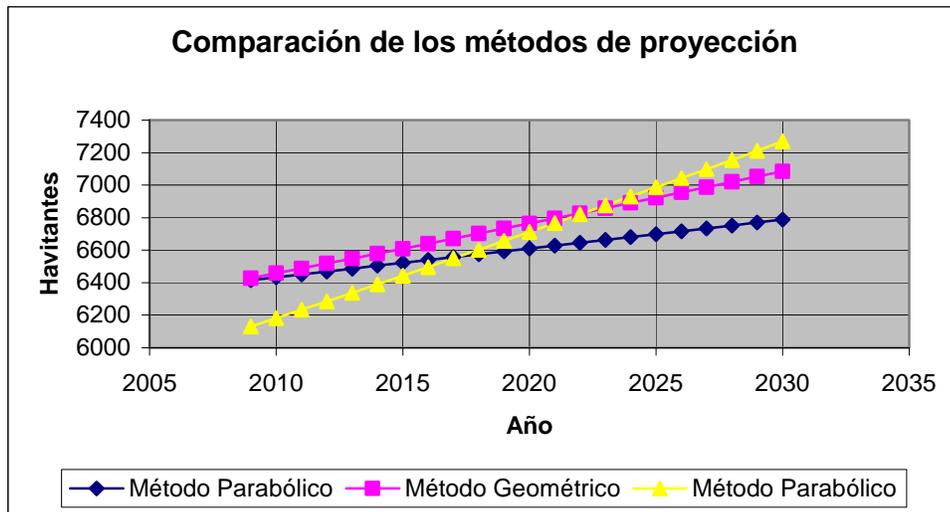
Grafica 4.14 Comparación de los métodos de proyección para Doña Mamá



Grafica 4.15 Comparación de los métodos de proyección para Barrio Miranda



Grafica 4.16 Comparación de los métodos de proyección para Guaremal



Grafica 4.17 Comparación de los métodos de proyección para Los Amarillos-El Trabuco

En los gráficos comparativos mostrados anteriormente se puede apreciar que entre el Método Lineal y el Método Parabólico no se aprecia gran diferencia en los resultados de las proyecciones. Por otro lado, el Método Geométrico arroja resultados con una diferencia mayor en comparación con los otros dos. Según recomendaciones del Instituto Nacional de Estadísticas (INE) y del Plan de Desarrollo Urbano Local- Los Teques (PDUL), el método recomendado para proyecciones es el Método Parabólico.

Considerando el análisis anterior se toma como método de proyección el Método Parabólico, esto debido a que no sobreestima la población. La base de este análisis se fundamenta también en la experiencia recopilada por el personal de diseño de HIDROCAPITAL y los trabajos especiales de grados considerados en este proyecto.

4.4 Estimación de la Rugosidad Actual de las Tuberías

El envejecimiento de la tubería es uno de los factores que determina la eficiencia de su operación, esto es, a mayor grado de envejecimiento mayor es la desviación de las características de operatividad para la cual fue diseñada.

La rugosidad esta vinculada directamente con la fricción, y esta a su vez con la energía, por lo que el índice de envejecimiento determina (de cierto modo) lo

necesario del cambio de la tubería, siempre y cuando no satisfaga las condiciones de operatividad del diseño. El coeficiente de proporcionalidad será obtenido de la Tabla 3.1, su selección dependerá del análisis de las sustancias del agua manejada por el Grupo de bombeo.

El diseño presenta cuatro tipos de tuberías distintos, las tuberías de hierro galvanizado, hierro fundido, acero y PEAD existentes. La rugosidad para estos materiales en su condición nueva es:

Tuberías de Hierro Galvanizado: 0.15 mm (Saldarriaga J. 1998)

Tuberías Plásticas (P.V.C.): 0.0015 mm (Saldarriaga J. 1998)

Tuberías Plásticas (PEAD): 0.0015 mm (Saldarriaga J. 1998)

Tuberías de Acero: 0.046 mm (Saldarriaga J. 1998)

Tuberías de Hierro Fundido: 0.15 mm (Saldarriaga J. 1998)

Como la rugosidad de la tubería aumenta con el pasar de los años, se utilizó la ecuación 3.22, denominada ecuación de Colebrook – White que permite estimar la rugosidad actual:

$$\varepsilon_{actual} = \varepsilon_{nueva} + \alpha * t$$

Donde ε_{actual} es la rugosidad actual, $\varepsilon_{inicial}$ es la rugosidad inicial del material y “t” son los años de servicio. Para determinar el coeficiente denominado tasa de incremento anual α , se realizó un análisis en laboratorio por parte de HIDROCAPITAL del agua transportada por el Grupo 1, específicamente del estanque de succión de la E/B La Matica, arrojando los siguientes resultados:

Parámetro	Muestra de la tanquilla de succión de la E/B La Matica
Ph (unidades)	6,92
Dureza Total CaCO_3	49,3
Sulfatos SO_4^{-2}	22,5
Cloruros	21,5
Calcio Ca^{+2}	9,5
Hierro Total (Fe)	0,15

Tabla 4.20 Resultados del análisis del agua

Al comparar estos resultados con la tabla de coeficientes de la fórmula de Colebrook y White (Tabla 3.1) se pudo determinar que el agua potable distribuida en el sistema es del tipo 1.

Tipo 1: Agua con poco contenido mineral que no origina corrosión. Agua con un pequeño contenido de materia orgánica y de solución de hierro.

$$0.005\text{mm/año} < \alpha < 0.055\text{mm/año}$$

De lo dicho anteriormente se puede establecer cuatro valores de ϵ_{actual} por tubería, considerando el valor de α más crítico y para un periodo de $t=30$ años:

<i>Material</i>	<i>Rugosidad inicial (Mm.)</i>	<i>Rugosidad actual (mm)</i>
Hierro Galvanizado	0,15	1,8
Hierro Fundido	0,15	1,8
PEAD	0,0015	1,6515
Acero	0,046	1,696

Tabla 4.21 Estimación de la rugosidad actual de las tuberías del sistema

Los resultados anteriores permiten establecer cuan envejecidas están las tuberías actuales del sistema, si bien es cierto que existe una disminución del diámetro interno de las tuberías a causa del envejecimiento y a su vez un incremento en la rugosidad de las mismas (ver figura 4.8), se debe tener presente como afecta todo esto a las pérdidas por fricción. Lo anterior incrementa las pérdidas de presión por fricción debido al transporte del fluido, afectando directamente a las condiciones de operación del sistema, de manera que se requiere mayor energía (presión) para satisfacer las condiciones requeridas actualmente, esto de acuerdo a la ecuación de pérdidas de Darcy-Weisbach.



Figura 4.8 Envejecimiento de las tuberías

4.5 Curva Característica del Sistema

Para la determinación de la curva del sistema se parte del registro de presiones tomado de la descarga del Grupo 1 de la estación de bombeo La Matica. Los registros se tomaron gracias al personal de operaciones de HIDROCAPITAL y se hizo de acuerdo a las siguientes horas de demanda, específicamente a las 12:00 a.m. (40%Qm), 7:00 a.m. (250%Qm) y a las 6:00 p.m. (120%Qm). De esta manera se determina el comportamiento del sistema.

Las características físicas del sistema deben ser conocidas con exactitud para obtener resultados reales del comportamiento del sistema. Una vez obtenidas toda la data física del sistema y la curva característica del Grupo de bombeo en cuestión, se procede, junto con ayuda del programa de simulación hidráulica *WaterGems*, a determinar los parámetros de operación del sistema.

A partir de los registros de presiones establecidos se determinara las condiciones para simular el sistema actual lo que permite evaluar el estado y la funcionalidad del mismo para los escenarios preestablecidos. Ahora bien, partiendo de la ecuación básica de la energía tenemos:

$$E_{T1} - \sum h_{f1-s} + H_B - \sum h_{fd-2} = E_{T2}$$

$$E_{T1} = z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 * g}$$

$$E_{T2} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 * g}$$

E_{T1} : Energía total en la superficie del agua del tanque succión

E_{T2} : Energía total en el nodo con referencia la válvula La Panamericana

z_1 : Cota de la estación de bombeo (esta es el datum del sistema)

z_2 : Cota con referencia la válvula La Panamericana

p_1 : Presión en la superficie del agua del tanque de succión

p_2 : Presión en el nodo con referencia la válvula La Panamericana

V_1 : Velocidad de succión media en el tanque de la estación

V_2 : Velocidad de descarga media

γ : Peso específico del agua a 20°C

h_{f1-s} : Perdidas desde la superficie del agua del tanque a la succión del Grupo

h_{fd-2} : Perdidas desde la descarga del Grupo hasta el nodo con referencia la válvula La Panamericana

H_B : Energía de presión de descarga del Grupo

Considerando la ecuación de pérdida por fricción de Hardy Cross,

$$h_f = f * \frac{l}{D} * \frac{V^2}{2 * g}, \quad \text{donde:}$$

f : Factor de fricción

l : Longitud del tramo de tubería

D : Diámetro de la tubería

V : Velocidad media de tránsito

g : Aceleración de gravedad

Y la ecuación de continuidad, $Q = V * A = V * \pi * \frac{D^2}{4}$, donde:

Q : Caudal en tránsito

A : Área del flujo en tránsito

Partiendo de la ecuación de continuidad y despejando $V=f(Q)$ tenemos:

$$Q = V * \pi * \frac{D^2}{4}$$

$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$, por lo tanto al sustituir en la ecuación de Darcy Weibash, obtenemos la

siguiente expresión:

$$h_f = 8 * f * \frac{l}{\pi^2 * g * D^5} * Q^2, \text{ de esta expresión asignamos a } k = 8 * f * \frac{l}{\pi^2 * g * D^5}.$$

De esta manera la expresión de h_f se simplifica a:

$$h_f = k * Q^2. \text{ Ahora si sustituimos la expresión obtenida anteriormente en la ecuación}$$

de energía y simplificamos obtenemos lo siguiente:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 * g} - k_1 * Q^2 + H_B - k_2 * Q^2 = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 * g}, \text{ despejando } H_B = f(Q)$$

tenemos:

$$H_B = z_2 - z_1 + \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 * g} + (k_1 + k_2) * Q^2, \text{ agregando el coeficiente de pérdida}$$

por accesorio (k_m) a la ecuación anterior tenemos:

$$k_m = k_s + k_c + k_h + k_d$$

k_s : Succión recta a tope (Saldarriaga, 1998)

k_c : Válvula de compuerta totalmente abierta (Saldarriaga, 1998)

k_h : Válvula tipo check completamente abierta (Saldarriaga, 1998)

k_d : Codo estándar de 90° (Saldarriaga, 1998)

$$H_B = z_2 - z_1 + \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 * g} + (k_1 + k_2 + k_m) * Q^2$$

El procedimiento para la determinación de la curva característica del sistema es el siguiente:

Con los registros de presión de descarga del Grupo se determina el punto de operación para cada escenario, este punto debe coincidir con el de la curva

característica del sistema. Una vez obtenido cada punto de operación por escenario del sistema se procede a construir la curva de cada escenario mediante la variación del caudal. Una vez obtenidas las curvas se grafican y con estos resultados se simula el sistema bajo cada parámetro de operación por escenario. Con los resultados de la simulación se procede a realizar la evaluación del sistema para posteriormente realizar el diagnóstico del mismo, lo que nos permite apreciar cuáles son las deficiencias del sistema actual.

4.6 Evaluación y Diagnóstico del Sistema de Bombeo (Grupo 1)

Para la evaluación se toma en cuenta el levantamiento en campo realizado en cuanto a los registros de presiones hechas en Guaremal y a la información recogida por las entrevistas a los habitantes de los subsectores de Guaremal.

La evaluación de la estación de bombeo La Matica, se hizo específicamente del Grupo de bombeo N°1 del cual depende el sector Guaremal. Este Grupo opera para abastecer a los siguientes sectores, los resultados fueron extraídos de Matos C, (2000), “*Estudio del Acueducto del Municipio Guaicaipuro Estado Miranda*”, donde se muestra la demanda por sector en litros por segundo (lts/s), de los cuales dependen del Grupo 1.

SECTOR	Q (lts/s)	NODO
Los Canales-Trabuco-Amarillos-Cumbre Roja	22,12	J-140
Sector Barrio Miranda	19,68	N/A
Sector El Encanto I, II y III	8,13	N/A
Sector Tiuna	5,76	N/A
Sector Las Bambalinas-Platilujo-Av. Bertorelli	6,72	N/A
Sector Los Lagos	4,65	N/A
Escuela Doña Mamá	0,6	N/A
Sector El Bosque	2,07	N/A
Sector Guaremal	26,38	J-153
Sector Camatagua-Los Alpes	14,65	N/A

Tabla 4.22 Consumo medio de los sectores dependientes de la E/B La Matica

La tabla anterior arroja un consumo de total de $Q_{total} = 84,38 \frac{lts}{s}$. El resultado anterior no toma en cuenta el sector Guaremal el cual posee un consumo de

$Q_{total} = 26,38 \text{ lts/s}$, ahora si se considera todos los sectores dependientes del Grupo 1 de la estación de bombeo La Matica se obtiene un consumo total de $Q_{total} = 110,76 \text{ lts/s}$ (consumo total de todos los sectores dependientes del Grupo 1).

Los resultados anteriores reflejan la gran demanda requerida para abastecer a todos los sectores dependientes del Grupo de bombeo 1. El Grupo 1 regularmente opera a una presión de descarga de 9 Kg/cm² (90 mH₂O), para esta presión de descarga se maneja un caudal de 61,8 lts/s a una eficiencia de 74% y una potencia de 99 HP (73,8 KW), los resultados anteriores fueron extraídos de la grafica de operación del Grupo de bombeo.

Adicionalmente del grafico de la bomba del Grupo 1 se extrajeron los siguientes valores:


Peerless Pump Company
 Indianapolis, IN 46207-7026

Preliminary Selection Table
 60 Hz Vertical Turbine Pumps

SECTION 140
 October, 2001

Pump Model	Type Impeller	Nominal Pump Speed Rpm	Min Flow US GPM	Mean Flow US GPM	Max Flow US GPM	Min Head per Stage Feet	Max Head per Stage Feet	Impeller Dia Min Inches	Impeller Dia Max Inches	Impeller No	Max Efficiency %	Best Efficiency %	Max Stages per 20 Feet of Impeller Shaft
7LB	High Capacity	1770	29	199	249	11	27	4.98	5.31	2626208	74.0	77.3	37
7HXB	Low Capacity	1770	29	187	345	4	21	4.60	4.85	2607926	80.5	81.0	39
7HXB	High Capacity	1770	48	245	441	5	23	4.73	4.98	2607921	79.9	81.5	39
8MA	High Capacity	1770	48	249	450	7	31	5.19	5.66	T84234	78.5	78.7	37
9LA	High Capacity	1770	48	326	603	9	44	6.19	6.69	T84323	80.7	81.5	28
8MA	Low Capacity	1770	48	211	373	9	28	5.19	5.66	T84229	77.0	79.2	37
9LA	Low Capacity	1770	48	252	455	8	41	6.19	6.69	T84391	79.7	80.0	28
8LB	High Capacity	1770	57	206	354	11	34	5.68	5.94	2616465	76.9	77.5	34
12MB	Low Capacity	1770	57	555	1053	21	65	7.94	8.88	2626936	82.1	82.0	22
8LB	Low Capacity	1770	57	177	297	4	31	5.63	5.94	2616464	76.9	77.2	34
8HXB		1770	77	374	670	3	29	5.23	5.61	2616348	81.1	82.0	36
10LB	High Capacity	1770	96	393	689	26	55	7.00	7.50	2625033	79.1	78.2	25
10HXB	Low Capacity	1770	96	527	958	10	44	6.39	6.70	T82337	85.0	82.0	28
10MA	Low Capacity	1770	96	460	824	9	44	6.63	7.13	T84363	81.5	80.5	28
10LB	Medium Capacity	1770	96	359	622	11	49	7.05	7.50	2625032	78.5	78.3	25
8HDX		1770	96	539	982	5	35	5.19	6.31	4602048	79.4	80.0	23
12HXB	First Stage	1770	105	828	1551	16	58	7.18	7.47	2608100	79.0	79.0	1
10HXB	High Capacity	1770	144	647	1149	13	45	6.61	6.92	T82366	81.5	82.8	28
10MA	High Capacity	1770	144	541	938	13	47	6.63	7.13	2624288	81.0	83.5	28
12LD	Low Capacity	1770	144	704	1264	13	89	8.41	9.34	2649265	82.1	82.1	18
12LDT		1770	144	551	958	32	87	8.18	9.01	4602394	84.1	83.6	23
14HXB	First Stage	1770	171	1426	2681	12	77	8.33	8.93	2616573	78.0	78.0	1
12LD	High Capacity	1770	192	774	1355	30	92	8.41	9.34	2634820	81.2	79.2	18
14LD	Low Capacity	1770	192	920	1647	35	111	9.54	10.61	2634704	80.6	81.4	16
10HH	Medium Capacity	1770	192	838	1484	6	39	5.61	6.46	2622864	82.7	80.4	21
10HHA		1770	192	1078	1983	14	45	6.44	7.20	4601873	82.3	80.4	21
10HH	High Capacity	1770	239	998	1757	11	41	6.42	6.91	2626818	83.5	83.0	21
12HXB	Low Capacity	1770	239	967	1695	15	62	7.77	8.41	2608279	82.7	82.2	22

Figura 4.9 Especificaciones de la bomba instalada actualmente (Grupo 1)

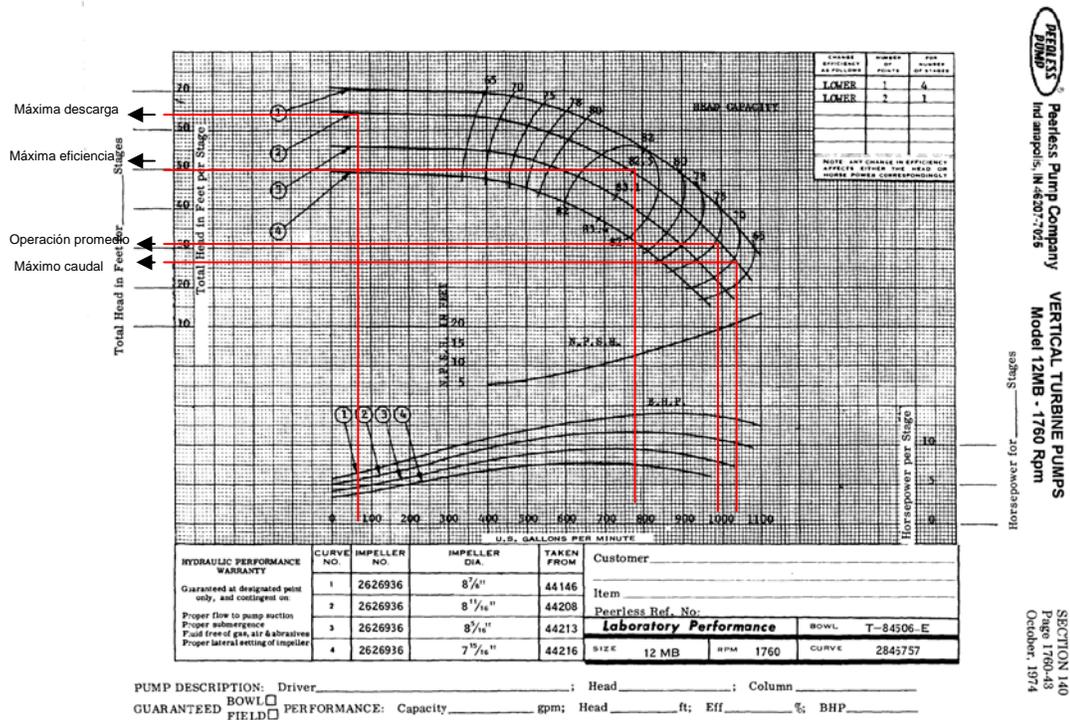


Figura 4.10 características operacionales del equipo Grupo 1

- El mayor caudal que maneja el grupo es de 66,4 lts/s, y con esto, una cabeza de descarga de 57,6 mH2O y una eficiencia menor al 65%
- La mayor cabeza de descarga es de 178,3 mH2O y con ella un caudal de 0 lts/s
- El punto de mayor eficiencia es de 82,1% y con ello un caudal de 42,21 lts/s, una cabeza de descarga de 137,1 mH2O y una potencia requerida de 103,5 HP

Diagnostico 1: de acuerdo al máximo caudal manejado por el Grupo 1 (66,4 lts/s), no es suficiente para abastecer a todos los sectores dependientes de este grupo de bombeo, ya que, el consumo medio requerido actualmente ($Q_{total} = 110,76 \text{ lts/s}$) es mayor que el manejado por el Grupo. Adicionalmente de trabajar el Grupo bajo el máximo caudal, la cabeza de descarga solo cubriría una diferencia de 57,6 mH2O y en vista a que la topografía de los sectores que dependen del Grupo 1 son variadas y con la mayoría de sus elevaciones superiores a los 57,6 m implica que no cubriría a los sectores ubicados a 57,6 m por encima de la estación de bombeo La Matica.

Diagnostico 2: la cota de la estación de bombeo La Matica es de 1185 m.s.n.m y la cota mas elevada a superar para alcanzar al sector Guaremal es de 1262 m.s.n.m(restaurante Los Alpes), por lo tanto la máxima altura requerida para llegar al sector Guaremal es de 77 m. La altura anterior es menor a la máxima presión de descarga del Grupo (178,3 mH₂O) pero esta presión es para caudal mínimo de 0 lts/s del grupo, lo cual implica que cualquier sector ubicado a una altura relativa, respecto a la estación de bombeo, por encima de los 178,3 m no podrán ser alcanzada por el Grupo 1. Alturas relativas menores a los 178,3 m pueden ser cubiertas por el Grupo de bombeo siempre y cuando el consumo requerido para los sectores involucrados coincida con el caudal manejado por el Grupo.

Diagnostico 3: para el punto de operación de máxima eficiente del Grupo (82,1%), se puede cubrir a sectores con altura relativa, respecto a la estación de bombeo La Matica, menor a los 137,1 m siempre y cuando el consumo este dentro del caudal maneja por el Grupo que es de 42,21 lts/s.

De acuerdo al consumo requerido por todos los sectores dependientes del Grupo de bombeo (110,76 lts/s) se puede comprobar que es mayor al manejado por el grupo (42,21lts/s) para la condición de máxima eficiencia, lo cual implica que no pueden ser abastecidos todos a la vez, esto trae como consecuencia el empleo de múltiples maniobras para logra el abastecimiento (en lo posible) de todos los sectores dependientes del Grupo 1. Por lo tanto se puede considerar la separación de los sectores en grupos para poder operar bajo la condición de máxima eficiencia. Se destaca que solo el sector Guaremal consume $Q_{total} = 26,38 \frac{lts}{s}$ y requiere una elevación de 78 m para alcanzar al sector.

4.7 Evaluación Hidráulica del Sector Guaremal

El análisis hidráulico se realizo con la ayuda del programa elaborado por Haestad Methods, “WaterGEMS” [programa de computación], con este programa se reducen los tiempos de calculo, permitiendo obtener resultados rápidos de los distintos escenarios del sistema actual. De acuerdo a los parámetros de evaluación

establecidos se procedió a realizar la evaluación hidráulica con su respectivo diagnóstico.

La simulación del sistema actual de Guaremal se hace considerando que existe el caudal demandado, esto es, se consideran que las tuberías están llenas del fluido (agua). Lo anterior es debido a que el objetivo es optimizar el sistema, su operación será bajo esta consideración. Así mismo, evaluando el sistema bajo esta consideración se puede evidenciar cuáles son las deficiencias del mismo en cuestión de la hidráulica, así se podrá obtener resultados en cuanto al manejo de cabezas de presión dentro del sistema y caudales.

