



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE HIDROBOMBEO  
PARA LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A”**

**GUERRA VACA LENIN ORLANDO**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:  
**INGENIERO MECÁNICO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2012**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

Octubre, 30 de 2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**GUERRA VACA LENIN ORLANDO**

---

Titulada:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE HIDROBOMBEO PARA LA INDUSTRIA  
LECHERA FLORALP S.A”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

---

Ing. Geovanny Novillo A.  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. José Pacífico Riofrio R.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Vicente Trujillo  
ASESOR DE TESIS

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** GUERRA VACA LENIN ORLANDO

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO DE UN SISTEMA DE HIDROBOMBEO PARA LA INDUSTRIA LECHERA FLORALP S.A”

**Fecha de Examinación:** Octubre, 30 de 2012.

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Telmo Moreno (PRESIDENTE TRIB.DEFENSA)			
Ing. José Riofrio R (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Vicente Trujillo (ASESOR)			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

f) Presidente del Tribunal

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

f) Lenin Orlando Guerra Vaca

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a dios, por ayudarme a culminar este trabajo de graduación, dándome la fuerza y la sabiduría necesaria.

A mis padres, pilar de mi crecimiento.

A mis hermanos que siempre han estado pendientes de mí.

A mis familiares y amigos que han demostrado su desinteresado aporte hacia conmigo.

**Lenin Guerra Vaca**

## **AGRADECIMIENTO**

Mi más grande y profundo agradecimiento al apoyo sin condiciones de mis padres. Sus palabras y el valor que supieron transmitirme, me ayudaron a seguir adelante, sin dejarme retroceder en circunstancias en que mis propias fuerzas no fueron suficientes. Es a ellos a quienes debo todo cuanto he conseguido en mi vida.

Agradezco a la Escuela de Ingeniería Mecánica de la ESPOCH, por abrirme sus puertas y brindarme la posibilidad de acceder a la educación de calidad que en sus aulas se imparte.

Mis sinceros agradecimientos para el para el Ing. José Riofrio, en calidad de director de tesis, por su invaluable ayuda.

**Lenin Guerra Vaca**

## CONTENIDO

	Pág.
<b>1. GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación técnico económica.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	3
1.3.2 <i>Objetivos específico</i> .....	3
<b>2. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
2.1 Revisión bibliográfica.....	4
2.1.1 <i>Energía</i> .....	4
2.1.1.1 <i>Energía e industria</i> .....	4
2.1.1.2 <i>Energía hidráulica</i> .....	4
2.1.2 <i>El agua</i> .....	5
2.1.2.1 <i>Beneficios</i> .....	5
2.1.2.2 <i>Impactos</i> .....	5
2.2 Hidrobombeo.....	5
2.3 Principio de funcionamiento.....	5
2.3.1 <i>Componentes principales del hidrobombeo</i> .....	6
2.3.2 <i>Sistematización del hidrobombeo</i> .....	6
2.3.2.1 <i>Captación</i> .....	7
2.3.2.2 <i>Obra de conducción</i> .....	7
2.3.2.3 <i>Sistemas de tuberías</i> .....	7
2.3.2.4 <i>Desarenador</i> .....	7
2.3.2.5 <i>Sistemas de bombeo</i> .....	7
2.3.2.6 <i>Tanque de presión</i> .....	8
2.3.2.7 <i>Reservorio de almacenamiento</i> .....	8
2.3.2.8 <i>Otros elementos</i> .....	8
2.4 Conceptos básicos para el cálculo hidráulico.....	9
2.4.1 <i>Numero de Reynolds</i> .....	9
2.4.2 <i>Fórmula de Darcy-Weisbach</i> .....	10