Los resultados de las distintas entrevistas y visitas serán citadas en el transcurso del desarrollo de la evaluación y diagnóstico para evidenciar, comprobar y solventar los distintos ítems planteados en el problema.

Una vez aclarado el principio para la evaluación se muestran los resultados de la misma:

Caso 1.

Evidentemente cuando la válvula La Panamericana se encuentra totalmente abierta la distribución del caudal manejado por el Grupo de bombeo 1 no alcanza la cota máxima requerida por el sector Guaremal, esto es, para esta condición el Grupo 1 se encuentra operando a una presión de descarga por debajo del mínimo requerido para sobrepasar la cota para alcanzar a Guaremal, este mínimo es de 78 m. La diferencia anterior proviene de la diferencia de altura relativa de la estación de bombeo La Matica (1184 m.s.n.m) y el punto más alto antes de llegar al sector Guaremal que es el restaurante Los Alpes (1262 m.s.n.m). Por lo tanto para esta condición de operación del Grupo 1 no se tiene flujo hacia el sector Guaremal. Lo anterior se justifica de acuerdo a las visitas hechas al punto de presión ubicado a la altura del restaurante Los Alpes, las visitas fueron realizadas durante los días de la semana en horas de la tarde (lunes-viernes) donde se evidencio que la tubería de aducción durante los días lunes, miércoles y viernes no se encontraba completamente llena (el agua fluye bajo la condición de canal).

La prueba que se realizó para verificar el estado del paso de fluido por la tubería de aducción hacia Guaremal fue con la apertura del punto de presión y su consecuente medición, con esto se apreciaba si la tubería en cuestión estaba llena o no.

Considerando las siguientes características de los sectores que dependen del Grupo 1, se permite destacar las causas por las cuales no se alcanza al sector Guaremal. A continuación se muestra una tabla con la cual se realiza el análisis del servicio:

ALTURA RELATIVA Y CONSUMO MEDIO DE LOS SECTORES DEPENDIENTES DEL GRUPO 1		
SECTOR	ALTURA RELATIVA (m)	Q(lts/s)
El Encanto I	41	2,61
El Encanto II	74	2,8
El Encanto III	84	2,72
El Bosque	96	2,07
Tiuna	49	5,76
Las Bambalinas-Av. Bertorelli	66	6,72
Los Lagos	68	4,65
Barrio Miranda	68	19,68
Guaremal	78	26,38
Los Amarillos-Trabuco	78	22,12
Escuela Doña mamá	78	0,6
Camatagua-Los Alpes	78	14,65
TOTAL		110,76

Tabla 4.23 Consumo medio de los sectores y altura relativa dependientes del Grupo 1

Como se explicó anteriormente cuando no se cierra la válvula La Panamericana y la válvula Guaremal, el sistema requiere su mayor demanda, esto es 110,76 lts/s (esto ocurre excepto los días martes y jueves, donde se cierra la válvula La Panamericana y el día viernes cuando se cierra la válvula Guaremal). Considerando que el máximo caudal operado por el Grupo 1 es de 66,4 lts/s, y con esto, una presión de descarga de 57,6 mH₂O y una eficiencia menor al 65%, al comparar con la tabla de altura relativa se puede evidenciar que solo los sectores por debajo de los 57,6 m podrán ser abastecidos de manera preferencial, esto es, los

sectores mas bajos serán abastecidos primero, y luego el resto a medida que decrece el consumo de los sectores bajos.

Los sectores abastecidos para esta condición serán:

SECTORES ABASTECIDOS BAJO LA CONDICION DE MAXIMO CAUDAL DEL GRUPO 1		
SECTOR	DEMANDA(Its/s)	ALTURA RELATIVA MAXIMA (m)
Platilujo	1,32	11
Av. Bertorrelli	3,22	13
Las Tiunas	6,97	49
El Encanto I	4,01	41
Los Lagos (parte baja)	3,94	36
Camatagua-Los Alpes	7,8	41
TOTAL	27,26	

Tabla 4.24 Relación de demanda y alturas relativas para sectores bajos

Como puede observarse, la capacidad requerida por el Grupo 1 para estos sectores no es la máxima del Grupo. Por lo tanto a este caudal (27,26 lts/s) la cabeza de descarga es de uno 167,3 mH₂O, lo que permite alcanzar a sectores mas altos una vez abastecidos éstos. La siguiente tabla muestra los sectores añadidos.

SECTORES ABASTECIDOS BAJO LA CONDICION DE MAXIMO CAUDAL DEL GRUPO 1		
SECTOR	DEMANDA(Its/s)	ALTURA RELATIVA MAXIMA (m)
Platilujo	4,12	11
Av. Bertorrelli	3,22	13
Las Tiunas	6,97	49
El Encanto I y II	5,41	74
Los Lagos	4,65	68
Camatagua-Los Alpes	10,35	59
El Bosque	1,56	56
Las Bambalinas	2,58	66
TOTAL	38,86	

Tabla 4.25 Relación de demanda y alturas relativas para sectores bajos e intermedios

Para una demanda de 38,86 lts/s el Grupo 1 opera a una descarga de 150,8 mH₂O lo cual es suficiente para superar la altura requerida de los sectores involucrados. Ahora, basados en la curva del Grupo 1 y en la máxima altura relativa

requerida para alcanzar al sector Guaremal se determina lo siguiente: si la altura relativa mínima requerida para alcanzar al sector Guaremal es de 77 m, implica que para una condición de descarga como mínima de 77 m H₂O una caudal máximo de 62,46 lts/s.

De acuerdo al análisis anterior, la restricción es que el Grupo debe operar a caudales por debajo de los 62,46 lts/s para asegurar un presión de descarga superior a los 77 m H₂O y así poder alcanzar al sector Guaremal, mas aun, si consideramos las perdidas que trae como consecuencia el transporte del flujo hasta el sector Guaremal, implica que la cabeza de descarga debe ser, evidentemente, superior a los 77 m H₂O lo cual implica una disminución del caudal manejado por el Grupo 1 para la distribución al sistema.

Así mismo, el caudal manejado por el Grupo bajo las condiciones establecidas anteriormente impide la distribución completa de todos los sectores dependientes del Grupo 1. El análisis anterior permite evidenciar el problema principal para el abastecimiento del sector Guaremal; capacidad del equipo no corresponde a las necesidades del sistema para el cual esta operando.

También se debe hacer notar que el análisis, fue hecho bajo la condición de consumo promedio (esto es a Q_m) y que si consideramos las horas picos de consumo 6:00 am (150% Q_m) y a las 7:00 pm (250% Q_m), la capacidad de distribución o el numero de sectores abastecidos disminuye notablemente y hace menos posible el alcance del sector Guaremal.

Diagnostico: bajo la condición de la válvula La Panamericana en servicio (abierta totalmente) y considerando los escenarios de Q_m , 250% Q_m , 150% Q_m y 50% Q_m se puede observar que las condiciones de operación requerida para alcanzar al sector Guaremal son de una cabeza de descarga mayor a los 77m H₂O, esto a su vez implica un caudal de manejo del Grupo 1 menor a los 62,46 lts/s. Como la demanda requerida por los sectores inferiores a Guaremal (altura del sector respecto a la estación de bombeo) requieren una demanda cercana a los 50 lts/s a Q_m , el caudal que alcanza al sector Guaremal es de aproximadamente unos 8-5 lts/s lo cual es insuficiente para

abastecer al sector que por lo general para la condición de Qm requiere de 26,38 lts/s. La condición anterior evidencia el porque el flujo en forma de canal por el punto de presión con referencia en el restaurante Los Alpes. Así mismo, este caudal manejado por la tubería matriz hacia Guaremal se consume por los primeros sectores de Guaremal que son: Los Barriales, parte baja del sector Barrio Miranda, El Liceo Ocumare del Tuy, parte del sector El Zamuro, parte del sector El Castillo, El Dispensario, La Cruz, Altagracia y parte del sector Santa Maria. Los sectores anteriores son “los menos perjudicados”, ya que estos poseen un servicio continuo de agua excepto los días viernes donde se coloca fuera de servicio la válvula Guaremal.

Retomando el análisis, para las condiciones de 250%Qm y 150%Qm el sector Guaremal se encuentra en condiciones de desabastecimiento por completo ya que el consumo es mucho mayor para todos los sectores y las condiciones de operación del Grupo 1 solo da para abastecer a los sectores más bajos.

Finalmente, cuando la demanda de los sectores se encuentra a 50%Qm (4:00 am) se ve favorecido el sector Guaremal, ya que se estaría disponible mayor parte del caudal manejado por el Grupo para el sector Guaremal, esto es evidente debido a que el consumo en los sectores bajos ha decrecido por encontrarse ya abastecidos.

Caso 2.

De acuerdo a la información manejada por HIDROCAPITAL, la válvula La Panamericana se encuentra fuera de servicio (completamente cerrada) los días martes y jueves, esto trae como consecuencia el siguiente estado de operación del Grupo 1.

Cuando la válvula La Panamericana está fuera de servicio implica que se que los siguientes sectores están fuera de servicio de agua (sectores en coloración roja):

ALTURA RELATIVA Y CONSUMO MEDIO DE LOS SECTORES DEPENDIENTES DEL GRUPO 1		
SECTOR	ALTURA RELATIVA (m)	Q(lts/s)
El Encanto I	41	2,61
El Encanto II	74	2,8
El Encanto III	84	2,72
El Bosque	96	2,07
Tiuna	49	5,76
Las Bambalinas-Av. Bertorrelli	66	6,72
Los Lagos	68	4,65
Barrio Miranda	68	19,68
Guaremal	78	26,38
Los Amarillos-Trabuco	78	27,34
Escuela Doña mamá	78	0,6
Camatagua-Los Alpes	78	14,65
TOTAL		110,76

Tabla 4.26 Sectores en servicio bajo el cierre de la válvula La Panamericana

Estos sectores determinan una demanda total de 39,91 lts/s en la condición de Qm. Por otra parte, el caudal demandado entonces será de 70,85 lts/s, a pesar de que esta demanda es mas baja que la requerida por todos los sectores dependientes del Grupo 1, es superior al caudal máximo manejado por el Grupo, que es de 66,4 lts/s y con una presión de descarga de 57,6 mH2O. Bajo esta condición solo se logra abastecer a los sectores del Bosque, la escuela Doña Mamá, Barrio Miranda, parte de los sectores Los Amarillos-El Trabuco y la primera parte del sector Guaremal (Los Barriales, El Liceo Ocumare del Tuy, El Zamuro, El Castillo, El Dispensario, La Cruz, Altagracia y Santa Maria). A pesar que se maneja un mayor caudal hacia el sector de Guaremal este sigue siendo insuficiente para abastecerlo, ya que para esta condición entran en servicio dos grandes sectores que son Barrio Miranda y Los Amarillos-El Trabuco.

Diagnostico: al igual que para el caso 1, aquí se toma en cuenta que la variación de la demanda, esto de acuerdo a los escenarios de Qm, 250%Qm, 150%Qm y 50%Qm. Si a Qm se presenta déficit en la distribución y abastecimiento de los sectores

involucrados bajo la condición, válvula La Panamericana fuera de servicio, es evidente que a máxima demanda el abastecimiento de los sectores involucrados se reduce aun mas. Así mismo, se requiere de un cabeza de descarga del Grupo por encima de los 77 m H₂O para poder sobrepasar la altura necesaria para llegar a los sectores de Guaremal, Los Amarillos-El Trabuco, Escuela Doña Mamá, El Bosque y a Barrio Miranda, esta condición trae como consecuencia un caudal manejado del Grupo 1 menor a los 62,46 lts/s que es menor a lo demandado por los sectores en conjunto. Finalmente, con el análisis anterior se puede apreciar el problema del déficit de caudal hacia el sector Guaremal, evidentemente la capacidad del Grupo 1 no cubre con lo requerido actualmente por los sectores vinculados al Grupo 1. Para continuar con el análisis, primero que nada se debe considerar la mejora del caudal manejado por la tubería matriz con dirección a Guaremal tal que cumpla con las condiciones de demanda requerida, así el sistema interno de abastecimiento de Guaremal tendría a disposición el caudal demandado.

La evaluación del sistema de abastecimiento interno del sector Guaremal arroja los siguientes resultados de acuerdo a la simulación hidráulica elaborada:

Caso 1 (40%Q_m)

Para la condición del sistema de abastecimiento del Grupo 1 sin ningún tipo de operación (ningún cierre de válvula) se tiene que el consumo es de 40% del caudal medio (Q_m). Esto implica los siguientes consumos de los sectores dependientes del Grupo 1.

<i>ALTURA RELATIVA Y CONSUMO MEDIO DE LOS SECTORES DEPENDIENTES DEL GRUPO 1</i>						
SECTOR	ALTURA RELATIVA (m)	Q_m(lts/s)	Habitantes	40%Q_m	250%Q_m	122%Q_m
El Encanto I	41	2,61	902	1,044	6,525	3,1842
El Encanto II	74	2,8	968	1,12	7	3,416
El Encanto III	84	2,72	940	1,088	6,8	3,3184
El Bosque	96	2,07	715	0,828	5,175	2,5254

Tiuna	49	5,76	1991	2,30	14,4	7,02
Las Bambalinas- Av. Bertorrelli	66	6,72	2322	2,68	16,8	8,19
Los Lagos	68	4,65	1607	1,86	11,625	5,67
Barrio Miranda	68	19,68	6801	7,87	49,2	24,00
Guaremal	78	26,38	11690	10,55	65,95	32,18
Los Amarillos- Trabuco	78	22,12	7645	8,848	55,3	26,98
Escuela Doña mamá	78	0,6	207	0,24	1,5	0,73
Camatagua- Los Alpes	78	14,65	5063	5,86	36,62	17,87
TOTAL		110,76	40852	44,30	276,90	135,12

Tabla 4.27 Relación de consumos y alturas relativas de los sectores dependientes del Grupo 1
 Para la condición de 44,30 lts/s el Grupo 1 tiene los siguientes parámetros de operación:

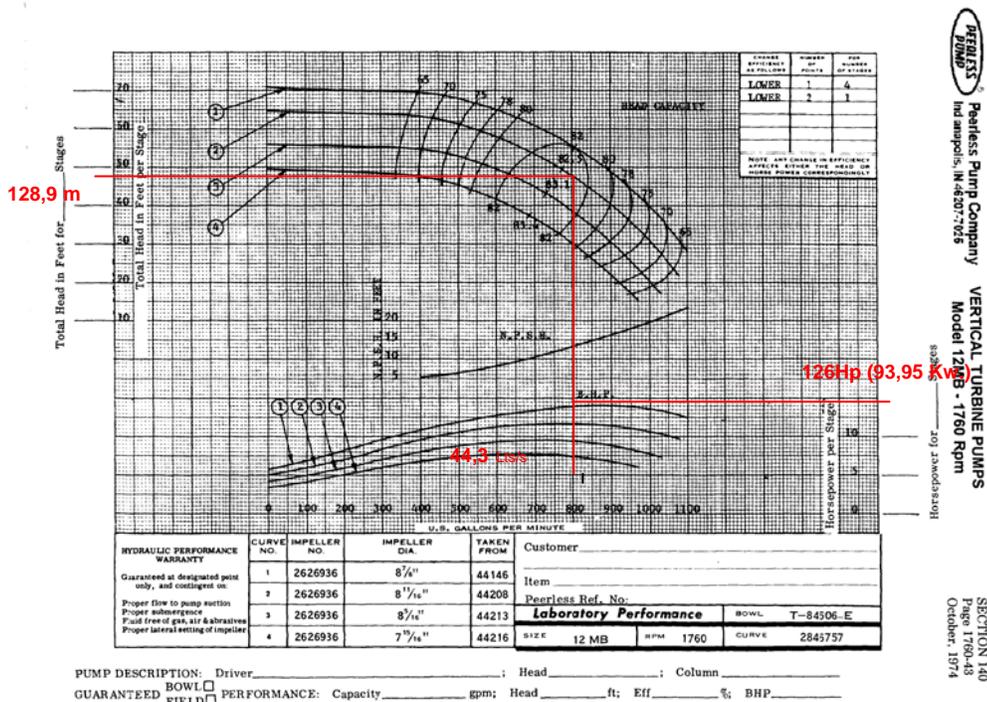


Figura 4.11 Parámetros operacionales sin maniobra

Bajo esta condición el caudal suministrado a Guaremal es de 10,55 lts/s, este caudal se distribuye en el sistema de abastecimiento de Guaremal de la siguiente manera (resultados de la simulación en el Apéndice). Estos sectores son:

Los Barriales parte baja, Barrio Miranda (65% de la población), Los Barrilales, Población cercana al Estanque Guaremal y La Primera parte del sector Los Amarillos-El Trabuco. El resto de la población de Guaremal se encuentra sin servicio de agua, se resalta que los sectores abastecidos aumentan a medida que el consumo de los primeros disminuye pero que no llega a cubrir a los sectores aguas debajo del sector La Laguna.

Cuando se coloca fuera de servicio de la válvula La Panamericana (martes y jueves) la demanda del Grupo 1 es de 36,06 lts/s.

ALTURA RELATIVA Y CONSUMO MEDIO DE LOS SECTORES DEPENDIENTES DEL GRUPO 1						
SECTOR	ALTURA RELATIVA (m)	Qm(lts/s)	Habitantes	40%Qm	250%Qm	122%Qm
El Bosque	96	2,07	715	0,82	5,17	2,52
Los Lagos	68	4,65	1607	1,86	11,62	5,67
Barrio Miranda	68	19,68	6801	7,87	49,2	24,00
Guaremal	78	26,38	11690	10,55	65,95	32,18
Los Amarillos-Trabuco	78	22,12	7645	8,84	55,3	26,94
Escuela Doña mamá	78	0,6	207	0,24	1,5	0,73
Camatagua-Los Alpes	78	14,65	5063	5,86	36,62	17,87
TOTAL		90,15	33729	36,06	225,37	109,98

Tabla 4.28 Relación de demanda y altura relativa bajo la condición de la válvula La Panamericana cerrada

El punto de operación para esta condición es el siguiente:

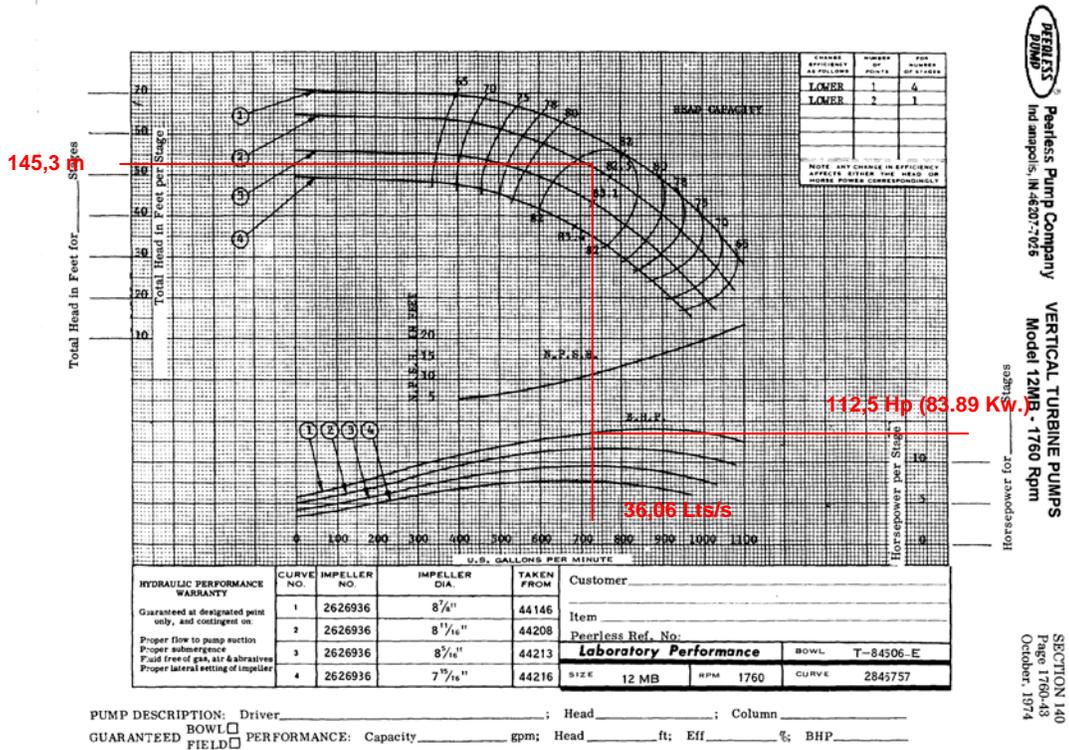


Figura 4.12 Parámetros operacionales con maniobra

Bajo esta condición se puede evidenciar el porque de los registros de alta cabeza de descarga del Grupo. Si tomamos en cuenta que la altura necesaria para llegar a Guaremal es de unos 77 m, se puede apreciar que para un punto de operación del Grupo con una presión de descarga mínima de 86 m se tiene los siguientes resultados:

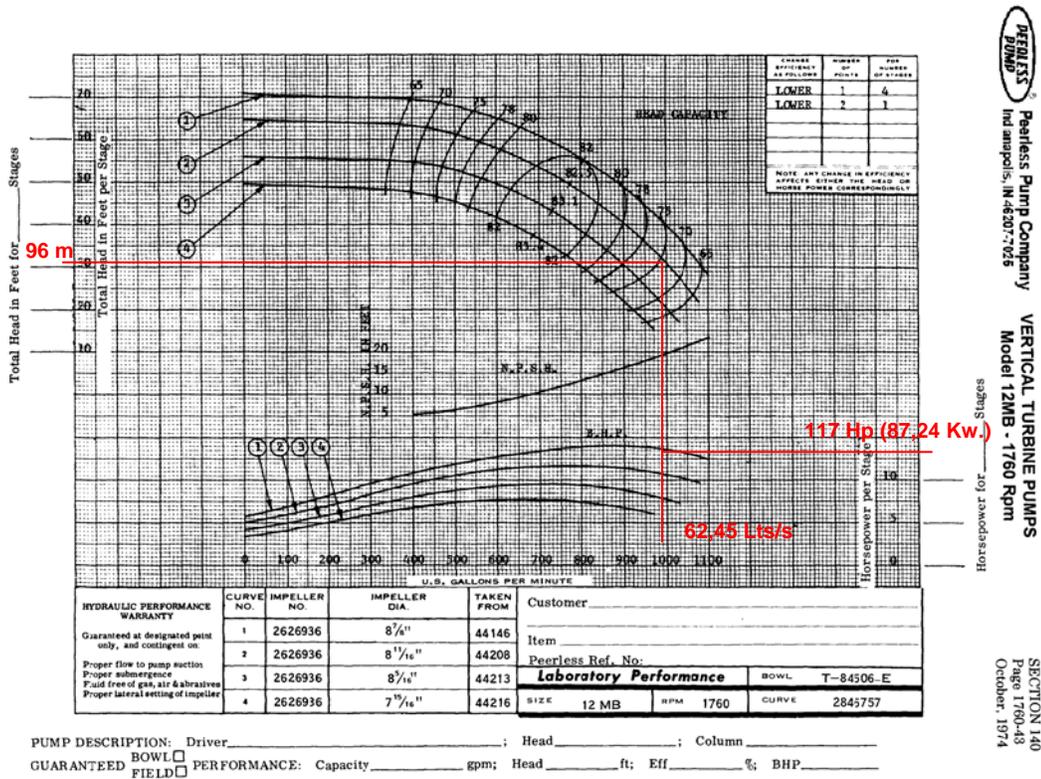


Figura 4.13 Parámetros operacionales requeridos para alcanzar Guaremal

La capacidad de bombeo puede llegar a ser a de hasta 62,46 lts, con este caudal manejado por el Grupo puede abastecerse un número mayor de sectores de Guaremal. Para evidencia de esto se tiene que para un caudal de disponible de 62,46 lts/s se cubre: parte baja del sector el bosque (1,91 lts/s para una altura de 78 m), parte baja del Barrio Miranda (10,81 lts/s para una altura de 68 m), Doña Mamá (0,6 lts/s para una altura de 68 m) y Los Amarillos-El Trabuco (22,12 lts/s para una altura de 77 m). De acuerdo a los valores de consumo anterior se obtiene que para el sector Guaremal el caudal disponible es de:

$$Q_{Guaremal} = Q_{Bombeo} - Q_{Bosque} - Q_{Barrio_Miranda} - Q_{Doña_Mamá} - Q_{Amarillos_Trabuco}$$

$$Q_{Guaremal} = (62,46 - 1,91 - 10,81 - 0,6 - 22,12) \text{ lts/s}$$

$$Q_{Guaremal} = 27,02 \text{ lts/s}$$

Con este resultado se puede apreciar el mayor caudal disponible para el sector Guaremal, esto implica que los sectores abastecidos aumenten. Lo anterior se puede evidenciar con el resultado de la corrida hidráulica (en el apéndice), la cual arroja un número mayor número de sectores con servicio.

Para esta condición los sectores sin servicio de agua son: Valle Dorado parte baja, Terminal de Buses y La Vaquera.

Caso 2 (250%Qm)

Sistema sin ningún tipo de operación (*ninguna válvula de operación cerrada*). Para esta condición la demanda al Grupo 1 es de unos 276,9 lts/s, esta sobrepasa la capacidad de operación del Grupo, por lo que implica que este opere a su máxima capacidad. El punto de operación de para esta condición se especifica a continuación:

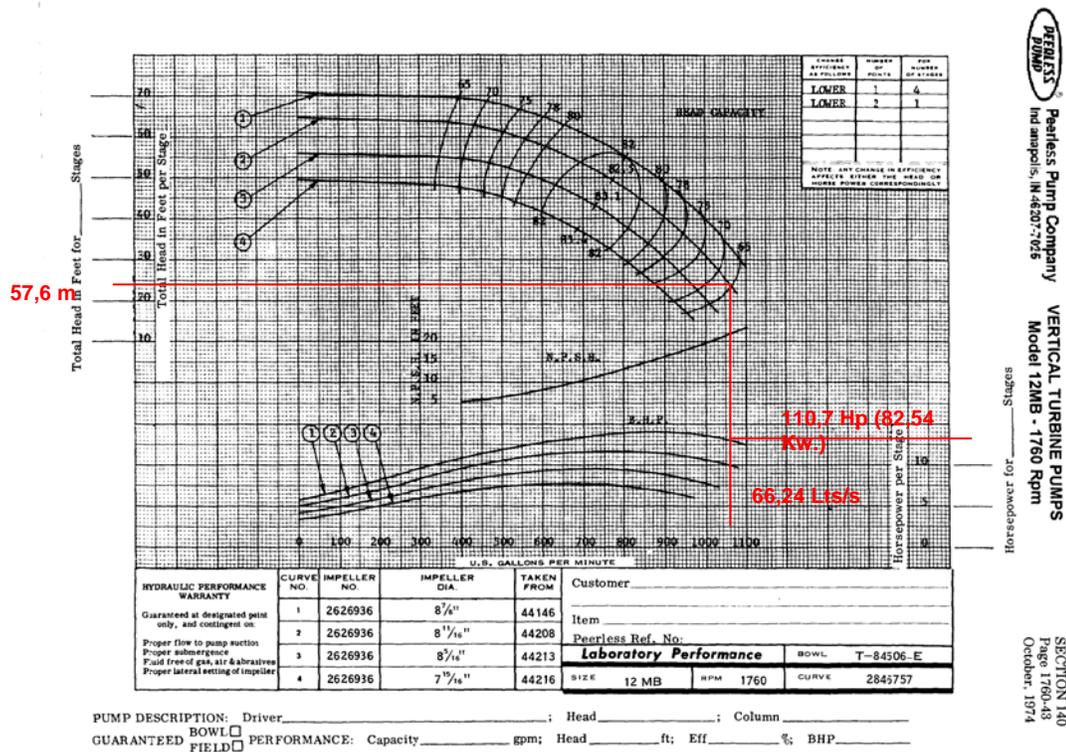


Figura 4.14 Parámetros de operación para la condición de máximo caudal del Equipo

Bajo la condición de operación del Grupo a máximo caudal la presión de descarga del Grupo no es lo suficiente para abastecer a los sectores con altura relativa

a la E/B mayor a los 57,6 m, estos sectores son los resaltados sombreados a continuación:

ALTURA RELATIVA Y CONSUMO MEDIO DE LOS SECTORES DEPENDIENTES DEL GRUPO I						
SECTOR	ALTURA RELATIVA (m)	Qm(lts/s)	Habitantes	40%Qm	250%Qm	122%Qm
El Encanto I	41	2,61	902,02	1,04	6,53	3,18
El Encanto II	74	2,80	967,68	1,12	7,00	3,42
El Encanto III	84	2,72	940,03	1,09	6,80	3,32
El Bosque	96	2,07	715,39	0,83	5,18	2,53
Tiuna	49	5,76	1990,66	2,30	14,40	7,03
Las Bambalinas-Av. Bertorrelli	66	6,72	2322,44	2,69	16,80	8,20
Los Lagos	68	4,65	1607,04	1,86	11,63	5,67
Barrio Miranda	68	19,68	6801,43	7,87	49,20	24,01
Guaremal	78	26,38	11690,00	10,55	65,95	32,18
Los Amarillos-Trabuco	78	22,12	7644,69	8,85	55,30	26,99
Escuela Doña mamá	78	0,60	207,36	0,24	1,50	0,73
Camatagua-Los Alpes	78	14,65	5063,05	5,86	36,63	17,87
TOTAL		110,76	40851,81	44,30	276,90	135,13

Tabla 4.29 Demanda de los sectores bajos manejados por el Grupo 1

Con esto se puede apreciar que los sectores del Encanto I, Las Bambalinas-Av. Bertorrelli y Los Lagos parte baja son los principales que abastece el Grupo independientemente del punto de operación (*estos están en constante servicio de agua a menos que se les restrinja con una maniobra de operación*). Una vez cubierta la demanda de los sectores de menor requerimiento de altura (*los sectores más bajos comentados en el párrafo anterior*) el abastecimiento de los sectores de mayor altura relativa se hace de manera gradual. Pero queda resaltado que el Grupo no logra satisfacer las demandas requeridas por el sistema, lo cual trae como consecuencia que

el sector Guaremal para la condiciones de 250%Qm que sin servicio (*por completo*) de agua.

Para la condición de operación, válvula La Panamericana cerrada, no se nota ningún tipo de mejora, debido a que la altura mínima requerida para alcanzar al sector Guaremal es de 77 m implica que el máximo caudal de operación del Grupo sea el siguiente:

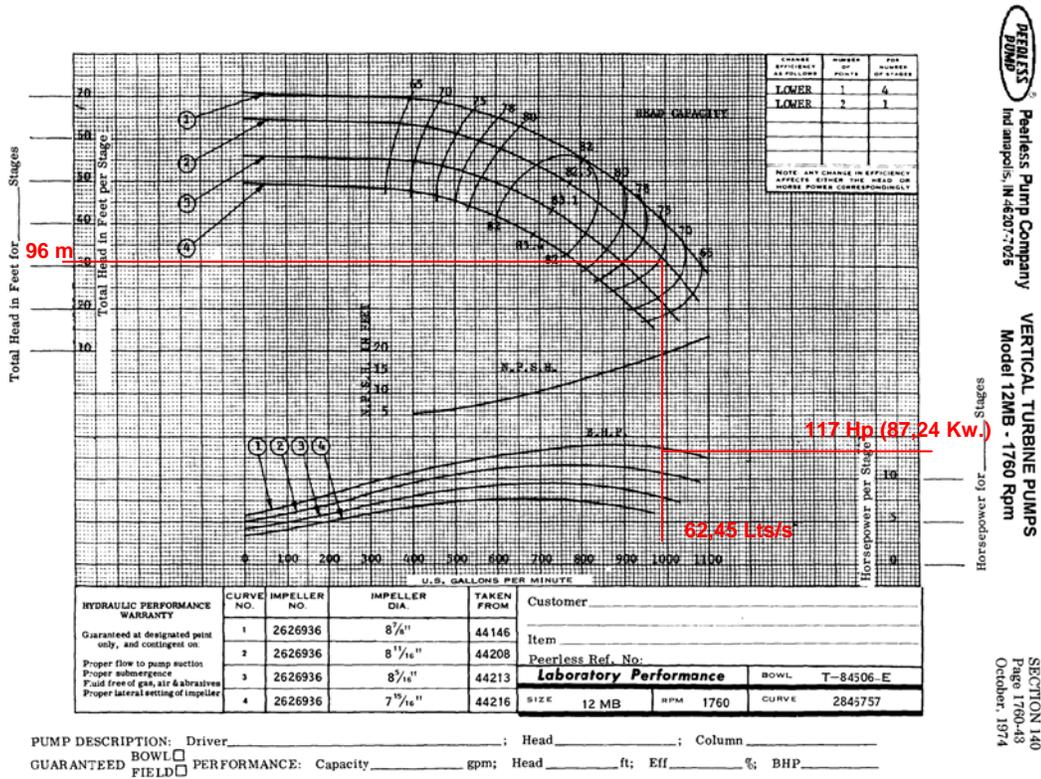


Figura 4.13 Parámetros operacionales requeridos para alcanzar Guaremal

El cual es insuficiente para el abastecimiento del sistema bajo condición de 250%Qm.

Caso3 (122%Qm)

Para esta condición el sistema opera con características similares a las del caso 2 (250%Qm), la diferencia esta que se cubren mas sectores pero menor a los sectores cubiertos por el caso 1 (40%Qm).

Diagnostico: como se puede apreciar el resultado de la evaluación hecha anteriormente es motivo suficiente para considerar una ampliación en la capacidad de bombeo del Grupo 1, ya que la demanda requerida esta por encima de la capacidad de operación del Grupo. Para una ampliación del Grupo 1 habría que considerar la disponibilidad de la alimentación de la estación, esto es, si es posible manejar mayor caudal o los caudales requeridos para la ampliación, la ampliación puede ejecutarse, de lo contrario habría que tomar otras medidas para poder abastecer a los sectores. Esta otra medida a considerar para la optimización del sistema de abastecimiento sería la de programar nuevas maniobras para abastecer a los sectores bajo condiciones optimas.

CAPITULO V

CONSIDERACIONES PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DEL SECTOR GUAREMAL

5.1 Zona de Abastecimiento

La zona de abastecimiento actual del Grupo 1 comprende los sectores del Bosque, Platilujo, Av. Bertorrelli, Las Bambalinas, Las Tiunas, El Encanto I, II y III, Los Lagos, Camatagua, Los Alpes, Doña Mamá, Barrio Miranda, Los Barriales, Guaremal y Los Amarillos-El Trabuco. La siguiente figura muestra de forma general como es la distribución de los sectores que dependen del Grupo 1 de la E/B La Matica (Figura 4.2)

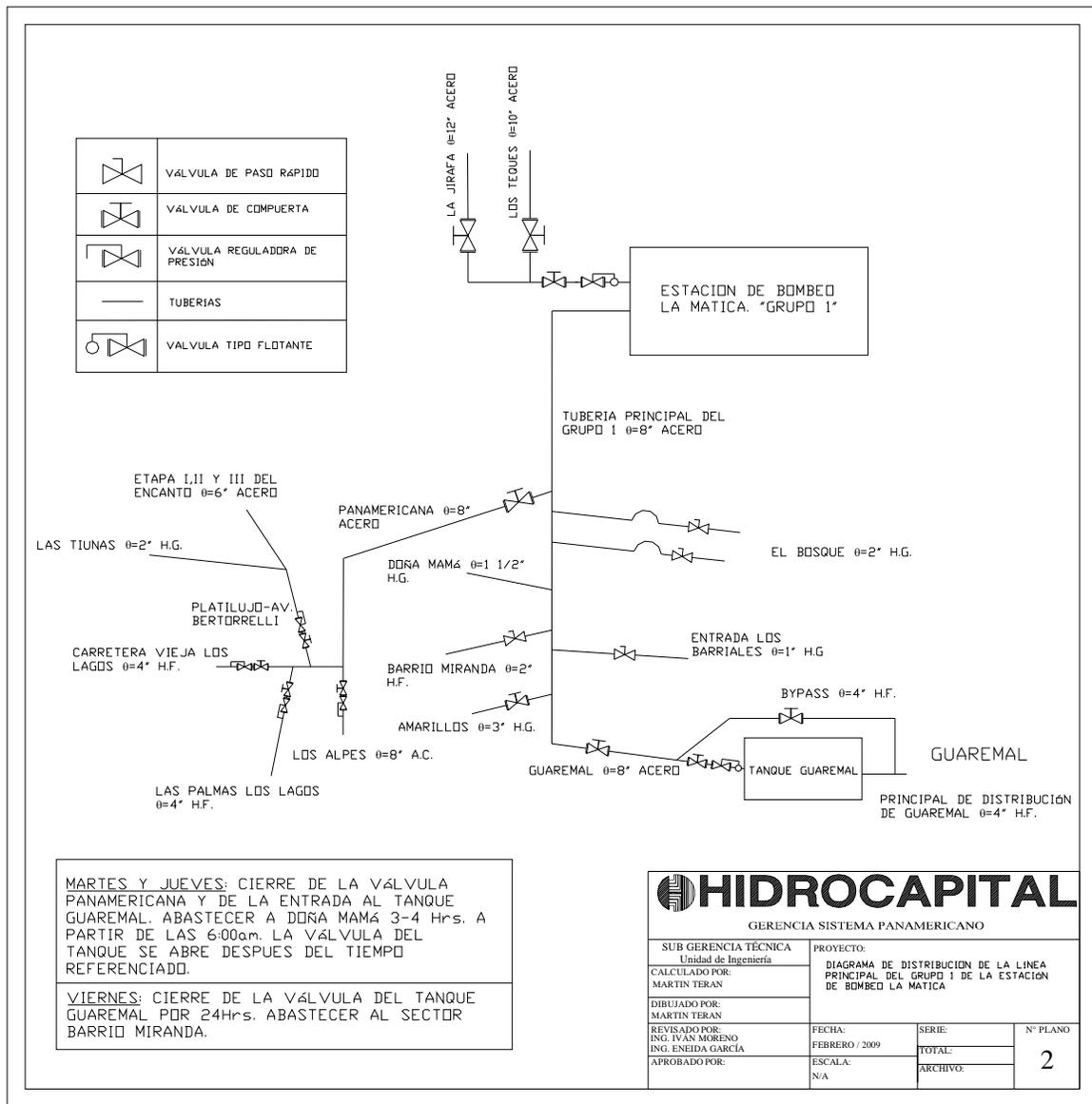


Figura 4.2 Diagrama de distribución del Grupo 1

Para el desarrollo de la propuesta para la optimización del sistema de abastecimiento se considerará solo el sector Guaremal y sus subsectores de influencia tal como se muestra en la figura 4.3.

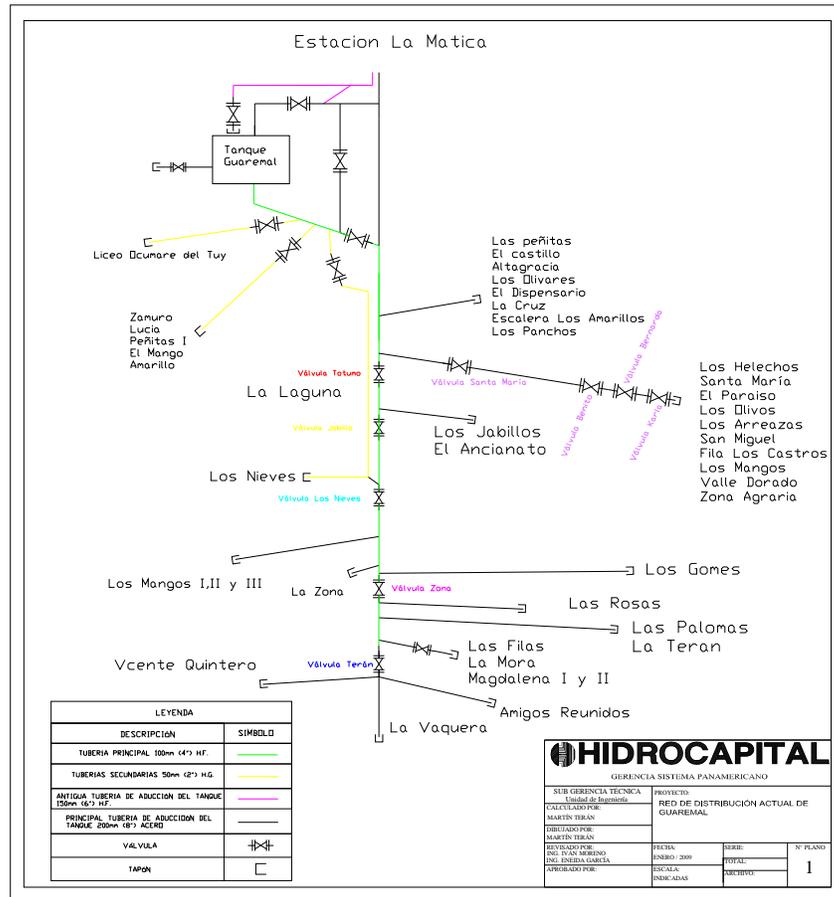


Figura 4.3 Diagrama del sistema de distribución del sector Guaremal

5.2 Población a ser Abastecida por el Nuevo Diseño

La población a ser abastecida varía de acuerdo a los resultados de la proyección poblacional establecida para el proyecto, los resultados del método seleccionado (método Parabólico) se muestran a continuación:

AÑO	POBLACIÓN (Habitantes)
2009	11398
2010	11441
2011	11485
2012	11529
2013	11573
2014	11617
2015	11662

2016	11706
2017	11751
2018	11796
2019	11841
2020	11887
2021	11933
2022	11979
2023	12025
2024	12071
2025	12118
2026	12164
2027	12211
2028	12258
2029	12360
2030	12353

Tabla 5.1 Población a ser abastecida por el sistema de abastecimiento de Guaremal

De estos resultados, se considera la proyección del año 2030 ya que, es el año para el cual se ha establecido la optimización.

5.3 Determinación del Caudal Medio

El caudal medio se basa en lo recomendado por las normas INOS, que establece lo siguiente: *“Cuando sea necesario proyectar un sistema de abastecimiento de agua para una determinada ciudad y no se tenga datos confiables sobre el consumo, se sugiere como consumos mínimos permisibles para objeto del diseño, los indicados en la siguiente tabla:”*

Población	Servicios con medidores	Servicios sin medidores
Hasta 20.000	200 Lts/Pers*Día	400 Lts/Pers*Día
20.000 a 50.000	250 Lts/Pers*Día	500 Lts/Pers*Día
Mayor de 50.00	300 Lts/Pers*Día	600 Lts/Pers*Día

Tabla 5.2 Consumos mínimos recomendados por las normas INOS

Considerando que el proyecto tiene como objetivo formalizar el acueducto del sector, implica la colocación de medidores. Así mismo, como la población del sector es menor a los 20.000 habitantes implica que el consumo o dotación empleada sea la

de 200 *Lts/Pers* Día* .Para la determinación del caudal medio, se emplea la siguiente ecuación:

$$Q_m = Población * Dotación , \text{ donde } Q_m : \text{ es el caudal medio.}$$

De esta manera se obtienen los siguientes resultados de caudal medio:

AÑO	POBLACIÓN (Habitantes)	DOTACIÓN (Lts/Pers*Día)	CAUDAL MEDIO	
			(Lts/s)	(m ³ /h)
2009	11398	200	26,38	94,98
2010	11441	200	26,48	95,34
2011	11485	200	26,59	95,71
2012	11529	200	26,69	96,08
2013	11573	200	26,79	96,44
2014	11617	200	26,89	96,81
2015	11662	200	27,00	97,18
2016	11706	200	27,10	97,55
2017	11751	200	27,20	97,93
2018	11796	200	27,31	98,30
2019	11841	200	27,41	98,68
2020	11887	200	27,52	99,06
2021	11933	200	27,62	99,44
2022	11979	200	27,73	99,83
2023	12025	200	27,84	100,21
2024	12071	200	27,94	100,59
2025	12118	200	28,05	100,98
2026	12164	200	28,16	101,37
2027	12211	200	28,27	101,76
2028	12258	200	28,38	102,15
2029	12360	200	28,61	103,00
2030	12353	200	28,59	102,94

Tabla 5.3 Caudal medio durante el periodo de diseño

Por lo tanto, el caudal medio empleado para la optimización del acueducto es el de año 2030 con valor de 28,59 *Lts/s* ó 102,94 *m³/h* .

5.4 Periodo del diseño

El sistema de bombeo de agua se proyectará de modo de atender las necesidades de la comunidad, durante un período de 20 años, tiempo durante el cual,

el sistema será altamente eficiente por la capacidad en la conducción de la demanda manejada.

Para cada uno de los componentes del sistema de abastecimiento de agua se indica el período de diseño aconsejable de acuerdo a lo establecido por las normas INOS:

- Estación de Bombeo: se entiende por estación de bombeo a los edificios, equipos, bombas, motores, accesorios, etc.
 - *Bombas y Motores*: con la durabilidad relativamente corta y cuya vida se acorta en muchos casos por razones de un mantenimiento deficiente, conviene asignarles períodos de diseño entre 10 y 15 años.
 - *Instalaciones y Edificios*: serán diseñados tomando en cuenta las posibilidades de ampliaciones futuras y con un período de diseño de 20 a 25 años.
- Líneas de aducción: en general, un período de diseño aconsejable está entre 20 y 30 años, para tuberías de acero.
- Redes de distribución: las redes de distribución deben diseñarse para el completo desarrollo del área que sirven. Generalmente se estiman períodos de diseño de 20 a 25 años.
- Estanques de almacenamiento:
 - *De Concreto*: de 30 a 40 años.
 - *Metálicos*: de 20 a 30 años.

Los estanques de concreto permiten también su construcción por etapas, por lo cual los proyectos deben contemplar la posibilidad de desarrollo parcial.

- Obras y demás equipos y accesorios que conformen el sistema: se les asignará períodos de diseño de acuerdo a su función y ubicación respecto a los componentes del sistema que los contiene.

5.5 Ubicación del Nuevo Sistema de Bombeo

La ubicación del nuevo sistema de bombeo será en la actual estación La Matica, ya que, el espacio físico de esta cumple con los criterios básicos para permitir la instalación aumento de capacidad de la misma. Los criterios considerados para seleccionar esta ubicación son:

- Fácil acceso en las etapas de construcción, operación y mantenimiento.
- Protección de la calidad del agua de fuentes contaminantes.
- Protección contra inundaciones, deslizamientos y crecidas de ríos.
- Eficiencia hidráulica del sistema de impulsión o distribución.
- Disponibilidad de energía eléctrica,
- Capacidad física para ampliación del sistema.