2.4.2.1	<i>Factor de fricción de la tubería, <math>\lambda</math></i> .....	10
<b>3.</b>	<b>NECESIDADES Y ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO</b> .....	<b>12</b>
3.1	Objetivo de la investigación.....	12
3.2	Necesidades del cliente.....	12
3.3	Estudio de restricciones y limitaciones.....	12
3.4	Especificaciones del producto.....	13
3.4.1	<i>Parámetro funcionales</i> .....	13
3.4.2	<i>Ambiente de trabajo</i> .....	13
3.4.3	<i>Vida útil</i> .....	13
3.4.4	<i>Tamaño y peso</i> .....	13
3.4.5	<i>Materiales</i> .....	13
3.4.6	<i>Procesos</i> .....	14
<b>4.</b>	<b>DESCRIPCIÓN GENERAL Y PARÁMETROS DE DISEÑO</b> .....	<b>15</b>
4.1	Descripción general de la zona del proyecto.....	15
4.1.1	<i>Ubicación geográfica de la zona del proyecto</i> .....	15
4.1.2	<i>Aspectos físicos de la zona del proyecto</i> .....	16
4.1.3	<i>Estudio socio económico de la zona del proyecto</i> .....	16
4.1.3.1	<i>Aspectos económicos</i> .....	16
4.1.3.2	<i>Aspectos socio culturales</i> .....	16
4.1.3.3	<i>Servicios básicos</i> .....	17
4.1.3.4	<i>Infraestructura educativa</i> .....	17
4.2	Caudal de demanda.....	17
4.2.1	<i>Dotación</i> .....	17
4.2.1.1	<i>Dotación de agua para usos industriales</i> .....	17
4.3	Evaluación del recurso aprovechable.....	18
4.3.1	<i>Medición del salto</i> .....	19
4.3.2	<i>Medición del a altura de bombeo</i> .....	19
4.3.3	<i>Medición del caudal</i> .....	19
4.3.3.1	<i>Método de Velocidad/Superficie</i> .....	19



4.3.3.2	<i>Método del recipiente.....</i>	22
4.3.3.3	<i>Determinación del caudal de diseño.....</i>	24
<b>5.</b>	<b>DIMENSIONAMIENTO Y DISEÑO EQUIPOS.....</b>	<b>26</b>
5.1	Equipos hidráulicos.....	26
5.1.1	<i>Recurso energético disponible.....</i>	26
5.1.2	<i>Necesidad o demanda energética.....</i>	27
5.2	Equipos de transformación de energía hidráulica.....	27
5.2.1	<i>Formulación de alternativas.....</i>	27
5.2.1.1	<i>Equipos de bombeo.....</i>	28
5.2.2	<i>Metodología de evaluación y resultados.....</i>	32
5.2.2.1	<i>Criterios de evaluación.....</i>	32
5.2.2.2	<i>Puntaje y criterio de evaluación.....</i>	32
5.2.2.3	<i>Descripción de los criterios.....</i>	32
5.2.2.4	<i>Conceptos solución.....</i>	33
5.2.2.5	<i>Evaluación de las rutas de solución.....</i>	34
5.3	Proyección del sistema.....	35
5.3.1	<i>Turbinas.....</i>	35
5.3.1.1	<i>Atendiendo a que la presión varíe o no en el rodete.....</i>	38
5.3.1.2	<i>Según la dirección de entrada del agua en las turbinas.....</i>	39
5.3.1.3	<i>Atendiendo a la disposición del eje de giro.....</i>	39
5.3.2	<i>Bombas.....</i>	39
5.3.2.1	<i>Bombas centrifugas.....</i>	39
5.3.2.2	<i>Bombas alternativas o Reciprocantes.....</i>	40
<b>6.</b>	<b>DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS.....</b>	<b>41</b>
6.1	Obras cíviles.....	41
6.1.1	<i>Captación.....</i>	42
6.1.1.1	<i>Ubicación.....</i>	42
6.1.1.2	<i>Criterios de diseño.....</i>	42
6.1.1.3	<i>Características hidráulicas del río.....</i>	43
6.1.1.4	<i>Bocatomas de barraje móvil.....</i>	43
6.1.2	<i>Rejilla de admisión.....</i>	45