5.6 Rango de Velocidades de Transito

Las velocidades establecidas para el diseño se basan en tres tipos de escenarios que se describen a continuación:

- Escenario 1 (*Succión del Sistema de Bombeo*): aquí se establece un rango para prevenir la cavitación en los equipos, es por ello que las velocidades deben ser bajas. El rango establecido es de 0,5 a 1 m/s .
- Escenario 2 (*Descarga del Sistema de Bombeo*): en este caso las velocidades de descarga de los equipos de bombeo se recomiendan mayores a las de la succión. Así mismo, hidráulicamente se recomienda que el diámetro a la descarga de los equipos de bombeo sea menor que el de la succión, por ende, los valores de la velocidad resultan mayores. El rango de velocidad establecido para la descarga es de 0,75 a 1,6 m/s .
- Escenario 3 (*Sistema de Distribución*): para este caso, los rangos de velocidades tienen como fin prevenir la deposición de partículas debido a bajas velocidades y prevenir, la erosividad y altos gradientes de pérdidas de presión debido a las altas velocidades. En base a lo anterior las velocidades establecidas para el diseño son de 0,5 a 1,6 m/s

Adicionalmente se presenta una tabla de velocidades y diámetros económicos recomendada por las normas INOS.

DIÁMETRO		$V_{m\acute{a}x}$ (m/s)	$Q_{m\acute{a}z}$ (Lts/s)
mm	Pulg.		
75	3"	0,70	3,05
100	4"	0,75	5,89
150	6"	0,80	14,14
200	8"	0,90	28,27
250	10"	1,00	49,09
300	12"	1,10	77,75
350	14"	1,20	114,45
400	16"	1,25	157,10
450	18"	1,30	206,76
500	20"	1,40	274,90
600	24"	1,60	452,39
700	30"	1,60	729,60

Tabla 5.4 Relación diámetros-velocidad económica. INOS

5.7 Presiones de Operación del Sistema de Distribución

Las presiones de servicio se basan en lo recomendado y establecido por las normas INOS, en estas se especifican; *“las presiones mínimas en los sistemas de distribución deben ser de 15 m.c.a y las presiones máximas deben ser de 75 m.c.a”*. Para ello se deben considerar en el sistema válvulas reguladoras de presión, tanquillas rompe cargas, entre otros para mantener las presiones de servicio dentro de los rangos establecidos.

5.8 Determinación de los Caudales Medios para los Subsectores

A partir del levantamiento en campo realizado, en cuanto al censo poblacional de los subsectores de Guaremal se calcula un porcentaje por subsector en base a total de la población, de esta manera, con los resultados de la proyección se estima cual será la población y a su vez la demanda para el periodo de diseño.

Esto permite determinar cuales son los diámetros que en primera instancia requiere cada subsector para su distribución, calor esta, considerando los factores previos ya establecidos. La siguiente tabla muestra la relación porcentual para el censo levantado. Para elaborar esta tabla se considero un total de 7 habitantes por vivienda para determinar el consumo requerido por subsector.

SECTOR	N° DE VIVIENDAS	N° DE PERSONAS	RELACIÓN PORCENTUAL
Los Barriales	76	532	4,56
Altagracia	16	112	0,96
El Castillo	62	434	3,72
Dispensario-La Cruz	86	602	5,16
La Cruz	67	469	4,02
El Oso-Totumos	56	392	3,36
La Laguna	158	1106	9,48
El Ancianato		30	0,26
Los Jabillos	105	735	6,30
Los Nieves	20	140	1,20
Los Mangos (1,2 y 3)	31	217	1,86
La Zona	20	140	1,20
Los Gómez	35	245	2,10
Las Rosas	52	364	3,12
Las Palomas	133	931	7,98
El Zamuro	134	938	8,04
Santa María	145	1015	8,70
Valle Dorado	93	651	5,58
Fila Los Castros	53	371	3,18
Los Arreazas	28	196	1,68
Los Olivos	5	35	0,30
Los Helechos	28	196	1,68
El Paraíso	21	147	1,26
La Fila	63	441	3,78
La Magdalena I y II	12	84	0,72
Amigos Reunidos	11	77	0,66
Vicente Quintero	15	105	0,90
La Vaquera	11	77	0,66
Clavelito	14	98	0,84
Liceo Ocumare del Tuy		224	1,92
Colegio La Vaquera		114	0,98
Liceo Santa Maria		254	2,18
Liceo La Laguna		110	0,94

Colegio La Zona		86	0,74
TOTAL	1550	11668	100,00

Tabla 5.5 Relación porcentual de los subsectores en base a la población total de Guaremal

Una vez determinada la relación porcentual se procede a determinar las proporciones de la población proyectada para el periodo del diseño. De esta manera se obtiene:

SECTOR	N° DE VIVIENDAS	N° DE PERSONAS	RELACIÓN PORCENTUAL	N° PERSONAS (Año 2030)
Los Barriales	76	532	4,56	563
Altagracia	16	112	0,96	119
El Castillo	62	434	3,72	459
Dispensario-La Cruz	86	602	5,16	637
La Cruz	67	469	4,02	497
El Oso-Totumos	56	392	3,36	415
La Laguna	158	1106	9,48	1171
El Ancianato		30	0,26	32
Los Jabillos	105	735	6,30	778
Los Nieves	20	140	1,20	148
Los Mangos (1,2 y 3)	31	217	1,86	230
La Zona	20	140	1,20	148
Los Gómez	35	245	2,10	259
Las Rosas	52	364	3,12	385
Las Palomas	133	931	7,98	986
El Zamuro	134	938	8,04	993
Santa María	145	1015	8,70	1075
Valle Dorado	93	651	5,58	689
Fila Los Castros	53	371	3,18	393
Los Arreazas	28	196	1,68	208
Los Olivos	5	35	0,30	37
Los Helechos	28	196	1,68	208
El Paraíso	21	147	1,26	156
La Fila	63	441	3,78	467
La Magdalena I y II	12	84	0,72	89
Amigos Reunidos	11	77	0,66	82
Vicente Quintero	15	105	0,90	111
La Vaquera	11	77	0,66	82
Clavelito	14	98	0,84	104

Liceo Ocumare del Tuy		224	1,92	237
Colegio La Vaquera		114	0,98	121
Liceo Santa Maria		254	2,18	269
Liceo La Laguna		110	0,94	116
Colegio La Zona		86	0,74	91
TOTAL	1550	11668	100,00	12353

Tabla 5.6 Proporción de la población total en base a la relación porcentual para el periodo de diseño.

Determinada la proporción de la población permite estimar el consumo medio por subsector mediante la siguiente ecuación:

$Q_m = Población * Dotación$, donde la *dotación* es de 200 *Lts/Pers* Día* y la *Población* es el resultado de la relación porcentual y la proyección obtenida. La siguiente tabla muestra los resultados de este procedimiento.

SECTOR	N° PERSONAS (Año 2030)	CAUDAL MEDIO	
		(Lts/s)	(m ³ /h)
Los Barriales	563	1,30	4,69
Altagracia	119	0,28	0,99
El Castillo	459	1,06	3,83
Dispensario-La Cruz	637	1,47	5,31
La Cruz	497	1,15	4,14
El Oso-Totumos	415	0,96	3,46
La Laguna	1171	2,71	9,76
El Ancianato	32	0,07	0,27
Los Jabillos	778	1,80	6,48
Los Nieves	148	0,34	1,23
Los Mangos (1,2 y 3)	230	0,53	1,92
La Zona	148	0,34	1,23
Los Gómez	259	0,60	2,16
Las Rosas	385	0,89	3,21
Las Palomas	986	2,28	8,22
El Zamuro	993	2,30	8,28
Santa María	1075	2,49	8,96
Valle Dorado	689	1,59	5,74
Fila Los Castros	393	0,91	3,28
Los Arreazas	208	0,48	1,73

Los Olivos	37	0,09	0,31
Los Helechos	208	0,48	1,73
El Paraíso	156	0,36	1,30
La Fila	467	1,08	3,89
La Magdalena I y II	89	0,21	0,74
Amigos Reunidos	82	0,19	0,68
Vicente Quintero	111	0,26	0,93
La Vaquera	82	0,19	0,68
Clavelito	104	0,24	0,87
Liceo Ocumare del Tuy	237	0,55	1,98
Colegio La Vaquera	121	0,28	1,01
Liceo Santa Maria	269	0,62	2,24
Liceo La Laguna	116	0,27	0,97
Colegio La Zona	91	0,21	0,76
TOTAL	12355	28,60	102,96

Tabla 5.7 Estimación del caudal medio para el periodo de diseño en base a la relación porcentual y dotación mínima establecida

CAPITULO VI

OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

6.1 Objetivo General

El principal objetivo es garantizar un servicio eficiente y apto para la comunidad del sector Guaremal, para ello se consideran las normativas y parámetros que rigen los diseños, mantenimientos o mejoras de un sistema de abastecimiento de agua potable. De esta manera mediante cálculos detallados y especificaciones técnicas se determinaran cuales son los componentes y cambios que debe tener el sistema para que este sea óptimo durante el periodo de tiempo establecido.

6.2 Determinación del Caudal de Diseño

El caudal de diseño es prioritario para determinar y seleccionar los componentes requeridos por el sistema, por lo tanto, la base para la determinación del caudal de diseño será el caudal medio (Q_m), el cual resulto ser de 28,59 Lts/s ($104,94 m^3/h$). El nuevo sistema de bombeo será directo al estanque principal del sector Guaremal y con la disponibilidad de trabajar directo a la red mediante el diseño de un Bypass al estanque principal.

6.2.1 Consumo Máximo Diario

Para la determinación del consumo máximo diario, se parte de la ecuación (3.61) donde el valor de $K_1 = 1,2$, de esta forma obtenemos el valor del consumo máximo diario.

$$Q_{m\acute{a}x_horario} = K_1 * Q_m$$

$$Q_{m\acute{a}x_diario} = 1,2 * 28,59 Lts / s$$

$$Q_{m\acute{a}x_diario} = 34,31 Lts / s = 123,51 m^3 / h$$

6.2.2 Consumo Máximo Horario

Con respecto al consumo máximo horario, el valor de K_2 se obtiene de la ecuación (3.63), por tratarse de un grupo poblacional entre 1.000 y 100.000

habitantes, como lo especifican las normas del INOS (ver aparte 3.3.3.2). Este valor se calcula como sigue a continuación:

$$Q_{m\acute{a}x_horario} = K_2 * Q_m$$

$$Q_{m\acute{a}x_horario} = \left[\frac{275 - (0,75 * X)}{100} \right] * Q_m$$

$$Q_{m\acute{a}x_horario} = \left[\frac{275 - (0,75 * 12,353)}{100} \right]$$

$$Q_{m\acute{a}x_horario} = 2,65 * 28,59 Lts / s$$

$$Q_{m\acute{a}x_horario} = 75,76 Lts / s = 272,74 m^3 / h$$

6.2.3 Consumo en Caso de Incendio

Adicionalmente, se considera el cálculo para el caso de ocurrencia de incendio, determinándose un valor $K_3 = 180\%$ del caudal medio más el gasto requerido para el incendio, de acuerdo a la norma INOS (aparte 3.3.3.3). Por tratarse de una zona residencial y comercial, el caudal para el incendio es de 16 Lts / s . Por lo tanto, el caudal referido a esta condición es:

$$Q_I = K_3 * Q_m + 16 Lts / s$$

$$Q_I = 1,8 * 28,59 Lts / s + 16 Lts / s$$

$$Q_I = 67,46 Lts / s = 242,86 m^3 / h$$

6.2.4 Caudal de Diseño

El caudal de diseño seleccionado es el obtenido para el máximo consumo diario (34,31 Lts / s), el motivo por el cual se selecciono este caudal es porque para el caso de incendio y máximo consumo horario, son escenarios que ocurren con menor frecuencia y duración de tiempo en contraste con el consumo máximo diario que es un valor promedio al cual se someterá el sistema la mayor parte del tiempo. Es por ello que se “descarta” para el diseño el caudal de incendio y máximo horario, pero no por esto dejan de ser considerados ya que son caudales que deberá manejar el sistema cuando lo requiera o tener un desempeño adecuado para solventar la demanda requerida según sea el caso.

6.3 Determinación del Numero de Equipos de Bombeo y del Numero de Etapas

6.3.1 Numero de Unidades

Uno de los criterios mas prácticos en la hidráulica para la selección del numero de unidades es la utilización del numero adimensional; numero de vueltas o velocidad especifica, este numero permite mediante sus rango de valores establecer el tipo de bomba de acuerdo a las exigencias del sistema.

Antes de establecer el número de equipos del nuevo sistema de bombeo se debe considerar los siguientes parámetros previos establecidos por el diseñador:

- Se establece una velocidad de rotación de 1800 *rpm*, esto, con motivo de reducir la exposición de las partes de rotatorias de los equipos al desgaste. Adicionalmente con ello se prevé menos probabilidades de ocurrir la cavitación.
- El caudal medio (Q_m) será de 34,31 *Lts/s*.
- El sistema deberá ser capaz de manejar en buena medida el escenario de ocurrencia de incendio (Q_i) eso es, manejar un caudal de 67,46 *Lts/s*.
- El sistema deberá manejar en buena medida el escenario de consumo máximo horario ($Q_{m\acute{a}x_horario}$), el cual resultado ser de 75,76 *Lts/s*.
- El nuevo sistema deberá, de acuerdo a las normas INOS, poseer un equipo de reserva capaz de manejar el caudal de diseño (Q_d).
- La eficiencia mínima del equipo debe ser de 75%, garantizando así un alto aprovechamiento hidráulico.
- El caudal de bombeo será igual a $Q_b = Q_m * \frac{24}{N}$, donde N serán las horas de bombeo establecidas. Por lo regular los tiempos de bombeo se recomiendan entre 8 y 12 horas, para el caso de este proyecto se tomó un valor de 12 horas. De esta manera se genera el siguiente caudal de bombeo:

$$Q_b = 34,31 \text{Lts/s} * \frac{24h}{12h}$$

$$Q_b = 34,31 \text{ Lts/s} * 2$$

$$Q_b = 68,62 \text{ Lts/s} = 247,03 \text{ m}^3 / \text{h}$$

- El caudal de diseño (Q_d) será igual al caudal de bombeo (Q_b).

Por lo tanto, el número de unidades establecido para la propuesta es, dos unidades capaces de manejar el caudal demandado (caudal de diseño) por el sistema, cumpliendo con los requisitos energéticos que este demande. De esta manera mantendríamos uno en funcionamiento (principal) y el otro (reserva) disponible por cualquier incidente que presente el principal o por mayores requerimientos de demanda, bien sea para el escenario de incendio o para satisfacer el consumo máximo horario. El sistema tendrá entonces la posibilidad de operar ambos equipos en paralelo.

De esta forma se tendrá la siguiente capacidad instalada:

Capacidad Instalada = 2 Bombas (caudal de diseño)

Capacidad Instalada = 2*100%

***Capacidad Instalada* = 200%**

6.3.2 Determinación del Numero de Etapas

Para este caso se determinan las necesidades específicas del sistema propuesto y en base a estas exigencias y los parámetros de diseño establecidos se proceden a determinar el número de etapas requeridas bajo las especificaciones del número específico de vueltas.

El caudal de diseño es $Q_d = 68,62 \text{ Lts/s} (247,03 \text{ m}^3 / \text{h})$, la velocidad mínima de giro establecida es de 1800 *rpm* y una eficiencia mínima de 75%. Sustituyendo en la ecuación (3.77) tenemos:

Para una eficiencia de 81%, máxima para un caudal de 68,62 *Lts/s* tenemos un valor de velocidad específica de $N_q = 0,915$ estando en los límites de las características *Radial*, con este valor se procede a determinar la *H* altura manométrica del equipo.

$$N_q = \frac{\omega * \sqrt{Q}}{L^{3/4}}, \text{ donde } L = g * H \text{ y } \omega(\text{rad/s}) = n(\text{rev/min}) * \frac{2\pi(\text{rad})}{60\text{s}}$$

De esta expresión despejamos *H* y resulta:

$$H = \frac{1}{g} * \left(\frac{\omega * \sqrt{Q}}{N_q} \right)^{4/3}$$

$$H = \frac{1}{9,81m/s^2} * \left(\frac{\left(1800 * \frac{2 * \pi}{60} rad/s \right) * \sqrt{68,62 \times 10^{-3} m^3/s}}{0,915} \right)^{4/3}$$

$H = 20,78m$, Rodete Francis.

$$N^{\circ}_{etapas} = \frac{H_{sist}}{H}$$

$$N^{\circ}_{etapas} = \frac{108,99m}{20,78m}$$

$N^{\circ}_{etapas} = 5,24$, redondeando a 6 etapas

Ahora, para determinar el numero de etapas es necesario, como se menciona anteriormente, conocer cuales son los requerimientos energéticos del sistema (H_{sist}) “*Altura manométrica del Sistema*”. Para ello es necesario determinar la curva característica del sistema bajo la condición de diseño donde se determinará cuales son los requerimientos de energía del sistema.

6.3.3 Determinación del Diámetro de la Tubería de Aducción del Sistema de Bombeo

Retomando el análisis previo, tomamos la ecuación de continuidad y de ésta despejamos el diámetro, obteniendo de esta manera la siguiente expresión:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}}, \quad \text{sustituyendo por los valores predeterminados,}$$

$$Q = Q_b = 68,62 \times 10^{-3} m^3/s, \quad V = 1,18m/s \quad (\text{promedio del rango})$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 68,62 \times 10^{-3} m^3/s}{\pi * 1,18m/s}}$$

$D = 0,2721m = 272,1mm$, de diámetro interno.

6.4 Configuración de la Succión y Descarga del Sistema de Bombeo

El tipo de montaje y equipo propuesto es del tipo Bomba-Turbina Vertical, ya que estos modelos requieren de poco espacio físico de manera tal que permitan

una futura ampliación de la estación. La siguiente figura muestra el esquema y configuración del diseño.

Figura 6.1 Configuración general del nuevo sistema de bombeo.

6.4.1 Diámetros de Succión y Descarga de la Estación de Bombeo

Partiendo de la ecuación de continuidad (3.10) y con los valores de velocidad de flujo preestablecido, se obtiene los diámetros internos recomendados para el diseño.

Adicionalmente se compara los resultados obtenidos con la tabla de relación diámetro-velocidad económica recomendada por las normas INOS.

6.4.2 Diámetro de Succión

La succión de cada equipo es individual, adicionalmente, no requiere tubería de succión ya que el equipo estará sumergido en la tanquilla de succión. En la succión de la bomba debe ir instalada una válvula de pie de 10 Pulg., esto para evitar cebar la bomba en cada arranque.

6.4.3 Diámetro de Descarga

La descarga del sistema será individual para cada equipo pero coinciden en un múltiple de descarga de igual diámetro, como el caudal de diseño es de 68,62Lts/s y las velocidades de descarga son de 0,75 a 1,6 m/s, implica el siguiente diámetro de descarga:

$$Q = V * \frac{\pi * D^2}{4} \quad (3.10)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 68,62 \times 10^{-3} m^3 / s}{\pi * 1,18 m / s}}, \text{ se considera una velocidad promedio del rango.}$$

$D = 272,1m = 0,2721mm$, de diámetro interno.

Llevando este resultado a pulgadas, obtenemos lo siguiente:

$$D = \frac{272,1mm}{25,4mm / Pulg.} = 10,71Pulg., \text{ como diámetro interno no es próximo a los}$$

estándares comerciales mas cercanos (10 ó 12 Pulg.) implica su aproximación a uno de ellos. Basados en las recomendaciones de las normas INOS “relación

Diámetro-Velocidades Económicas” se seleccionó el de 10 Pulg., que es el se encuentra mas cercano al caudal que maneja el diseño.

La descarga debe tener una válvula de compuerta de D=10 Pulg., seguidamente debe tener una válvula check de D=10 Pulg. También debe considerarse un manómetro para la lectura de presión de descarga de la bomba, se recomienda colocarla en el múltiple de descarga.

6.5 Característica del Sistema

El sistema se subdivide en dos, el primero va desde la estación de bombeo hasta el estanque principal de Guaremal (*aducción*) y el segundo va desde el estanque principal hacia el sistema interno de distribución de Guaremal (*Distribución*). Adicionalmente esta el sistema desde la estación de bombeo al sistema de distribución interno del sector sin romper carga en el estanque principal (*Bombeo Directo*).

- *aducción*: va desde la estación de bombeo ubicada a 1185 m.s.n.m, a un metro y medio por debajo del nivel del suelo de estación de bombo donde deberá estar el nivel de bombeo del equipo, con una longitud de 3350 m hasta el estanque principal de Guaremal ubicado a 1212 m.s.n.m.
- *Distribución*: va desde el estanque principal a 1212 m.s.n.m hasta cada uno de los puntos que conforman los subsectores de Guaremal, la distribución en este sistema es Por Gravedad.
- *Bombeo Directo*: va desde la E/B ubicada a 1185 m.s.n.m, al nivel de bombeo, hasta el sistema interno de distribución del sector. Su trayecto recorre 3350 m y luego la longitud interna de cada subsector. Se mantiene presurizada la línea de bombeo y sistema de distribución.

Aplicando la ecuación de energía entre la E/B y el estanque principal obtenemos la siguiente curva del sistema:

6.5.1 Curva Característica del Sistema

El sistema se caracteriza por presentar un sifón entre la E/B y el estanque principal, tal como se aprecia en la siguiente figura:

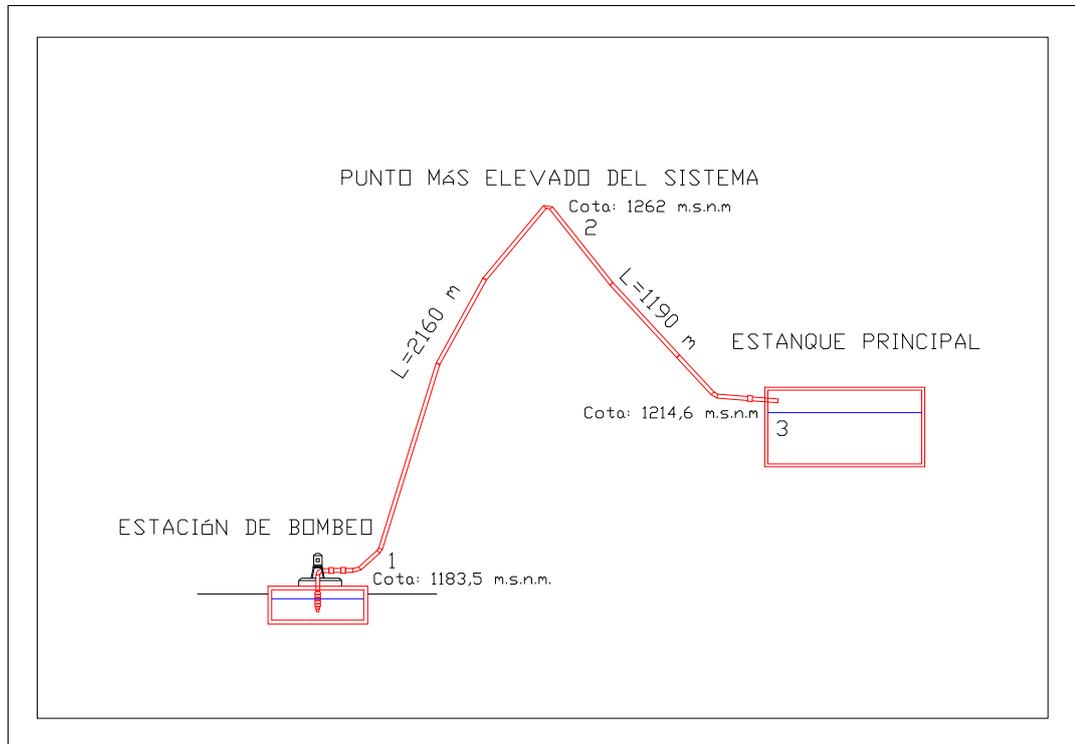


Figura 6.2 Esquema general del sistema de bombeo

Por tal motivo se requiere que la presión en el punto mas elevado sea mayor a la presión de vapor a temperatura de trabajo (20°C), de esta forma se evita el problema de cavitación y se mantiene la hipótesis de incompresibilidad del fluido.