6.1.2.1	<i>Diseño de la rejilla.....</i>	45
6.1.3	<i>Conducción.....</i>	48
6.1.3.1	<i>Canal.....</i>	48
6.1.4	<i>Desarenador.....</i>	56
6.1.4.1	<i>Dimensionamiento del desarenador.....</i>	56
6.1.5	<i>Tanque de presión.....</i>	60
6.1.5.1	<i>Diseño del tanque de presión.....</i>	60
6.1.6	<i>Rejilla de entrada a la tubería de presión.....</i>	63
6.1.7	<i>Aliviaderos.....</i>	64
6.1.7.1	<i>Cálculo de las dimensiones de un aliviadero.....</i>	64
6.1.8	<i>Tubería de presión.....</i>	67
6.1.8.1	<i>Cálculo del diámetro de la tubería.....</i>	67
6.1.8.2	<i>Selección de la tubería de presión.....</i>	67
6.1.8.3	<i>Cálculo de la velocidad del agua que fluye por la tubería.....</i>	69
6.1.8.4	<i>Cálculo de pérdidas de carga.....</i>	70
6.1.8.5	<i>Cálculo del espesor de la tubería.....</i>	76
6.1.8.6	<i>Cálculo de las tensiones que se generan en la tubería.....</i>	77
6.1.8.7	<i>Cálculo de longitud entre apoyos.....</i>	83
6.1.9	<i>Actividades complementarios.....</i>	84
6.1.9.1	<i>Uniones.....</i>	84
6.1.9.2	<i>Anclajes.....</i>	84
6.1.9.3	<i>Relleno y compactación de zanjas.....</i>	89
6.1.9.4	<i>Casa de maquinas.....</i>	90
6.1.10	<i>Reservorio de almacenamiento.....</i>	90
6.1.10.1	<i>Volumen de almacenamiento.....</i>	91
6.1.10.2	<i>Dimensionamiento del reservorio de almacenamiento.....</i>	96
6.1.11	<i>Selección de dispositivos anexos.....</i>	97
6.1.11.1	<i>Válvula de control de flujo.....</i>	97
6.1.11.2	<i>Válvula de aire.....</i>	98
6.1.11.3	<i>Válvula antirretorno.....</i>	99
<b>7.</b>	<b>SELECCIÓN DE LA TURBINA.....</b>	<b>101</b>
7.1	<b>Criterios de selección.....</b>	<b>101</b>

7.1.1	<i>Altura de salto neta</i> .....	101
7.1.2	<i>Potencia disponible</i> .....	102
7.1.3	<i>Potencia máxima entregada</i> .....	102
7.1.4	<i>Las velocidades específicas</i> .....	103
7.1.4.1	<i>Velocidad específica en función de la potencia de la turbina</i> <i><math>N_s</math></i> .....	104
7.1.4.2	<i>Velocidad específica en función del caudal, <math>N_q</math></i> .....	104
7.2	<i>Selección de la turbina</i> .....	105
7.3	<i>Descripción de la turbina empleada</i> .....	107
7.4	<i>Principio de funcionamiento</i> .....	107
7.5	<i>Instalación</i> .....	108
7.6	<i>Diseño y cálculos hidráulicos</i> .....	108
7.6.1	<i>Triangulo de velocidades</i> .....	109
7.6.1.1	<i>Resolución del triangulo de velocidades a la entrada del rotor</i> .....	109
7.6.1.2	<i>Velocidad absoluta</i> .....	110
7.6.1.3	<i>Velocidad tangencial</i> .....	110
7.6.1.4	<i>Velocidad relativa</i> .....	111
7.6.1.5	<i>Cálculo de velocidad meridiana</i> .....	111
7.6.2	<i>Diámetro y velocidad de giro de la turbina</i> .....	111
7.6.2.1	<i>Numero de revoluciones</i> .....	111
7.6.3	<i>Numero de alabes del rotor</i> .....	111
7.6.4	<i>Cálculo del ancho del rodete</i> .....	112
7.6.5	<i>Geometría del alabe</i> .....	113
7.6.6	<i>Diseño del inyector</i> .....	113
7.6.6.1	<i>Arco de admisión</i> .....	114
7.6.6.2	<i>Angulo de admisión</i> .....	114
7.6.7	<i>Elección de la turbina</i> .....	115
<b>8.</b>	<b>CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LA BOMBA</b> .....	117
8.1	<i>Parámetros fundamentales de diseño</i> .....	117
8.2	<i>Datos del sistema</i> .....	117
8.2.1	<i>Fluido</i> .....	117
8.2.2	<i>Especificaciones geográficas del lugar</i> .....	118