Para este análisis se considera en primera instancia el sistema desde la E/B hasta el punto mas elevado, en el cual la presión se establece con un valor de 5 m.c.a garantizando así un amplio margen de seguridad con respecto a la presión de vapor. Posteriormente se considera el comportamiento desde el punto mas elevado hasta el estanque principal.

Sistema E/B-Punto Elevado

Aplicando la ecuación de Bernoulli entre la estación de Bombeo (1) y El Punto Mas Elevado (2) se tiene:

$$H_{sist1} = z_2 - z_1 + \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 * g} + h_{f1-2}, \text{ donde:}$$

El estado 1 corresponde al nivel de bombeo, en este punto se considera:

$z_1 = 1183,5$ m.s.n.m (nivel de bombeo).

$\frac{p_1}{\gamma} = 0$ (presión manométrica igual a la referencia atmosférica).

$\frac{V_1^2}{2 * g} = 0$ (variación del nivel de bombeo despreciable).

El estado 2 corresponde al punto mas elevado del sistema de bombeo:

$z_2 = 1262$ m.s.n.m (nivel más alto del sistema).

$\frac{p_2}{\gamma} = 5$ m (presión establecida para prevenir problemas de cavitación y mantener

la incompresibilidad del fluido).

$\frac{V_2^2}{2 * g} = \frac{8 * Q^2}{g * \pi^2 * D^4} =$ (Corresponde al caudal de diseño).

$h_{f1-2} = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g}$, ecuación de pérdida por fricción de Darcy-Weisbach (3.17)

$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3,7 * d} + \frac{2,51}{Re * \sqrt{f}} \right)$, ecuación de Colebrook-White (3.19) para el

factor de fricción

Con la ecuación de continuidad (3.10) y la ecuación de Darcy-Weisbach (3.17) obtenemos la ecuación de Darcy-Weisbach en función del caudal.

$Q = V * \pi * \frac{D^2}{4}$, despejando de ésta la velocidad nos queda:

$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$, sustituyendo en la expresión (3.17) tenemos:

$h_f = 8 * f * \frac{L}{g * \pi^2 * D^5} * Q^2$, sustituyendo en la ecuación del sistema nos da:

$H_{sist1} = z_2 - z_1 + \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 * g} + 8 * f * \frac{L}{g * \pi^2 * D^5} * Q^2$

$L = 2160$ m (longitud del tramo en cuestión).

Antes de continuar con el desarrollo de la expresión debemos determinar las especificaciones de la línea de aducción del sistema de bombeo. Teniendo el caudal de bombeo ($Q_b = 68,62 \text{ Lts/s}$) y con el rango de velocidades establecido para la descarga de bombeo, podemos determinar un diámetro inicial para el desarrollo del proyecto.

El material del cual será la aducción de bombeo es de acero, y la temperatura de trabajo es de 20°C . Para el material seleccionado la rugosidad absoluta es $\varepsilon = 0,046 \text{ mm}$ para la condición de nuevo, la evaluación se hará para el periodo de diseño por lo que implica una rugosidad absoluta distinta a la inicial. Conocida las características del agua que maneja el sistema en relación al coeficiente de proporcionalidad del envejecimiento de tuberías $\alpha = 0,055 \text{ mm/año}$ de acuerdo a Levin. Procedemos a determinar la rugosidad absoluta para el periodo de diseño.

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{inicial}} + \alpha * t$$

$$\varepsilon = 0,046 \text{ mm} + 0,055 \text{ mm/año} * 20 \text{ años}$$

$$\varepsilon = 1,146 \text{ mm}$$

Sustituyendo estos valores en la expresión de Colebrook-White (3.19) obtenemos un valor del factor de fricción de $f = 0,029$, este factor y los otros valores de la ecuación del sistema se sustituyen para obtener lo siguiente:

$$H_{\text{sis1}} = (1262 \text{ m.s.n.m} - 1183,5 \text{ m.s.n.m}) + 5 \text{ m} + 15,07 \frac{\text{s}^2}{\text{m}^5} * Q^2 + 3.470,01 \frac{\text{s}^2}{\text{m}^5} * Q^2$$

$$H_{\text{sis1}} = 83,5 \text{ m} + 3.470,01 \frac{\text{s}^2}{\text{m}^5} * Q^2, \text{ con } Q(\text{m}^3 / \text{s}). \text{ Ecuación del sistema}$$

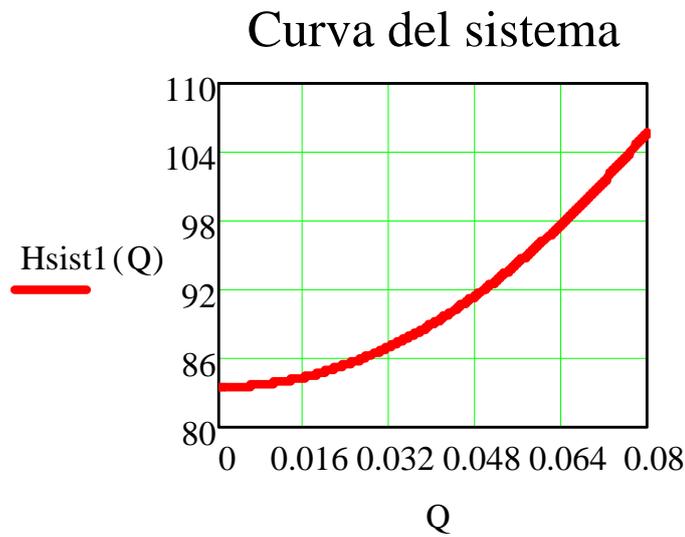


Figura 6.3 Curva característica del sistema E/B-Punto Elevado

Por lo tanto para el caudal de diseño ($68,62 \text{ Lts/s}$ ó $68,62 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$) se determina la *Altura manométrica Requerida* por el sistema de bombeo:

$$H_{sist1} = 83,5m + 3.470,01 \frac{s^2}{m^5} * (68,62 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s})^2$$

$$H_{sist1} = 83,5m + 16,34m$$

$$H_{sist1} = 99,84m .$$

Sistema Punto Elevado-Estanque Principal

Basados en los resultados previos (energía en el punto 2) se procede a determinar la curva del sistema:

Aplicando la ecuación de Bernoulli entre El Punto Mas Elevado (2) y el Estanque Principal (3):

$$H_{sist2} = z_3 - z_2 + \frac{p_3 - p_2}{\gamma} + \frac{V_3^2 - V_2^2}{2 * g} + h_{f2-3}, \text{ donde:}$$

El estado 2 corresponde al punto mas elevado del sistema de bombeo:

$$z_2 = 1262 \text{ m.s.n.m (nivel más alto del sistema).}$$

$$\frac{p_2}{\gamma} = 5 \text{ m (presión establecida para prevenir problemas de cavitación y mantener}$$

la incompresibilidad del fluido).

$$\frac{V_2^2}{2 * g} = \frac{8 * Q^2}{g * \pi^2 * D^4} = \text{(Corresponde al caudal de diseño).}$$

El estado 3 corresponde al Estanque Principal:

$$z_3 = 1214,6 \text{ m.s.n.m. (nivel medio del liquido en el estanque).}$$

$$\frac{p_3}{\gamma} = 0 \text{ (salida a presión atmosférica).}$$

$$\frac{V_3^2}{2 * g} = 0 \text{ (variación del nivel de liquido en el estanque despreciable).}$$

$$L = 1190 \text{ m (longitud del tramo en cuestión).}$$

Considerando el mismo sistema de ecuación empleado para el sistema E/B-Punto Mas Elevado, se obtiene el siguiente resultado:

$$H_{sist2} = z_3 - z_2 + \frac{p_3 - p_2}{\gamma} + \frac{V_3^2 - V_2^2}{2 * g} + 8 * f * \frac{L}{g * \pi^2 * D^5} * Q^2, \quad \text{sustituyendo}$$

valores:

$$H_{sist2} = (1214,6 \text{ m.s.n.m} - 1262 \text{ m.s.n.m}) - 5 \text{ m} - 15,07 \frac{\text{s}^2}{\text{m}^5} * Q^2 + 1.911,72 \frac{\text{s}^2}{\text{m}^5} * Q^2$$

$$H_{sist2} = -52,4 \text{ m} + 1.896,65 \frac{\text{s}^2}{\text{m}^5} * Q^2, \text{ con } Q(\text{m}^3 / \text{s}). \text{ Ecuación del sistema}$$

Curva del Sistema

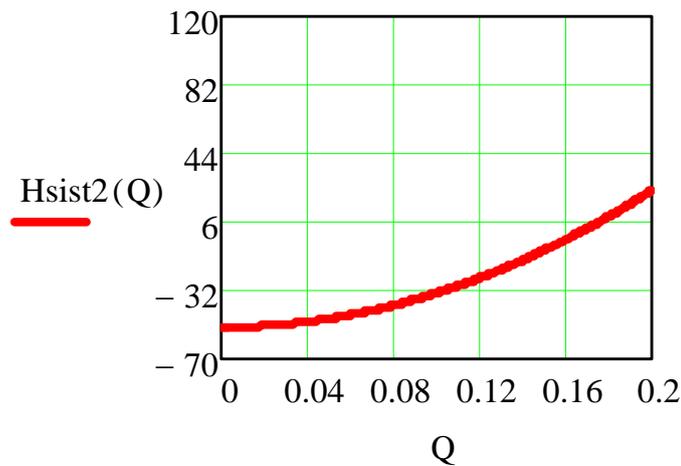


Figura 6.4 Curva del sistema Punto Mas Elevado-Estanque Principal

Como puede apreciarse en la figura superior, este sistema puede manejar un caudal máximo de $0,166 \text{ m}^3/\text{s}$ ($166 \text{ Lts}/\text{s}$) a descarga libre. Considerando que el diseño está basado en un caudal de $68,62 \text{ Lts}/\text{s}$, se requiere controlar el caudal para mantener el sistema a las condiciones de diseño, para ello se debe colocar una *Válvula Controladora de Caudal (VCC)* al final de la tubería que alimenta al estanque principal (aducción).

Como lo que se quiere es controlar el caudal de llegada al Estanque Principal, mantenerlo a $68,62 \text{ Lts}/\text{s}$, la válvula controladora de caudal debe generar una pérdida local que modifique la curva del sistema a este punto requerido. Para ello se procede de la siguiente manera:

Aplicando la ecuación de Bernoulli (3.16) entre el Punto Mas Elevado (2) y el Estanque Principal (3) considerando la incorporación de la válvula controladora de caudal.

$$\frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2 * g} = \frac{p_3}{\gamma} + z_3 + \frac{V_3^2}{2 * g} + h_{f2-3} + h_{VCC}, \text{ donde:}$$

$\frac{p_2}{\gamma} = 5\text{m}$ (valor requerido para evitar la cavitación y mantener la incompresibilidad del fluido).

$z_2 = 1262 \text{ m.s.n.m}$ (cota del Punto Mas Elevado).

$$\frac{V_2^2}{2 * g} = \frac{8 * Q^2}{g * \pi^2 * D^4} \text{ (Depende del caudal de diseño).}$$

$\frac{p_3}{\gamma} = 0$ (descarga a la atmósfera).

$z_3 = 1214,6 \text{ m.s.n.m}$ (cota del nivel medio del agua en el Estanque Principal).

$\frac{V_3^2}{2 * g} = 0$ (variación del nivel del líquido en el estanque despreciable).

$$h_f = 8 * f * \frac{L}{g * \pi^2 * D^5} * Q^2, \text{ (Pérdida por fricción en función del caudal).}$$

$$h_{VCC} = K * \frac{V^2}{2 * g} = K * \left(\frac{8 * Q^2}{g * \pi^2 * D^4} \right), \text{ (Pérdida local generada por la Válvula}$$

Controladora de Caudal, donde K es el coeficiente de la válvula)

El objetivo es hallar el valor de K que determina la selección de la Válvula Controladora de Caudal para un caudal de 68,62 Lts/s.

$$\frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2 * g} = \frac{p_3}{\gamma} + z_3 + \frac{V_3^2}{2 * g} + 8 * f * \frac{L}{g * \pi^2 * D^5} * Q^2 + K * \left(\frac{8 * Q^2}{g * \pi^2 * D^4} \right),$$

sustituyendo valores se tiene:

$$5m + 1262m.s.n.m + 0,07m = 1214,6m.s.n.m + 2,45m + K * (0,07m)$$

$$K = \frac{50,02m}{0,07m}$$

$K = 714,57$. **Coeficiente de la Válvula Controladora de Caudal**

De esta manera la ecuación del sistema Punto Mas Elevado-Estanque Principal queda modificada como sigue:

$$H_{sist2'} = z_3 - z_2 + \frac{p_3 - p_2}{\gamma} + \frac{V_3^2 - V_2^2}{2 * g} + h_{f2-3} + h_{VCC}, \text{ donde:}$$

$$h_{VCC} = K * \frac{V^2}{2 * g} = \frac{8 * K}{g * \pi^2 * D^4} * Q^2$$

$$H_{sist2'} = z_3 - z_2 + \frac{p_3 - p_2}{\gamma} + \frac{V_3^2 - V_2^2}{2 * g} + 8 * f * \frac{L}{g * \pi^2 * D^5} * Q^2 + \frac{8 * K}{g * \pi^2 * D^4} * Q^2$$

, sustituyendo los valores establecidos:

$$H_{sist2'} = (1214,6m.s.n.m - 1262m.s.n.m) - 5m - 15,07 \frac{s^2}{m^5} * Q^2 + 1,911,72 \frac{s^2}{m^5} * Q^2 + 10,770,89 \frac{s^2}{m^5} * Q^2$$

$$H_{sist2'} = -52,4m + 12667,54 \frac{s^2}{m^5} * Q^2, \text{ con } Q(m^3/s). \text{ **Ecuación del Sistema con VCC**}$$

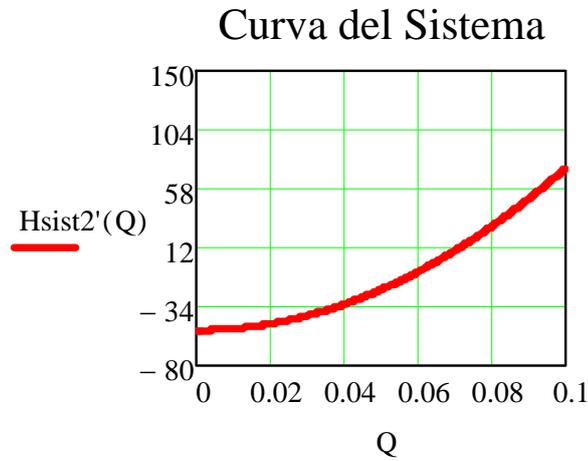


Figura 6.5 Curva del sistema con la Válvula Controladora de Caudal

Para determinar la curva general del sistema se procede a sumar en serie las dos ecuaciones obtenidas, de esta forma resulta:

$$H_{sist'} = H_{sist1} + H_{sist2'}$$

$$H_{sist'} = 83,5m + 3.470,01 \frac{s^2}{m^5} * Q^2 - 52,4m + 12667,54 \frac{s^2}{m^5} * Q^2$$

$$H_{sist'} = 31,1m + 16.137,55 \frac{s^2}{m^5} * Q^2, \text{ con } Q(m^3 / s). \text{ Ecuación General del Sistema}$$

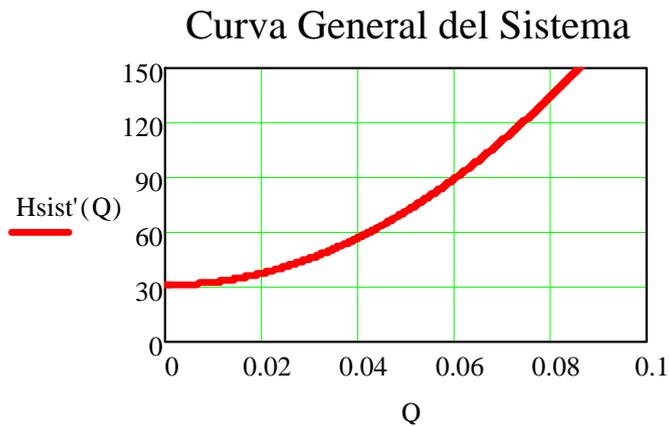


Figura 6.6 Curva General del Sistema (incorporada la VCC)

El requerimiento energético del sistema para el caudal de diseño (68,62 Lts / s) es:

$$H_{sist'} = 31,1m + 16.137,55 \frac{s^2}{m^5} * (68,62 \times 10^{-3} m^3 / s)^2$$

$$H_{sist'} = 31,1m + 75,99m$$

$$H_{sist'} = 107,09m$$

6.5.2 Pérdidas Locales en la Estación de Bombeo

La estación de bombeo debe estar poseer válvulas para mantenimiento, válvulas para evitar el contra flujo y demás accesorios que permitan la lectura de los parámetros de operación de los equipos. De este modo la figura a continuación se especifica la configuración y accesorios que componen el sistema de bombeo.

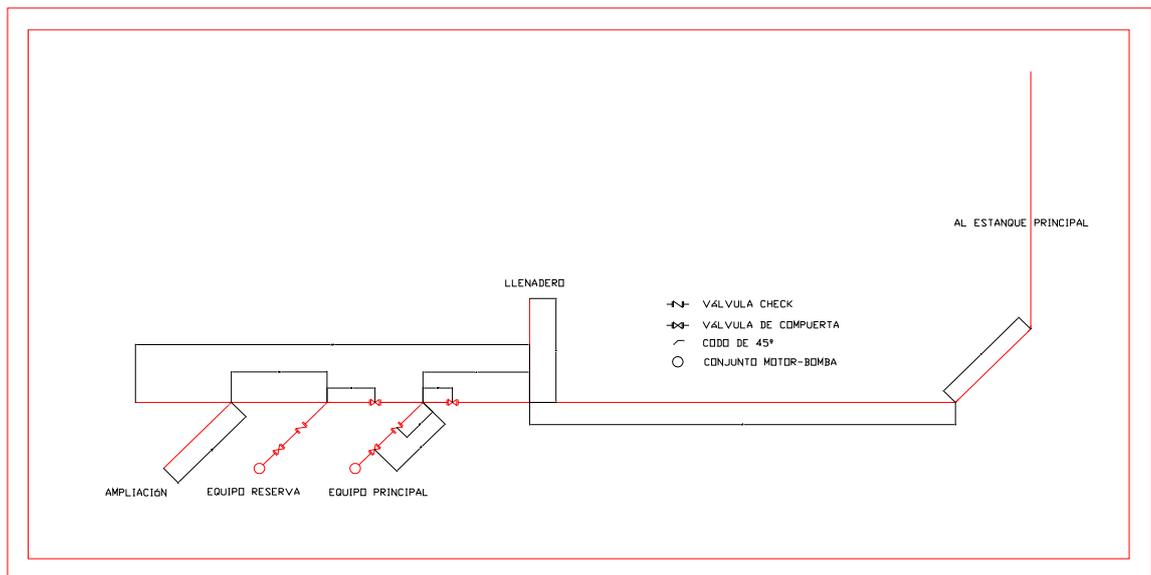


Figura 6.7 Configuración de la descarga del Sistema de Bombeo

Adicionalmente debe tomarse en cuenta los accesorios en la succión de la bomba, a continuación se muestra el esquema representativo del tipo de succión del equipo propuesto:

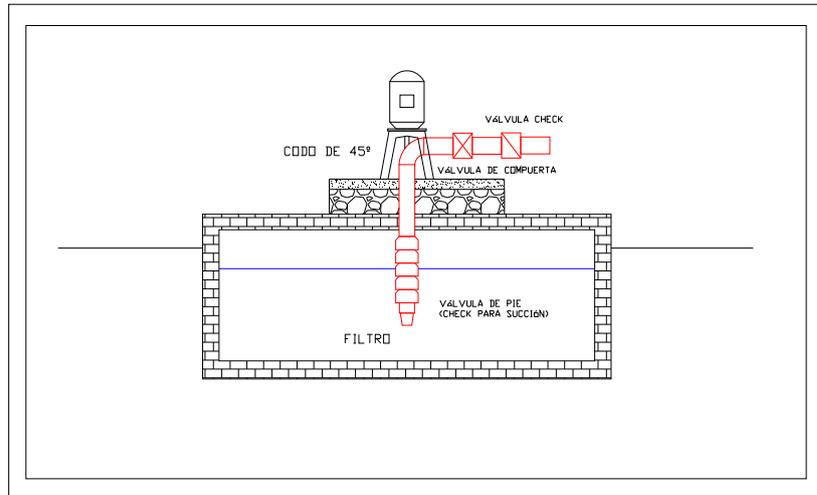


Figura 6.8 Configuración de la succión del Sistema de Bombeo

A continuación se presenta el listado de accesorios que conforman el sistema de bombeo (estación) y su respectivo valor de coeficiente de pérdida local.

Para ello se considera la ecuación (3.21) modificada:

$$h_m = \sum K * \frac{V^2}{2 * g}$$
, donde $\sum K$ representa la sumatoria de cada uno de los coeficientes de pérdidas locales existentes en el sistema de bombeo. En función del caudal tenemos:

$$h_m = \sum K * \frac{V^2}{2 * g} = \frac{8 * \sum K}{g * \pi^2 * D^4} * Q^2$$

La determinación de este coeficiente depende de un factor de fricción f_t y este a su vez del diámetro en cuestión y del tipo de flujo (turbulento). De esta manera a partir de la siguiente tabla, se determina f_t para así obtener el valor de K del accesorio, que es la metodología aplicada a cada uno de los accesorios del sistema.

Diámetro Nominal	mm	15	20	25	32	40	50	65, 80	100	125	150	200,250	300400	450-600
	pulg	½	¾	1	1¼	1½	2	2½, 3	4	5	6	8: 10	12-16	18-24
Factor de fricción (f_t)		.027	.025	.023	.022	.021	.019	.018	.017	.016	.015	.014	.013	.012

Tabla 6.1 relación del factor de fricción con respecto al diámetro. *Extraído de Crane*

McGraw Hill

Entrada (succión)

El valor del coeficiente de pérdida para este accesorio es:

$$K = 0,5 \text{ (Crane McGraw Hill)}$$

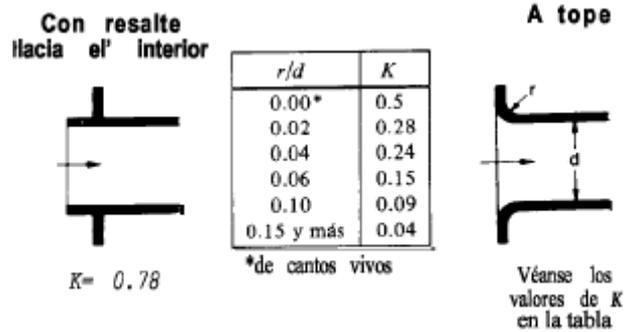


Figura 6.9 Entrada para succión. *Extraído de Crane McGraw Hill*

Válvula de pie con alcachofa (filtro)

El valor del coeficiente de pérdida para este accesorio es:

$$K = 420 * f_t, \text{ para un } D = 10Pu \text{ lg. implica un } f_t = 0,14 \text{ por lo que resulta:}$$

$$K = 420 * 0,14$$

$$K = 5,88$$

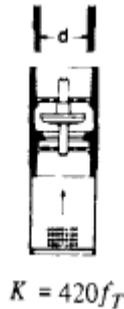


Figura 6.10 Esquema válvula de pie-filtro. *Extraído de Crane McGraw Hill*

Codo de 90° (cabezal de descarga)

El valor del coeficiente de pérdida para este accesorio es:

$$K = 30 * f_t, \text{ para un } D = 10Pu \text{ lg. implica un } f_t = 0,14 \text{ por lo que resulta:}$$

$$K = 30 * 0,14$$

$$K = 4,2$$

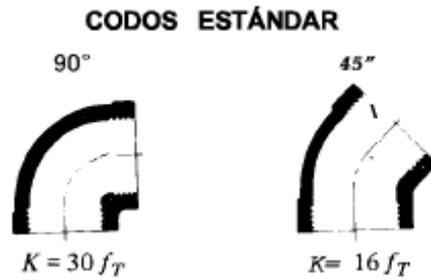


Figura 6.11 Esquema de codos estándar. *Extraído de Crane McGraw Hill*

Válvula de compuerta (descarga)

El valor del coeficiente de pérdida para este accesorio es:

$K = 8 * f_t$, para un $D = 10Pu$ lg. implica un $f_t = 0,14$ por lo que resulta:

$$K = 8 * 0,14$$

$$K = 1,12$$

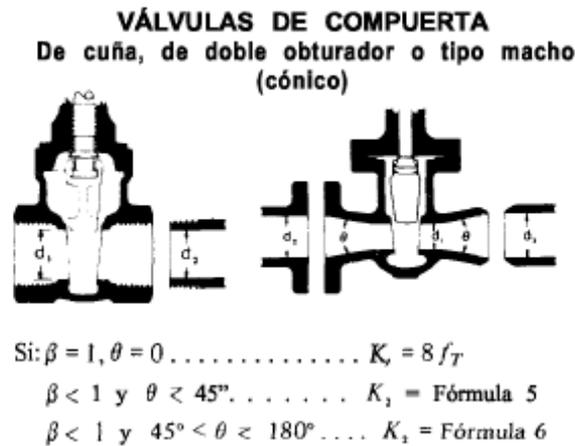


Figura 6.12 Esquema de válvula de compuerta. *Extraído de Crane McGraw Hill*

Válvula de retención (check de descarga)

El valor del coeficiente de pérdida para este accesorio es:

$K = 50 * f_t$, para un $D = 10Pu$ lg. implica un $f_t = 0,14$ por lo que resulta:

$$K = 50 * 0,14$$

$$K = 7$$

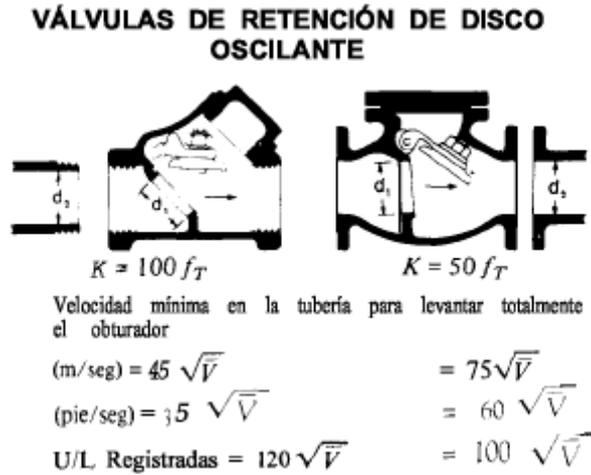


Figura 6.13 Esquema de válvula de retención (check). *Extraído de Crane McGraw Hill*

Te de descarga

El valor del coeficiente de pérdida para este accesorio es:

$K = 0,5$

TABLA 11-3
OTRAS FORMAS DE TES Y COEFICIENTES ζ PARA CADA FORMA

Figura					
ζ	0.5	1.0	1.5	3.0	0.05
Figura					
ζ	0.1	0.15	2.0	3.0	

Figura 6.14 Esquema de Tes. *Extraído de Claudio Mataix. Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas*

Una vez determina los valores individuales de los coeficientes de pérdidas, procedemos a calcular la sumatoria de estos y en consecuencia determinamos la ecuación de pérdidas en función del caudal:

$$\sum K = 0,5 + 5,88 + 4,2 + 1,12 + 7 + 0,5$$

$$\sum K = 19,2$$

$$h_m = \frac{8 * \sum K}{g * \pi^2 * D^4} * Q^2, \text{ sustituyendo valores resulta:}$$

$$h_m = \frac{8 * 19,2}{9,81 m/s^2 * \pi^2 * (0,25m)^4} * Q^2$$

$$h_m = 406,12 \frac{s^2}{m^5} * Q^2 . \underline{\text{Ecuación de Pérdidas Menores}}$$

Las pérdidas generadas por el caudal de diseño son:

$$h_m = 406,12 \frac{s^2}{m^5} * (68,62 \times 10^{-3} m^3 / s)^2$$

$$h_m = 1,91m$$

Sumando la Ecuación del Sistema y la Ecuación de Pérdidas Menores obtenemos la ecuación general del sistema de bombeo:

$$H_{sist} = 31,1m + 16.137,55 \frac{s^2}{m^5} * Q^2 + 406,12 \frac{s^2}{m^5} * Q^2$$

$$H_{sist} = 31,1m + 16.543,67 \frac{s^2}{m^5} * Q^2 . \underline{\text{Ecuación General del Sistema de Bombeo}}$$

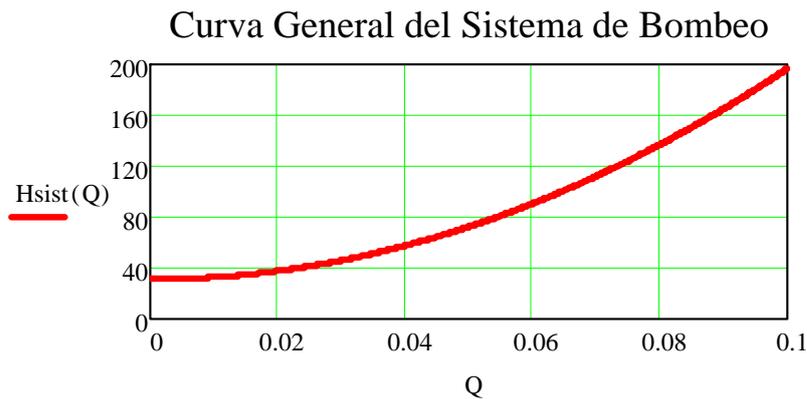


Figura 6.15 Curva general del sistema de bombeo

La cantidad de energía requerida para el caudal de diseño es:

$$H_{sist} = 31,1m + 16.543,67 \frac{s^2}{m^5} * (68,62 \times 10^{-3} m^3 / s)^2$$

$$H_{sist} = 31,1m + 77,89m$$

$$H_{sist} = 108,99m$$

6.5.3 Determinación de los Equipos de Bombeo

Para la determinación del equipo adecuado del sistema, se parte de la ecuación general del sistema de bombeo junto con el caudal de diseño. Adicionalmente se consideran los parámetros previamente establecidos para las características de los equipos.

Una vez definidos estos puntos se procede a determinar el equipo que mejor se adapte a los requerimientos del sistema.

La selección de los equipos dependerá exclusivamente de los proveedores de Hidrocapital, en base a los catálogos de los fabricantes, es que se determinara cual es el equipo apto para el sistema.

De acuerdo a la curva general del sistema de bombeo, se tiene que para el caudal de diseño, se requiere una energía de:

$$H_{sist} = 31,1m + 16.543,67 \frac{s^2}{m^5} * Q^2 . \text{ Ecuación General del Sistema de Bombeo}$$

$$Q_d = 68,62Lts / s = 68,62 \times 10^{-3} m^3 / s = 247,03m^3 / h$$

$$H_{sist} = 108,99m$$

A esto, vinculamos los parámetros de diseño:

- $n = 1800rpm$
- $\eta \geq 75\%$
- $N_q = 0,915$
- *Bomba centrífuga tipo vertical*

En base a estos parámetros, el equipo que mejor se adapta a los requerimientos del diseño es:

Bomba Vertical-Tipo Turbina

Marca: KSB

Modelo: B

Diámetro de Carcasa: 12

Tipo de Rotor: B

Número de Etapas: 6

Velocidad de rotación: 1740 rpm

Eficiencia: 77%

Diámetro del rotor: $\phi = 236 / 226mm$

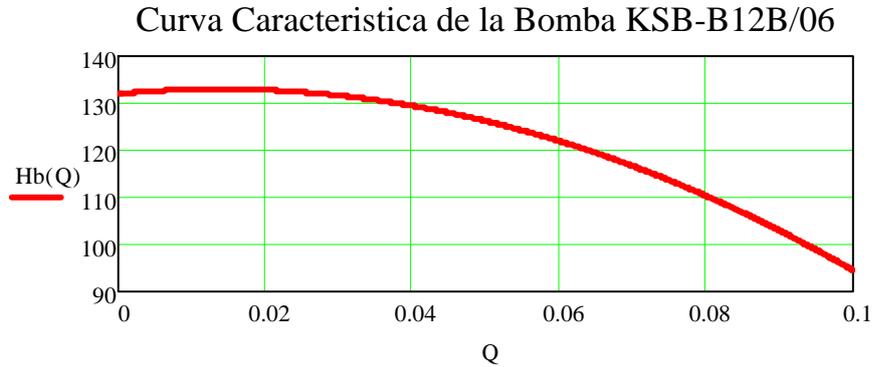


Figura 6.16 Curva característica del equipo

En la siguiente figura se muestra el punto de operación del equipo seleccionado:

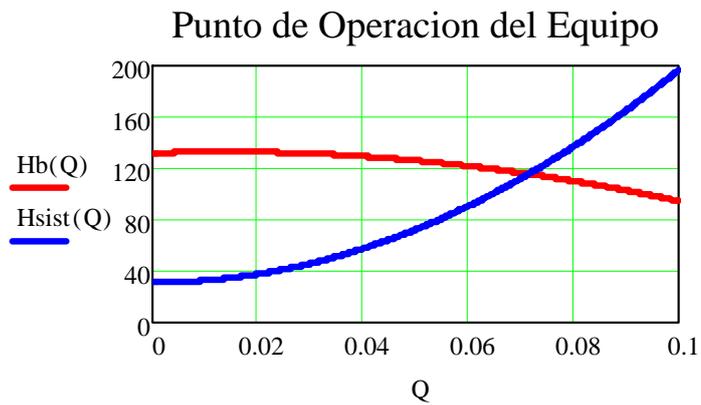


Figura 6.17 Punto de operación del equipo

El punto de operación resulta a $Q = 71,53 \text{ Lts/s}$ y un $H = 115,75 \text{ m}$. A pesar que el caudal de operación del equipo resulto ser un poco mayor que el del diseño, éste se puede controlar por medio de la válvula reguladora de caudal que estará colocada a la alimentación del estanque principal.

6.5.3.1 Potencia requerida por el equipo

La potencia requerida en el eje de la bomba se determina a partir de la ecuación (3.67) y posteriormente se determina la potencia eléctrica del motor requerido, por medio, de la ecuación (3.79). Por lo tanto, la potencia de la bomba es de:

$$P_b = \frac{\gamma * Q * H}{\eta}, \text{ ecuación (3.67), sustituyendo valores para } \gamma = 9780 \frac{Kg}{(m * s)^2},$$

$$Q = 68,62 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}, \quad H = 108,99m \text{ y } \eta = 77\% \text{ tenemos:}$$

$$P_b = \frac{9780 \frac{Kg}{(m * s)^2} * 68,62 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s} * 108,99m}{0,77}$$

$$P_b = 94,99KW = 127,38hp$$

La potencia del motor se determina bajo una eficiencia mecánica de 85%, de esta manera obtenemos una potencia eléctrica de:

$$P_o = \frac{P_b}{\eta_{mec}}, \text{ ecuación (3,79), sustituyendo valores tenemos:}$$

$$P_o = \frac{94,99KW}{0,85}$$

$$P_o = 111,75KW = 149,86hp$$

6.5.3.2 Cálculo para prevenir la cavitación en el equipo

Para prevenir la cavitación en los equipos de bombeo, el sistema debe cumplir con la siguiente desigualdad:

$$NPSH_d > NPSH_r \quad (3.72)$$

Por medio de esta desigualdad garantizamos que el sistema no sufra cavitación. En tiempo de diseño prevenir este fenómeno implica resolver un problema de altura de colocación del equipo, ya que, la presión de vapor p_v es constante para la temperatura de 20°C y altitud de trabajo de (1185 m.s.n.m) al igual que la presión atmosférica p_a que también es otra constante del sistema. El otro factor que queda pendiente es la pérdida por fricción a la succión del sistema, la cual se determina bajo las condiciones de operación de diseño.

Adicionalmente a los puntos anteriores se establece la siguiente igual de manera de tener un factor de seguridad al momento de determinar la altura de colocación:

$$NPSH_d = 1,10 * NPSH_r$$

La pérdida total a la succión del sistema se determina mediante la siguiente expresión:

$$h_s = h_{fs} + h_{ms}$$

$$h_s = 8 * f * \frac{L}{g * \pi^2 * D^5} * Q^2 + \frac{8 * \sum K}{g * \pi^2 * D^4} * Q^2, \text{ donde:}$$

$$f = 0,029$$

$L = 2,07m$, longitud hasta el ultimo tazón del equipo especificado por el fabricante

$D = 8Pu\lg.$, especificado por el fabricante

$$\sum K = K_{entrada} + K_{check / filtro}$$

$$\sum K = 0,5 + 5,88$$

$$\sum K = 6,38$$

Remplazando por los valores se tiene:

$$h_s = 8 * 0,029 * \frac{2,07m}{9,81m / s^2 * \pi^2 * (0,2m)^5} * Q^2 + \frac{8 * 6,38}{9,81m / s^2 * \pi^2 * (0,2m)^4} * Q^2$$

$$h_s = 15,5 \frac{s^2}{m^5} * Q^2 + 329,47 \frac{s^2}{m^5} * Q^2$$

$$h_s = 344,97 \frac{s^2}{m^5} * Q^2$$

Para el caudal de diseño $Q = 68,62 \times 10^{-3} m^3 / s$

$$h_s = 344,97 \frac{s^2}{m^5} * (68,62 \times 10^{-3} m^3 / s)^2$$

$$h_s = 1,62m$$

$$\frac{P_v}{\gamma} = 0,2388m, \text{ para } 20^\circ C$$

Tabla 1. Disminución de la presión atmosférica.

Altura sobre el nivel del mar		Presión atmosférica (Pa)	
m	ft	m	Pa
0	0	10.33	14.69
250	820	10.03	14.26
500	1640	9.73	13.83
750	2460	9.43	13.41
1000	3280	9.13	12.98
1250	4101	8.83	12.55
1500	4921	8.53	12.13
1750	5741	8.25	11.73
2000	6561	8.00	11.38
2250	7381	7.75	11.02
2500	8202	7.57	10.68
2750	9022	7.28	10.35
3000	9842	7.05	10.02
3250	10662	6.83	9.71
3500	11483	6.62	9.42
3750	12303	6.41	9.12
4000	13123	6.20	8.82
4250	13943	5.98	8.52
4500	14764	5.78	8.22

Tabla 6.2 Variación de la presión atmosférica con respecto a la altitud. Extraído de *Organización Panamericana de Salud. Lima, 2005. GUÍAS PARA EL DISEÑO DE ESTACIONES DE BOMBEO DE AGUA POTABLE*

$\frac{P_a}{\gamma} = 8,91m$, para las condiciones de operación (por extrapolación lineal para una

altitud de 1185 m)

$NPSH_r = 5,5m$, extraído del catalogo del fabricante

$NPSH_d = 1,10 * 5,5m$

$NPSH_d = 6,05m$

Partiendo de la ecuación (3.70) y despejando Δz (diferencia de altura entre el nivel de líquido y la succión de la bomba):

$NPSH_d = \frac{P_a}{\gamma} + \Delta z - \frac{P_v}{\gamma} - h_s$, se utiliza la ecuación de succión positiva,

suponiendo que se mantendrá sumergida en la tanquilla de succión.

$$\Delta z = NPSH_d + \frac{P_v}{\gamma} + h_s - \frac{P_a}{\gamma}$$

$$\Delta z = 6,05m + 0,2388m + 1,62m - 8,91m$$

$\Delta z = -1,00m$, como $\Delta z = z_1 - z_s$ implica que:

$z_s = z_1 - \Delta z$, reemplazando valores

$z_s = 0 - (-1,00m)$

$z_s = 1,00m$

Este valor implica que el eje del último tazón de la bomba colocado a $1,00m$ (máxima) por encima del nivel de agua se garantiza que el sistema no entrara en cavitación. De esta manera la altura máxima de colocación del equipo es de $1,00m$, alturas menores a esta garantizan aun mas la prevención a la cavitación ya que se cumple la desigualdad preestablecida ($NPSH_d > NPSH_r$).

6.6 Estimación de los Transitorios Hidráulicos

Los efectos del golpe de ariete se calcularon para los casos más desfavorables de ocurrencia de estas perturbaciones del régimen permanente. Tales casos derivan de fallas de suministro de energía eléctrica en los motores que impulsan las bombas, así como el cierre de válvulas.

Los efectos de golpe de ariete ocasionados debido a fallas inesperadas o paros de emergencia de los motores eléctricos se calcularon para el año 2030. Para cada caso se estimaron las depresiones generadas en la tubería de descarga producto de estos eventos.

El cierre instantáneo de la válvula ubicada aguas debajo de la descarga de la bomba (check) de 10 Pulg. Genera el máximo cambio en la presión en esta sección de la tubería y en dicho dispositivo, por ende se considera primordial en el estudio de los transitorios.

6.6.1 Golpe de Ariete por Suspensión del Suministro Eléctrico a los Equipos

El cálculo se realizó para el punto de operación correspondiente al caudal máximo diario o caudal de diseño para el año 2030. Para cada caso se realizaron las simplificaciones necesarias del sistema de tal manera que facilitaran las estimaciones de los efectos transitorios. Se determinó la posibilidad de ocurrencia de la separación de líquido por la vaporización del agua en la descarga de las bombas en los puntos más altos ocasionado por depresiones

6.6.2 Desconexión de los Motores Eléctricos en Régimen Permanente en el Año 2030

Para el cálculo del efecto del golpe de ariete bajo la desconexión del motor eléctrico, se considera el sistema de aducción como una tubería simple, tal y como se especifica en el diseño. Adicionalmente el estudio se hace bajo la consideración del punto de operación de diseño.

Con las consideraciones anteriores se realizaron las estimaciones del comportamiento de las perturbaciones en la sección de tubería adyacente a la descarga de las bombas mediante el método práctico y cálculo de sobrepresión [12].

A la descarga de la bomba se considera una válvula de retención (check) para impedir que el equipo opere en sentido contrario al cual esta diseñado e impedir que se descargue la columna de líquido en la tubería de aducción. De este modo se obtienen los siguientes resultados:

El cálculo de la sobrepresión depende del tiempo de cierre de la válvula.

Instantáneo: $t_c = 0$ Caso teórico, físicamente imposible, pero muy esencial en la explicación del fenómeno.

Rápido: $0 < t_c < 2t_o = 2L/a = T/2$. La presión máxima es la misma que en el cierre instantáneo, aunque la curva de presiones en la tubería en función del tiempo sea distinta. En el cierre rápido una onda no tiene tiempo de ir al estanque, reflejarse y volver a la válvula, antes de que termine medio ciclo.

Lento: $t_c > 2t_o = 2L/a = T/2$. La presión máxima es menor que en los dos casos precedentes, porque la depresión de la onda elástica llega a la válvula antes de que se complete el medio ciclo e impide el aumento ulterior de la presión.

Partiendo de la ecuación (3.39)

$$a = \sqrt{\frac{\frac{E}{\rho}}{1 + \frac{E * D}{E_c * e} * C}}, \text{ donde:}$$

$E = 2,2 \times 10^8 \text{ Kg}f / m^2$, modulo de elasticidad del agua para la condición de operación.

$\rho = 998,2 \text{ Kg} / \text{m}^3$, densidad del agua.

Tabla C.1 Propiedades físicas del agua (en unidades del SI)

Temp. °C	Peso específico γ N/m ³	Densidad ρ kg/m ³	Viscosidad $\mu \times 10^4$ N-s/m ²	Viscosidad cinemática $\nu \times 10^6$ m ² /s	Tensión superficial $\sigma \times 10^4$ N/m	Carga de presión de vapor p_v/γ m	Módulo de elasticidad volumétrica $K \times 10^7$ N/m ²
0	9806	999.9	1.792	1.792	7.62	0.06	204
5	9807	1000.0	1.519	1.519	7.54	0.09	206
10	9804	999.7	1.308	1.308	7.48	0.12	211
15	9798	999.1	1.140	1.141	7.41	0.17	214
20	9789	998.2	1.005	1.007	7.36	0.25	220
25	9778	997.1	0.894	0.897	7.26	0.33	222
30	9764	995.7	0.801	0.804	7.18	0.44	223
35	9749	994.1	0.723	0.727	7.10	0.58	224
40	9730	992.2	0.656	0.661	7.01	0.76	227
45	9711	990.2	0.599	0.605	6.92	0.98	229
50	9690	988.1	0.549	0.556	6.82	1.26	230
55	9666	985.7	0.506	0.513	6.74	1.61	231
60	9642	983.2	0.469	0.477	6.68	2.03	228
65	9616	980.6	0.436	0.444	6.58	2.56	226
70	9589	977.8	0.406	0.415	6.50	3.20	225
75	9560	974.9	0.380	0.390	6.40	3.96	223
80	9530	971.8	0.357	0.367	6.30	4.86	221
85	9499	968.6	0.336	0.347	6.20	5.93	217
90	9465	965.3	0.317	0.328	6.12	7.18	216
95	9433	961.9	0.299	0.311	6.02	8.62	211
100	9399	958.4	0.284	0.296	5.94	10.33	207

* $\gamma = 9806 \text{ N/m}^3$.

Tabla 6.3 Propiedades físicas del agua. Extraído de Streeter W. Mecánica de Fluidos. 6ta Edición

$D = 254,5 \text{ mm}$, diámetro interno para una tubería comercial de 10 Pulg. Cedula 40.

$e = 9,27 \text{ mm}$, espesor de pared para una tubería comercial de 10 Pulg. Cedula 40.

TABLA F.1 Cédula 40.