8.2.3	<i>Condiciones del sistema.....</i>	118
8.3	<i>Cálculos.....</i>	118
8.3.1	<i>Selección de diámetros para la succión y descarga de la bomba.....</i>	118
8.3.1.1	<i>Selección del diámetro para la succión.....</i>	118
8.3.1.2	<i>Selección del diámetro para la descarga.....</i>	119
8.3.2	<i>Cálculo de la altura útil o efectiva.....</i>	120
8.3.2.1	<i>Cabeza dinámica de succión, <math>H_s</math>.....</i>	120
8.3.2.2	<i>Cabeza dinámica de descarga, <math>H_d</math>.....</i>	123
8.3.3	<i>Cálculo de la “Altura Neta Positiva de Aspiración disponible” <math>NPSH)_D</math>.....</i>	125
8.3.4	<i>Selección de la bomba.....</i>	126
8.3.5	<i>Comprobación del <math>NPSH)_D &gt; NPSH)_R</math>.....</i>	126
<b>9.</b>	<b><i>DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN.....</i></b>	<b>127</b>
9.1	<i>Tipos de transmisiones.....</i>	127
9.1.1	<i>Transmisión por bandas planas.....</i>	127
9.1.1.1	<i>Funcionamiento.....</i>	127
9.1.1.2	<i>Ventajas.....</i>	127
9.1.1.3	<i>Desventajas.....</i>	128
9.1.2	<i>Transmisión por bandas trapeciales.....</i>	128
9.1.2.1	<i>Funcionamiento.....</i>	128
9.1.2.2	<i>Ventajas.....</i>	128
9.1.2.3	<i>Desventajas.....</i>	128
9.1.3	<i>Transmisión por cadena de rodillos.....</i>	129
9.1.3.1	<i>Funcionamiento.....</i>	129
9.1.3.2	<i>Ventajas.....</i>	129
9.1.3.3	<i>Desventajas.....</i>	129
9.1.4	<i>Transmisión por engranajes.....</i>	129
9.1.4.1	<i>Funcionamiento.....</i>	130
9.1.4.2	<i>Ventajas.....</i>	130
9.1.4.3	<i>Desventajas.....</i>	130
9.2	<i>Criterio de selección tipo de transmisión.....</i>	131

9.3	Dimensionamiento de una correa trapecial.....	131
9.3.1	<i>Relación de transmisión.....</i>	131
9.3.2	<i>Potencia de diseño.....</i>	132
9.3.3	<i>Selección del tipo de banda requerida.....</i>	133
9.3.4	<i>Selección del diámetro de la polea.....</i>	134
9.3.5	<i>Selección del diámetro de la conducida.....</i>	135
9.3.6	<i>Cálculo de la distancia entre centros.....</i>	135
9.3.7	<i>Cálculo de la longitud de la banda.....</i>	136
9.3.8	<i>Longitud nominal recomendada.....</i>	136
9.3.9	<i>Corrección de la distancia entre centros.....</i>	137
9.3.10	<i>Angulo de contacto.....</i>	138
9.3.11	<i>Potencia de transmisión por banda.....</i>	138
9.3.12	<i>Determinación del número de bandas requeridas.....</i>	140
9.3.13	<i>Selección de poleas.....</i>	141
9.3.14	<i>Factor de seguridad.....</i>	141
9.3.15	<i>Durabilidad de la banda.....</i>	141
9.3.16	<i>Cálculo del número de pasadas.....</i>	144
9.3.17	<i>Vida de la banda.....</i>	144
<b>10.</b>	<b>PROCEDIMIENTOS Y ACTIVIDADES DE</b>	
	<b>MANTENIMIENTO.....</b>	<b>145</b>
10.1	Mediadas y acciones de mantenimiento.....	145
10.1.1	<i>Acciones de mantenimiento en bocatomas.....</i>	145
10.1.2	<i>Acciones de mantenimiento en canales.....</i>	146
10.1.3	<i>Acciones de mantenimiento en desarenadores.....</i>	146
10.1.4	<i>Acciones de mantenimiento en tuberías.....</i>	147
10.1.5	<i>Acciones de mantenimiento en válvulas.....</i>	147
10.1.6	<i>Acciones de mantenimiento en la turbina hidráulica.....</i>	148
10.1.7	<i>Acciones de mantenimiento en rodamientos.....</i>	149
10.1.8	<i>Acciones de mantenimiento en la bomba.....</i>	149
10.1.9	<i>Acciones de mantenimiento en bandas de transmisión.....</i>	149
10.1.10	<i>Acciones de mantenimiento en el reservorio de almacenamiento.....</i>	149