Tamaño nom. de tubería (pulg)	Diámetro exterior		Espesor de pared		Diámetro interior			Flujo de área	
	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(pies)	(mm)	(pies ²)	(m ²)
1/8	0.405	10.3	0.068	1.73	0.269	0.0224	6.8	0.000 394	3.660 × 10 ⁻⁵
1/4	0.540	13.7	0.088	2.24	0.364	0.0303	9.2	0.000 723	6.717 × 10 ⁻⁵
3/8	0.675	17.1	0.091	2.31	0.493	0.0411	12.5	0.001 33	1.236 × 10 ⁻⁴
1/2	0.840	21.3	0.109	2.77	0.622	0.0518	15.8	0.002 11	1.960 × 10 ⁻⁴
3/4	1.050	26.7	0.113	2.87	0.824	0.0687	20.9	0.003 70	3.437 × 10 ⁻⁴
1	1.315	33.4	0.133	3.38	1.049	0.0874	26.6	0.006 00	5.574 × 10 ⁻⁴
1 1/4	1.660	42.2	0.140	3.56	1.380	0.1150	35.1	0.010 39	9.653 × 10 ⁻⁴
1 1/2	1.900	48.3	0.145	3.68	1.610	0.1342	40.9	0.014 14	1.314 × 10 ⁻³
2	2.375	60.3	0.154	3.91	2.067	0.1723	52.5	0.023 33	2.168 × 10 ⁻³
2 1/2	2.875	73.0	0.203	5.16	2.469	0.2058	62.7	0.033 26	3.090 × 10 ⁻³
3	3.500	88.9	0.216	5.49	3.068	0.2557	77.9	0.051 32	4.768 × 10 ⁻³
3 1/2	4.000	101.6	0.226	5.74	3.548	0.2957	90.1	0.068 68	6.381 × 10 ⁻³
4	4.500	114.3	0.237	6.02	4.026	0.3355	102.3	0.088 40	8.213 × 10 ⁻³
5	5.563	141.3	0.258	6.55	5.047	0.4206	128.2	0.139 0	1.291 × 10 ⁻²
6	6.625	168.3	0.280	7.11	6.065	0.5054	154.1	0.200 6	1.864 × 10 ⁻²
8	8.625	219.1	0.322	8.18	7.981	0.6651	202.7	0.347 2	3.226 × 10 ⁻²
10	10.750	273.1	0.365	9.27	10.020	0.8350	254.5	0.547 9	5.090 × 10 ⁻²
12	12.750	323.9	0.406	10.31	11.938	0.9948	303.2	0.777 1	7.219 × 10 ⁻²
14	14.000	355.6	0.437	11.10	13.126	1.094	333.4	0.939 6	8.729 × 10 ⁻²
16	16.000	406.4	0.500	12.70	15.000	1.250	381.0	1.227	0.1140
18	18.000	457.2	0.562	14.27	16.876	1.406	428.7	1.553	0.1443
20	20.000	508.0	0.593	15.06	18.814	1.568	477.9	1.931	0.1794
24	24.000	609.6	0.687	17.45	22.626	1.886	574.7	2.792	0.2594

Tabla 6.4 Características dimensionales de las tuberías de acero (cedula 40). Extraído del Mott R. Mecánica de Fluidos. 6ta Edición

$E_c = 2,1 \times 10^{10} \text{ Kg}f / m^2$, modulo de elasticidad del acero.

$C = 1$

Sustituyendo en la ecuación, tenemos:

$$a = \sqrt{\frac{2,2 \times 10^8 \text{ Kg}f / m^2 * 9,8066 N / \text{Kg}f}{998,2 \text{ Kg} / m^3} \cdot 1 + \frac{2,2 \times 10^8 \text{ Kg}f / m^2 * 0,2545 m}{2,1 \times 10^{10} \text{ Kg}f / m^2 * 0,00927 m} * 1}$$

$$a = \sqrt{\frac{2.161.342,41 m^2 / s^2}{1 + 0,2876}}$$

$$a = \sqrt{1.678.582,18 m^2 / s^2}$$

$a = 1.295,6 m / s$, celeridad de la onda elástica.

El tiempo que tarda en recorrer una vez el trayecto bomba-estanque es:

$t_o = \frac{L}{a}$, donde L es la longitud que existe entre la bomba y el estanque, resulta:

$$t_o = \frac{3350m}{1.295,6m/s}$$

$$t_o = 2,59s$$

Si consideramos $2 * t_o$, tenemos:

$2 * 2,59s = 5,18s$, esto nos permite establecer los siguientes:

Instantáneo: $t_c = 0$

Rápido: $0 < t_c < 5,18s$

Lento: $t_c > 5,18s$

Considerando que una vez que ocurra la desconexión eléctrica del motor, actuara la válvula check, el grado de sobrepresión depende exclusivamente del tiempo de cierre de esta. Se consideran dos casos:

- Para un cierre rápido ($0 < t_c < 5,18s$), la sobrepresión resulta de:

$$Q = 68,62 \times 10^{-3} m^3 / s$$

De la ecuación (3.10), despejamos la velocidad del fluido

$Q = V * A$, donde $A = 5,09 \times 10^{-2} m^2$ (tubería comercial de acero de cedula 40 y diámetro 10 Pulg.).

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{68,62 \times 10^{-3} m^3 / s}{5,09 \times 10^{-2} m^2}$$

$V = 1,34m/s$, (Este valor se encuentra dentro del rango establecido para el diseño).

Empleando la ecuación (3.49), se determina la sobrepresión a la cual estará expuesta la tubería de aducción:

$$H_a = \frac{a * V}{g}, \text{ sustituyendo valores}$$

$$H_a = \frac{1.295,6m/s * 1,34m/s}{9,81m/s^2}$$

$$H_a = 176,97m$$

$$p_a = \gamma * H_a$$

$$p_a = 9789N / m^3 * 176,97m$$

$$p_a = 1.732.359,33Pa = 251,26psi$$

Esta sobrepresión se adiciona a la presión de operación del sistema (H_b , presión de descarga de la bomba) obteniendo así la presión máxima a la cual estará expuesta la tubería:

$$H_{\max} = H_b + H_a, \text{ sustituyendo valores}$$

$$H_{\max} = 108,99m + 176,97m$$

$$H_{\max} = 285,96m$$

$$p_{\max} = \gamma * H_{\max}$$

$$p_{\max} = 9789N / m^3 * 285,96m$$

$$p_{\max} = 2.799.262,44Pa = 405,99psi$$

- Para un cierre lento ($t_c > 5,18s$), la sobrepresión resulta (se considera el caso mas critico con $t_c = 5,18s$):

$$H_a = k * \frac{L * V}{g * t_c}, \text{ donde } k \text{ (efecto de elástico de la tubería) (normalmente } < 1,5)$$

$$k = 1,5$$

$$L = 3350m$$

$$g = 9,81m / s^2$$

$$t_c = 5,18s$$

$$H_a = 1,5 * \frac{3350m * 1,34m / s}{9,81m / s^2 * 5,18s}$$

$$H_a = 132,50m$$

$$p_a = 1.297.042,5Pa = 188,12psi$$

Por lo que la máxima presión será de:

$$H_{\max} = 241,49m$$

$$p_{\max} = 2.363.945,61Pa = 342,86 \text{ psi}$$

6.7 Selección de Válvulas

La selección de las válvulas se llevó a cabo de acuerdo a la función que deben cumplir, a las condiciones de flujo más severas a las que estarán sometidas y a las dimensiones de las tuberías en las que serán instaladas.

Considerando el material de la tubería a emplear en la instalación, el tipo de servicio que se requiere, el tamaño de la tubería y la máxima presión de operación, se procede a especificar la válvula a instalar. De esta manera se tiene:

- Válvula para reparación del sistema de descarga del equipo: esta válvula será ubicada en la tubería de acero de D=10 Pulg. Las presiones a las cuales estará sometidas son de 126 m (179 psi) que ocurre a caudal cero (0) de la bomba, es una válvula que debe poder ser operada fácilmente, por cuestiones de emergencia.

Tipo:	Compuerta
Vástago:	Ascendente
Instalación:	Horizontal
Diámetro:	10 pulgadas
Material del cuerpo:	Acero fundido
Presión nominal:	$\geq 126 \text{ m (179 psi)}$
Extremos:	Unión brida – brida
Operación:	Volante
Norma:	ANSI

- Válvula de retención del sistema de descarga: esta válvula estará ubicada después de la válvula de reparación en la tubería de descarga de D=10 Pulg. estará sometida a las máximas presiones provocadas por el efecto del golpe de ariete 285,96 m (405,99 psi).

Tipo:	check oscilante (swing)
Instalación:	Horizontal
Diámetro:	10 pulgadas
Material del cuerpo:	Acero fundido
Presión nominal:	$\geq 285,96 \text{ m (405,99 psi)}$

Extremos: Unión brida – brida
 Norma: ANSI

- Válvula para reparación del múltiple de descarga del sistema: esta válvula será ubicada en la tubería de acero de D=10 Pulg. Las presiones a las cuales estará pueden ser iguales a las soportadas por la válvula de retención 285,96 m (405,99 psi) provocadas por el golpe de ariete.

Tipo: Compuerta
 Vástago: Ascendente
 Instalación: Horizontal
 Diámetro: 10 pulgadas
 Material del cuerpo: Acero fundido
 Presión nominal: $\geq 285,96$ m (405,99 psi)
 Extremos: Unión brida – brida
 Operación: Volante
 Norma: ANSI

- Válvula check de succión: esta válvula es para prevenir la descarga de la columna de líquido de la succión de la bomba, de manera que se evita el cebado por cada arranque del equipo.

Tipo: check oscilante (ascendente)
 Instalación: Horizontal
 Diámetro: 10 pulgadas
 Material del cuerpo: Acero fundido
 Presión nominal: ≥ 105 m (150 psi)
 Extremos: Roscada

6.8 Especificación de Tuberías

- Descarga individual:
 - Cedula: 40
 - Material: Acero al carbono
 - Diámetro nominal: 10 pulgadas

- | | |
|-------------------------|------------------|
| Diámetro exterior: | 10,75 pulgadas |
| Diámetro interior: | 10,02 pulgadas |
| Espesor: | 0,365 pulgadas |
| • Múltiple de descarga: | |
| Cedula: | 40 |
| Material: | Acero al carbono |
| Diámetro nominal: | 10 pulgadas |
| Diámetro exterior: | 10,75 pulgadas |
| Diámetro interior: | 10,02 pulgadas |
| Espesor: | 0,365 pulgadas |
| • Tubería de aducción: | |
| Cedula: | 40 |
| Material: | Acero al carbono |
| Diámetro nominal: | 10 pulgadas |
| Diámetro exterior: | 10,75 pulgadas |
| Diámetro interior: | 10,02 pulgadas |
| Espesor: | 0,365 pulgadas |

6.9 Selección de Motores

6.9.1 Potencia de los Motores

Para el cálculo y selección de los motores se considera principalmente la potencia requerida en el eje de la bomba y el rendimiento mecánico referente a las pérdidas en la transmisión entre el motor y la bomba.

Con las características hidráulicas de la bomba seleccionada se realizó el cálculo de la potencia requerida por la bomba mediante la ecuación (3.67), y se obtuvo:

$P_b = 94,99KW$, potencia requerida por la bomba.

Con el valor anterior se aplicó la ecuación (3.79) para obtener la potencia requerida por el motor, bajo un rendimiento mecánico de 85%, obteniendo así una potencia de:

$P_o = 111,75KW = 149,86hp$

6.9.2 Especificación de los Motores

Marca	Leroy Somer
Tipo	Eléctrico Trifásico de Inducción Rotor jaula de ardilla
Número de polos	3
Frecuencia	60 Hz
Tensión	230 / 460 Voltios
Intensidad nominal	185 Amp.
Potencia nominal	150 hp
Factor de potencia	0,9
Velocidad mecánica	3550 RPM
Par mecánico nominal	300 N.m
Rendimiento	95 %
Aislamiento	Clase F
Forma constructiva	B3, alta disipación
Frame	280 MC
Acoplamiento	Mecánico

6.10 Instalación Eléctrica

Esta sección se basa en el diseño general de los sistemas de control y potencia de los motores trifásicos de inducción de las bombas, de acuerdo a las normas establecidas al respecto.

6.10.1 Sistema de Potencia y Control del Arranque de los Motores

Para motores con las características mencionadas en la sección 6.9.2, el sistema de potencia eléctrico debe cumplir básicamente con el siguiente esquema, de acuerdo al Código Eléctrico Nacional:

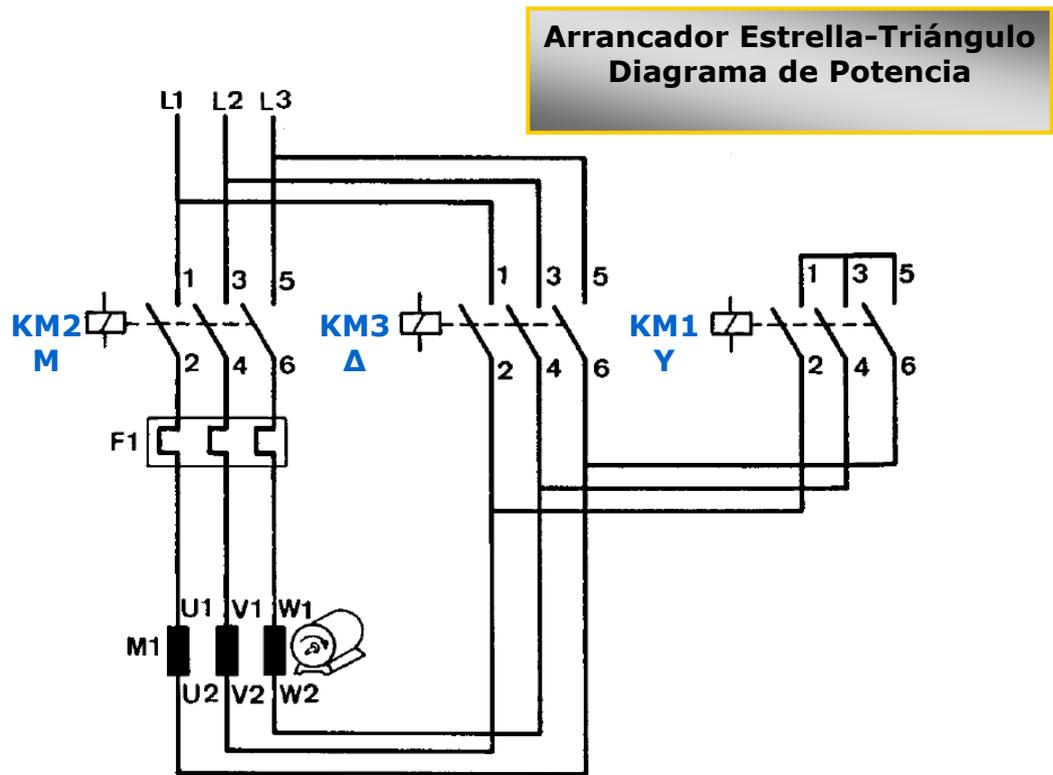


Figura 6.18 Esquema de potencia del arranque de los motores

En el Código Eléctrico Nacional se especifica para motores trifásicos de inducción de 150 hp las siguientes características:

- Capacidad: 150 hp
- Arrancador: NEMA # 5
- Amperaje de placa: 184 Amp. (corriente nominal)
- Corriente para protección de corto circuito (protección ramal):
 - Fusible: 600 Amp.
 - Interruptor automático: 400 Amp.
- Aislamiento de los conductores: Tw (hasta 60° C)
- Calibre de los conductores: Tw AWG # 300, sección transversal 152 mm²
- Diámetro del conduit: 2 ½ pulgada
- Longitud máxima de los conductores para una caída de tensión de 2 por ciento: 440 pies = 134 metros

El arranque de los motores más conveniente para el caso en que no se utilice variador de velocidad en los motores es por el método a tensión reducida con el sistema estrella – triángulo con transición abierta.

Para al arranque de los motores, se calculó la capacidad de los contactores por medio de la corriente y la tensión de la acometida eléctrica disponible, con los siguientes resultados:

- Tensión de línea: $V_L = 460$ Vol.
- Corriente de línea: $I_L = 184$ Vol.
- Tensión de fase en arranque en estrella = $(1/\sqrt{3}).V_L = 266$ Vol.
- Corriente de fase en arranque en estrella = $(2).I_N = 368$ A
- Par de arranque en estrella: $M = M_N = 300$ N.m
- Capacidad del contactor de línea: $KM2 = (1/\sqrt{3}).P_N = 87$ hp
- Capacidad del contactor de triángulo: $KM3 = (1/\sqrt{3}).P_N = 87$ hp
- Capacidad del contactor de arranque: $KM1 = (1/3).P_N = 50$ hp

El esquema general del sistema de control es el siguiente:

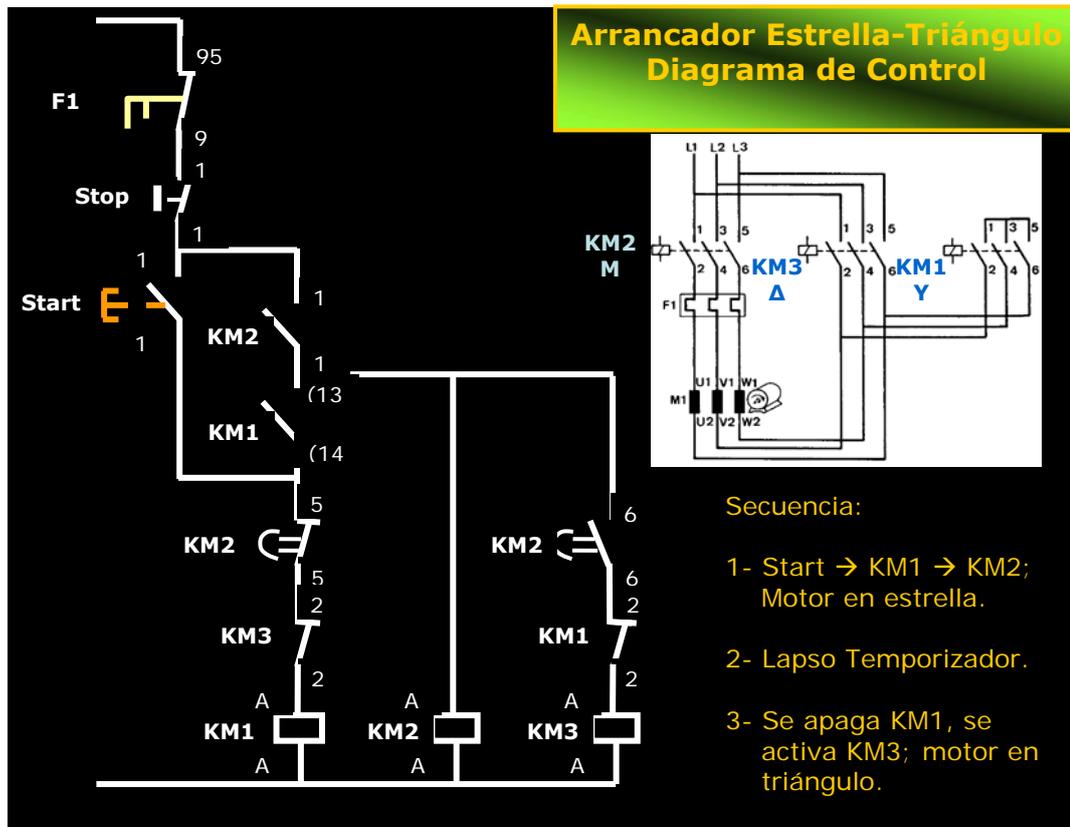


Figura 6.19 Esquema de control del arranque de los motores

La tensión del circuito la determina la tensión especificada en la bobina del contactor. Las protecciones en este caso corresponden a los relés de sobrecarga OL y al control de marcha en seco MS para evitar que los motores funcionen cuando la tubería se encuentre sin agua.

6.11 Estanque Principal

Considerando que actualmente se encuentra en servicio un estanque de 300 m^3 de capacidad, se plantea un análisis del mismo con el cual se determinará si se adapta al diseño o se requiere la construcción de uno. Para esto, se requiere comparar el consumo horario y la rata de bombeo, de esta forma se concluirá si el estanque funciona o no para el sistema desarrollado.

6.11.1 Variación Horaria del Consumo

La variación de consumo se basa en una variación porcentual del la demanda promedio durante las 24 horas del día, esta variación, viene establecida para los altos mirandinos de la siguiente forma:

VARIACION HORARIA: ALTOS MIRANDINOS			
HORA	%Qm	Qm (lts/s)	Q acumulado (m³)
12:00 a.m.	40	13,72	0,00
01:00 a.m.	40	13,72	49,41
02:00 a.m.	40	13,72	98,81
03:00 a.m.	50	17,16	148,22
04:00 a.m.	70	24,02	209,98
05:00 a.m.	130	44,60	296,44
06:00 a.m.	265	90,92	457,01
07:00 a.m.	170	58,33	784,33
08:00 a.m.	150	51,47	994,30
09:00 a.m.	140	48,03	1179,58
10:00 a.m.	130	44,60	1352,50
11:00 a.m.	125	42,89	1513,07
12:00 p.m.	122	41,86	1667,47
01:00 p.m.	125	42,89	1818,16
02:00 p.m.	130	44,60	1972,55
03:00 p.m.	150	51,47	2133,12
04:00 p.m.	140	48,03	2318,40
05:00 p.m.	120	41,17	2491,32
06:00 p.m.	90	30,88	2639,54
07:00 p.m.	70	24,02	2750,70
08:00 p.m.	65	22,30	2837,16
09:00 p.m.	50	17,16	2917,45
10:00 p.m.	45	15,44	2979,21
11:00 p.m.	40	13,72	3034,79
12:00 a.m.	40	13,72	3084,19

Tabla 6.5 Variación horaria del consumo medio. Hidrocapital-Sistema Panamericano.

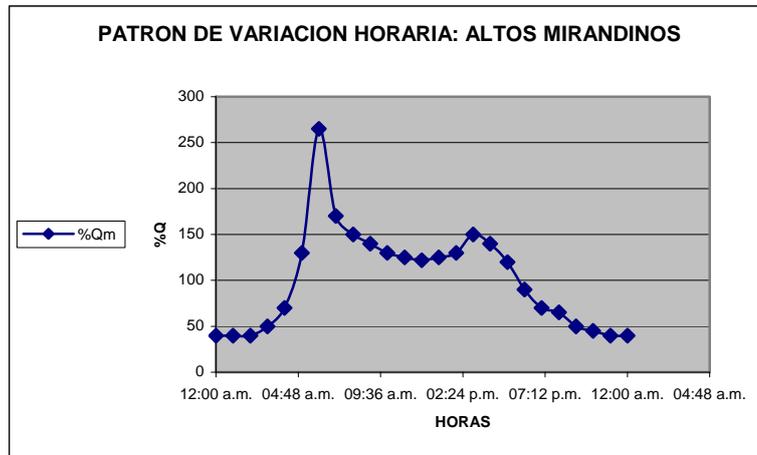


Figura 6.20 Representación grafica de la variación horaria del consumo

6.11.2 Rata de Bombeo

Esta establecido por 12 horas con un caudal de 68,62 Lts/s y el periodo de bombeo es de 5:00am a 5:00pm, de manera tal, que se garantice la cobertura de la demanda del sector.

La cantidad de agua total bombeada durante las 12 horas se obtiene de acuerdo a la siguiente expresión:

$$68,62Lts / s * 12h * \frac{1m^3}{1000Lts} * \frac{3600s}{1h} = 2964,38m^3$$

6.11.3 Capacidad del Estanque

La capacidad del estanque se obtiene de acuerdo a la siguiente tabla:

HORA	CONSUMO (m ³)	BOMBEO (m ³)	ALMACENAMIENTO (m ³)	CONSUMO (m ³)
12:00 a.m.	-	-		
01:00 a.m.	49,41	-		49,41
02:00 a.m.	49,41	-		49,41
03:00 a.m.	49,41	-		49,41
04:00 a.m.	61,76	-		61,76
05:00 a.m.	86,46	-		86,46
06:00 a.m.	160,57	247,03	86,46	
07:00 a.m.	327,32	247,03	-80,29	80,29
08:00 a.m.	209,98	247,03	37,05	
09:00 a.m.	185,27	247,03	61,76	
10:00 a.m.	172,92	247,03	74,11	
11:00 a.m.	160,57	247,03	86,46	
12:00 p.m.	154,40	247,03	92,64	
01:00 p.m.	150,69	247,03	96,34	

02:00 p.m.	154,40	247,03	92,64	
03:00 p.m.	160,57	247,03	86,46	
04:00 p.m.	185,27	247,03	61,76	
05:00 p.m.	172,92	247,03	74,11	
06:00 p.m.	148,22	-		148,22
07:00 p.m.	111,16	-		111,16
08:00 p.m.	86,46	-		86,46
09:00 p.m.	80,29	-		80,29
10:00 p.m.	61,76	-		61,76
11:00 p.m.	55,58	-		55,58
12:00 a.m.	49,41	-		49,41
TOTAL	3084,20	2964,38	849,79	969,61

Tabla 6.6 Comparación entre el caudal requerido y el bombeado

De acuerdo a la tabla anterior, se concluye que la capacidad del estanque debe ser de unos $849,79 \text{ m}^3$. A pesar que el consumo en las horas en las cuales el bombeo se encuentra apagado es mayor que el almacenamiento obtenido en las horas del bombeo se decide mantener esta capacidad de almacenamiento ya que en las horas comprendidas entre las 10:00 00pm hasta las 4:00 am, el consumo regularmente son menores a las estimaciones.

Como puede apreciarse en el análisis anterior, la capacidad del estanque actual no es suficiente para cubrir las condiciones operacionales del diseño, por lo tanto se requiere la construcción de un nuevo estanque de almacenamiento con capacidad de:

$$\text{Capacidad del nuevo estanque} = 849,79 \text{ m}^3 - 300 \text{ m}^3$$

$$\text{Capacidad del nuevo estanque} = 549,79 \text{ m}^3$$

6.11.4 Ubicación del Estanque Nuevo

Este estanque estará ubicado en el mismo terreno donde se encuentra el estanque actual de Variantes, ya que, la disponibilidad del mismo permite la construcción del que se tiene previsto.

6.11.5 Especificaciones Técnicas del Nuevo Estanque

El estanque será del tipo rectangular, elaborado a base de concreto armado y dividido en dos compartimientos, de manera de reducir los costos de construcción

- Dimensiones: se busca una esbeltez tal que resulten espesores de pared no muy grandes, por ello se ha considerado una altura de:

$$h = 4m$$

Esta altura arroja un área de:

$$A = \frac{\text{Capacidad}}{\text{Altura}} \text{ (Área de la base del estanque).}$$

$$A = \frac{549,79m^3}{4m}$$

$A = 137,44m^2$, dividiendo esta área en dos partes tenemos:

$A = 68,72m^2$, que corresponde al área de cada compartimiento.

De manera de distribuir lo mas uniforme las fuerzas sobre las paredes de cada compartimiento, se extrae la raíz cuadrada del área determinado así las dimensiones del estanque:

$$L = \sqrt{A}$$

$$L = \sqrt{68,72m^2}$$

$$L = 8,28m$$

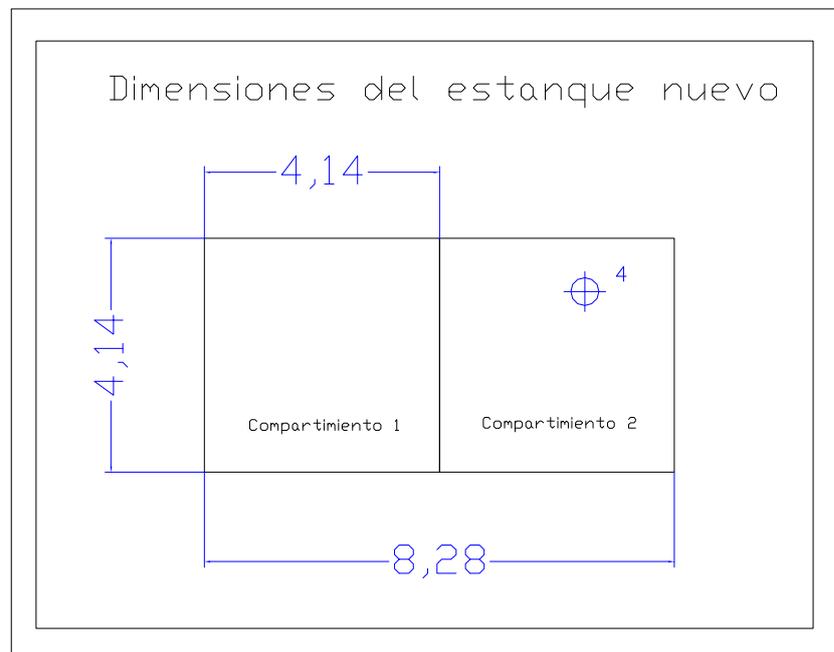


Figura 6.21 Dimensiones del estanque nuevo (metro)

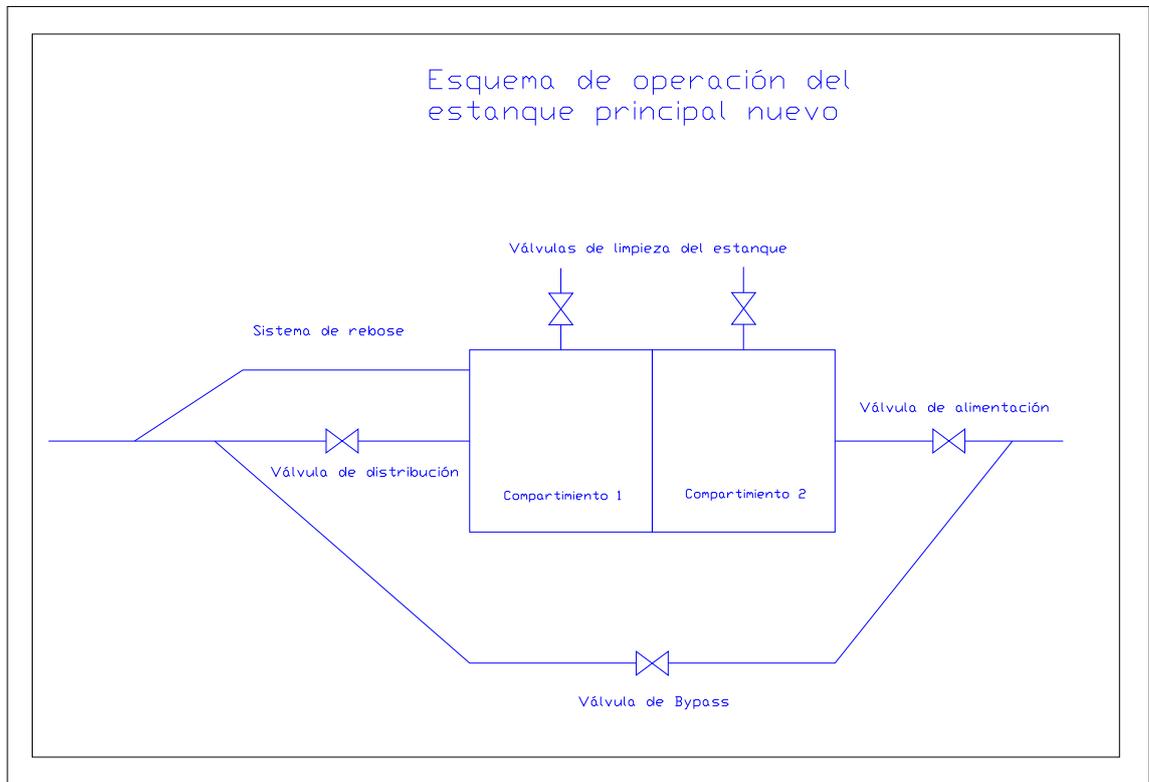


Figura 6.22 Esquema de operación del estanque nuevo

6.12 Especificaciones del Sistema de Distribución del Sector

Para la determinación de las características físicas de las tuberías del sistema de distribución de Guaremal, se colocó el caudal demandado de cada subsector y función de la corrida hidráulica, mediante el programa de simulación “WaterGems”, se determinaron cuáles son los tamaños de los diámetros que se adaptan al diseño.

Para ello, se consideran los parámetros de diseño preestablecidos tales como la velocidad de flujo y presiones en los nodos. De esta forma se obtienen los siguientes resultados:

- Distribución principal parte alta:

Material:	Polietileno de alta densidad (PEAD)
Diámetro nominal:	8 pulg.
Diámetro exterior:	200 mm

Diámetro interior:	170,6 mm
Espesor:	14,7 mm
Norma:	SDR 13,6/PN 10/150 PSI

- Distribución del sector El Zamuro:

Material:	Polietileno de alta densidad (PEAD)
Diámetro nominal:	3 pulg.
Diámetro exterior:	90 mm
Diámetro interior:	76,6 mm
Espesor:	6,7 mm
Norma:	SDR 13,6/PN 10/150 PSI

- Distribución del sector Santa Maria:

Material:	Polietileno de alta densidad (PEAD)
Diámetro nominal:	5 pulg.
Diámetro exterior:	125 mm
Diámetro interior:	106,6 mm
Espesor:	9,2 mm
Norma:	SDR 13,6/PN 10/150 PSI

- Distribución principal parte intermedia:

Material:	Polietileno de alta densidad (PEAD)
Diámetro nominal:	6 pulg.
Diámetro exterior:	160 mm
Diámetro interior:	136,4 mm
Espesor:	11,8 mm
Norma:	SDR 13,6/PN 10/150 PSI

CAPITULO VII

ESTIMACIÓN PRESUPUESTARIA

7.1. Presupuesto

Para tener un estimado del costo de la inversión necesaria para llevar a cabo este proyecto se realizó un presupuesto general que incluye las partidas más importantes. El presupuesto fue realizado según la Comisión Permanente de Normas para Estructuras de Edificios del Ministerio del Desarrollo Urbano 2000-92 (Normas Covenin).

Este presupuesto tentativo corresponde básicamente a la elaboración del nuevo sistema de bombo, estanque y colocación de tuberías (tanto la aducción como las del sector). La descripción general de cada partida está detallada en el apéndice 19. Una breve descripción de cada capítulo del presupuesto se muestra a continuación.

7.1.1. Breve Descripción de Capítulos

7.1.1.1. Obras Preparatorias para Estructuras

Corresponde a las obras previas necesarias para llevar a cabo la construcción de las estructuras. Esta etapa incluye básicamente la preparación del sitio en el que se va a construir, realizando la compactación de relleno y la construcción de base de piedra picada.

Costo estimado = Bs.F 18.566,00

7.1.1.2. Infraestructura de Concreto

Este capítulo del presupuesto corresponde a la construcción de la losa de fundación tipo maciza sobre la que se apoyará la tanquilla de succión de los equipos de bombeo y del estanque propuesto.

Costo estimado = Bs.F 20.504,00

7.1.1.3. Súper Estructura de Concreto

Se incluye la construcción de la losa de la tanquilla de succión y del estanque, las columnas rectangulares, dintel, cunetas y el transporte de los materiales. Los detalles sobre estas partes de la infraestructura se pueden observar en el plano anexo correspondiente.

Costo estimado = Bs.F 65.670,72

7.1.1.4. Encofrados

Consiste en el encofrado de madera que debe realizarse para la construcción de losas, fundaciones, columnas, dintel, etc. Puede ser encofrado para acabado limpio y para acabado corriente.

Costo estimado = Bs.F 9.801,32

7.1.1.5. Armadura de Refuerzo

Este capítulo incluye el suministro, transporte, preparación y colocación de acero de refuerzo utilizando cabilla. Los detalles sobre estas partes de la infraestructura se pueden observar en el plano anexo correspondiente.

Costo estimado = Bs. 18.466,00

7.1.1.6. Albañilería

Corresponde a la construcción de los revestimientos interior y exterior del techo y paredes de la tanquilla de succión y estanque. Los detalles sobre estas partes de la infraestructura se pueden observar en el plano anexo correspondiente.

Costo estimado = Bs.F 50.949,23

7.1.1.7. Impermeabilización

Se debe realizar la impermeabilización de la tanquilla y estanque para evitar filtraciones de agua que afecten la infraestructura y los equipos. Se supuso una impermeabilización con membrana asfáltica reforzada con velo de poliéster.

Costo estimado = Bs.F 8.648,40

7.1.1.8. Herrería

Corresponde al suministro y colocación de rejas fijas de perfiles de hierro para las ventanas de la estación así como el suministro, transporte y colocación de la puerta corredera de perfiles de hierro y de la viga que servirá para el polipasto o trolley en la instalación de los motores. Los detalles sobre estas partes de la infraestructura se pueden observar en el plano anexo correspondiente.

Costo estimado = Bs.F 19.836,00

7.1.1.9. Acabado con Pinturas

Incluye Pinturas de caucho para el interior de la estación y esmalte para las rejas de las ventanas y puerta.

Costo estimado = Bs.F 1.678,97

7.1.1.10. Instalaciones Eléctricas

Este capítulo corresponde a los elementos que conforman el sistema de alumbrado de la estación y se incluyen los cables, las tuberías correspondientes a

los conduit de éstos, los cajetines para el medidor de consumo para estas partes del sistema eléctrico, interruptores y protectores termo-magnéticos.

Costo estimado = Bs.F 52.194,62

7.1.1.11. Instalaciones Electromecánicas

Se incluyen los equipos de bombeo, los motores eléctricos, los acoples, bases metálicas de sujeción de los grupos moto-bomba, soportes de material deformable para las bases metálicas de los grupos (absorbedores de vibraciones), sistema de control y potencia eléctricos que incluyen los dispositivos necesarios para el encendido de los motores en estrella – triángulo (para el motor adicional de emergencia), sistema de tuberías para la succión y descarga de las bombas, accesorios del sistema de tuberías, válvulas de compuerta y retención. Los detalles sobre estas partes de la infraestructura se pueden observar en el plano anexo correspondiente y las partidas correspondientes en el apéndice 19.

Costo estimado = Bs.F 172.750,00

7.1.1.12. Obras de Servicios y Varios

Abarca el suministro e instalación de la tubería de descarga de los equipos de bombeo, los equipos mismos. También incluye la colocación de la tubería de 10 pulgadas, 8 pulgadas y 6 pulgadas propuestas y las tuberías de los estanques, entres otras.

Costo estimado = Bs.F 63.570,00

7.1.2. Total de la Inversión

CAPÍTULO	TOTALES (Bs.)	(%)
1. Obras Preparatorias para Estructuras	18.566,00	3,69
2. Infraestructura de Concreto	20.504,00	4,08
3. Súper Estructura de Concreto	65.670,72	13,07
4. Encofrados	9.801,32	1,95
5. Armadura de Refuerzo	18.466,00	3,67
6. Albañilería	50.949,23	10,14
7. Impermeabilización	8.648,40	1,72
8. Herrería	19.836,00	3,95
9. Acabado con Pinturas	1.678,97	0,33
10. Instalaciones Eléctricas	52.194,62	10,38
11. Instalaciones Electromecánicas	172.750,00	34,37
12. Obras de Servicios y Varios	63.570,00	12,65
TOTAL OBRA Bs.	502.635,26	

Tabla 7.1 Totales de cada capítulo y total de la inversión

CONCLUSIONES

- Los desarrollos de nuevos sistemas de abastecimientos deben estar enmarcados en las normas sanitarias y por las normas de la institución a cargo del desarrollo de proyectos de agua del país.
- Para la determinación de la demanda o consumo de un sector, se debe poseer un registro anual del crecimiento poblacional. De esta manera, se podrá estimar la demanda futura y así mismo poder desarrollar como tal el sistema de abastecimiento del sector.
- La relación de la demanda actual con el caudal manejado permite establecer el déficit del sistema de abastecimiento actual. De esta manera se determina una de las principales causas del deficiente servicio.
- El registro de presiones permite, junto a la topografía del sector, establecer un diagnóstico en cuanto a las presiones del sistema, y comparándolas con las presiones establecidas por la norma, se establece la problemática actual.
- Las maniobras, sectorización o control del caudal manejado, permite evaluar las condiciones actuales de los equipos instalados y de esta manera diagnosticar el mismo.
- La selección de equipo depende de parámetros operacionales predeterminados, adicionalmente a esto, se requiere del conocimiento topográfico del sector (diferencia de altura, longitud y distribución poblacional). De esta manera se podrá seleccionar el mejor que equipo que se adapta a los requerimientos del sistema.
- Los tiempos de diseño dependen de los valores establecidos por las normas de desarrollos de proyectos de abastecimiento de agua y en base a estos se selecciona el periodo de diseño del proyecto.
- Los factores de los cuales depende el comportamiento de un sistema de distribución son las presiones y las velocidades del sistema.

- La selección de los diámetros aptos para el sistema de distribución dependen del caudal manejado y de la velocidad de tránsito referida a valores preestablecidos.
- Para la selección del material de la tubería a instalar se necesita conocer la disponibilidad del terreno (tierra, asfalto, densidad de la población, vía compleja, entre otras). Lo anterior permitirá establecer si la tubería se colocara superficial o enterrada y de esta manera se selecciona el material que satisface mejor el tipo de colocación seleccionada.
- La presión admisible de las tuberías de adicción, dependen de las presiones de descarga de los equipos y del efecto del golpe de ariete, de esta manera se determina el máximo esfuerzo al cual estará sometido la tubería.
- La selección del estanque depende de la ubicación, ambiente de trabajo, caudal de entrada y caudal de salida. De esta manera se obtienen las dimensiones del mismo.
- La independencia del suministro de agua potable mediante un sistema de bombeo y estanque, único y exclusivo para el sector Guaremal.
- La alimentación o succión de los equipos, es mediante una tanquilla de succión de 200 m^3 . Cuyas dimensiones son: Largo $7,5\text{ m}$; Ancho $7,5\text{ m}$ y Alto $3,5\text{ m}$.
- Instalación de dos equipos de bombeo vertical modelo KSB-B12B/6, con motores eléctricos de 150 hp cada uno, uno principal y el otro de reserva, de manera de tener una capacidad instalada de 200%.
- La propuesta plantea elaborar un espacio adicional para una futura ampliación del sistema.
- Implementación de bombeo periódico de manera de ahorrar y alargar la vida de los equipos mecánicos (12 horas).
- La incorporación de nuevos equipos de bombeo implican una nueva adicción, siendo esta de 10 pulg. Ésta va desde la descarga de los equipos hasta el estanque principal.

- El sistema debe estar provisto de válvulas de expulsión de aire o ventosas, de manera de facilitar el flujo y liberar las bolsas de aire dentro de las tuberías.
- El sistema debe estar provistos de sistemas de purgas o limpieza de las tuberías para extraer las deposiciones en las tuberías debido a bajas velocidades o a altas durezas del agua.
- El sistema debe estar provisto de válvulas de mantenimiento y sectorización, de manera de poder realizar labores de reparaciones sin dejar sin servicio la mayor cantidad de sectores posibles.
- Las válvulas de sectorización deben estar provistas de boca de visitas para impedir la manipulación indebida de éstas.
- Se propone un estanque con capacidad de 550 m^3 , elaborado a base de concreto reforzado con dos celdas o compartimientos. Éste se encuentra ubicado en las adyacencias del estanque actual de Guaremal.
- Se propone una nueva tubería de distribución del estanque (8 pulg.) que cambia en la zona intermedia a (6 pulg.).
- Adicionalmente se consideran válvulas reguladoras de presión en la parte intermedia y baja del sector de manera de mantener las presiones del sistema bajo los valores máximos y mínimos establecidos.
- El sistema debe contemplar válvulas reguladoras de caudal en la aducción para mantener el punto de operación del equipo de bombeo y en la distribución principal para mantener la continuidad y buena distribución del caudal demandado.
- El sistema esta diseñado para cubrir o responder bajo el escenario de incendio o incremento de la demanda en un 200%.

RECOMENDACIONES

- La principal recomendación es regular los consumos de los sectores a los valores estimados, de esta manera el sistema operará bajo las condiciones de diseño.
- La instalación de los equipos especificados y obras civiles bajo las dimensiones especificadas, de esta manera se garantiza una operación acorde a lo propuesto.
- Instalar válvulas de regulación de caudal en las tuberías de distribución de los sectores, de esta manera, garantizar que los caudales de tránsitos coincidan con los demandados.
- Instalar válvulas de expulsión de aire en los puntos mas elevados del los sectores e instalar válvulas de purga, o limpieza, en los finales de tuberías y puntos mas bajos de cada sector.
- Monitorear las presiones de la aducción, de manera que coincidan con los resultados del diseño, de esta manera se podrá prever la existencia de una avería u otro evento irregular del sistema de bombeo.
- Monitorear las presiones del sistema de distribución de Guaremal, de manera de compararlas con las presiones teóricas y así garantizar el cumplimiento de las condiciones de diseño. Esto a su vez permitirá detectar averías u otros problemas que presente el sistema.

BIBLIOGRAFÍA

Textos

[1] Arocha R., Simón. (1997). *Abastecimientos de Agua* (3° Edición). Venezuela.: Editorial Innovación Tecnológica.

[2] Beer, Ferdinand P., y Jonhston Jr., E. R. (1997). *Mecánica Vectorial para Ingenieros*. (6ª Edición). México: Editorial Mc Graw Hill

[3] CRANE. (1992). *Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías*. México: Editorial Mc Graw Hill.

[4] INE. (2000). *Venezuela: Estimaciones y Proyecciones de Población 1950 – 2035*. Caracas, Venezuela: Instituto Nacional de Estadística.

[5] INOS. (1976). *Especificaciones de Construcción de Obras de Acueductos y Alcantarillados*. Venezuela: Instituto Nacional de Obras Sanitarias.

[6] Karassik, Igor J., y Carter, Roy. (1975). *Bombas Centrífugas Selección, Operación y Mantenimiento*. (2ª Edición). México: Editorial Continental.

[7] Karassik, Igor J. (1983). *Manual de Bombas. Diseño, Aplicación, Especificaciones, Operación y Mantenimiento*. México: Editorial Mc Graw Hill.

[8] Kosow, I. L. (1982). *Control de Máquinas Eléctricas*. España: Editorial Reverté.

[9] McGhee, Terence J. (1999). *Abastecimiento de Agua y Alcantarillado. Ingeniería Ambiental*. (6ª Edición). Santa Fe de Bogotá, Colombia: Editorial Mc Graw Hill.

[10] Méndez, Manuel Vicente. (1995). *Tuberías a Presión*. Caracas, Venezuela: Fondo Polar – UCAB.

[11] Naciones Unidas. (1961). *Métodos de Cálculo de la Población Total para Fechas Corrientes*. Estudios de Población n° 10. Nueva York, U.S.A.

[12] Parmakian, John. (1963). *Waterhammer Análisis*. New York, U.S.A.: Dover Publications Inc.

[13] Potter, M., y Wiggert, D. (1.998). *Mecánica de Fluidos*. (2° Edición). México: Editorial Prentice Hall.

[14] Saldarriaga, Juan G. (1998). *Hidráulica de Tuberías*. Bogotá, Colombia: Editorial Mc Graw Hill.

[15] Streeter, Victor L., y Wylie, E. (1999). *Mecánica de Fluidos*. (9° Edición). Colombia: Editorial Mc Graw Hill.

[16] Westaway, C.R., y Loomis, A.W. (1981). *Cameron Hydraulic Data*. (16^a Edición). U.S.A.: Ingersoll-Rand.

Tesis

Alvarez B., Alonzo J., Borges C., Orangel (2003). Rediseño de una Estación de Bombeo de Refuerzo. Tesis de Pregrado. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Alejandro Enrique Rivas Iribarren (2003). Estudio Técnico Económico para Mejorar una Estación de Bombeo de una Comunidad. Tesis de Pregrado. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Documentos legales

Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 37.415 de fecha 03 de abril de 2002. Tarifas Eléctricas. (2002).

Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 4.044 Extraordinario del 8 de septiembre de 1988. Normas para Proyecto, Construcción, Reparación, Reforma y Mantenimiento de Edificaciones. (1988).