10.2	Operaciones de mantenimiento.....	150
<b>11.</b>	<b>ANÁLISIS FINANCIERO.....</b>	<b>151</b>
11.1	Costos.....	151
11.1.1	<i>Costo de inversión.....</i>	151
11.1.1.1	<i>Costos de materiales.....</i>	151
11.1.1.2	<i>Costos de maquinaria y equipos.....</i>	152
11.1.1.3	<i>Costos de mano de obra.....</i>	154
11.1.1.4	<i>Costos de ingeniería básica y de detalle.....</i>	154
11.1.1.5	<i>Costos por imprevistos.....</i>	155
11.1.1.6	<i>Costo total de inversión.....</i>	155
11.1.2	<i>Costos de operación y mantenimiento.....</i>	155
11.1.2.1	<i>Costos de operación.....</i>	155
11.1.2.2	<i>Costos de mantenimiento.....</i>	156
11.2	Beneficios.....	157
11.2.1	<i>Ahorro por el no pago de energía para el funcionamiento de la bomba hidráulica.....</i>	157
11.2.1.1	<i>Rubros de las planillas de pago de energía eléctrica.....</i>	157
11.2.1.2	<i>Consumo y facturación de energía eléctrica mensual.....</i>	158
11.2.2	<i>No pago de energía por la salida de funcionamiento del sistema actual de bombeo.....</i>	159
11.2.2.1	<i>Principio de funcionamiento.....</i>	159
11.2.2.2	<i>Cálculo de consumo de energía del sistema.....</i>	160
11.2.3	<i>Valor residual.....</i>	161
11.2.3.1	<i>Cálculo del valor residual.....</i>	161
11.2.3.2	<i>Valor residual de obras civiles.....</i>	161
11.2.3.3	<i>Valor residual de la maquinaria, equipos y otros.....</i>	161
11.3	Flujo de caja interno.....	162
11.4	Evaluación económica del proyecto.....	164
11.4.1	<i>Valor actual neto, VAN.....</i>	164
11.4.1.1	<i>Cálculo del VAN.....</i>	165
11.4.2	<i>Cálculo de la relación Beneficio-Costo (B/C).....</i>	166
11.4.3	<i>Tasa interna de retorno, TIR.....</i>	166

11.4.3.1	<i>Cálculo del TIR</i> .....	166
<b>12.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	169
12.1	Conclusiones.....	169
12.2	Recomendaciones.....	170

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**BIBLIOGRAFÍA**

**LINKOGRAFÍA**

**ANEXOS**

**PLANOS**



## LISTA DE TABLAS

		Pág.
1	Nivel de servicio para sistemas de abastecimiento de agua en industrias.....	17
2	Nivel de servicio para sistemas de abastecimiento de agua en plantas lecheras.....	18
3	Registros de los caudales medios mensuales.....	23
4	Condiciones de operación de la ríobomba.....	29
5	Condiciones de operación turbobomba.....	30
6	Condiciones de operación de bomba de ariete.....	31
7	Criterios de evaluación.....	32
8	Incidencia de evaluación para la matriz de puntuación.....	32
9	Criterios de evaluación.....	35
10	Características principales de las turbinas hidráulicas.....	37
11	Apertura de barrotos y espesor de rejilla.....	45
12	Velocidades máximas recomendadas (m/seg) del agua recomendadas en canales.....	50
	Velocidades mínimas recomendadas (m/seg) del agua para evitar sedimentación.....	50
13	Taludes recomendados para canales de sección trapezoidal.....	51
14	Coefficiente de rugosidad “n” para canales concreto.....	51
15	Geometría de diferentes secciones transversales de canales de agua.....	53
16	Dimensiones de canales.....	55
17	Velocidad decantación de partículas de arena en (m/s).....	57
18	Constante de capacidad.....	62
19	Dimensiones de aliviaderos.....	66
20	Velocidades de flujo en las tuberías.....	69
21	Limite de velocidades recomendadas (m/seg) en tuberías para agua.....	70
22	Pérdidas por fricción en tuberías.....	72
23	Coeficiente de pérdidas en curvas circulares.....	73
24		

25	Pérdidas en válvulas para diferentes aperturas.....	74
26	Pérdidas secundarias totales para diferentes tipos de tubería.....	74
27	Pérdidas totales en (m) para las diferentes tuberías.....	75
28	Porcentaje de pérdidas en tuberías.....	75
29	Espesores nominales de las tuberías.....	77
30	Longitud entre apoyos.....	81
31	Tensiones en la tubería.....	82
32	Coefficientes de seguridad de la tubería.....	83
33	Datos generales de tubería.....	83
34	Dimensiones generales de los anclajes.....	86
35	Dimensiones de anclajes.....	87
36	Fuerzas que actúan sobre los anclajes.....	88
37	Estabilidad de anclajes.....	88
38	Variaciones de consumo.....	92
39	Variaciones de consumo horario.....	94
40	Características técnicas válvula de compuerta “SOMEPAL”.....	98
41	Características técnicas volante “SOMEPAL”.....	98
42	Diámetros adecuado de la válvula de aire según el diámetro de la tubería.....	99
43	Características técnicas válvula de aire “HIDROTEN S.A.”.....	99
44	Características técnicas válvula antirretorno enlace salidas encolar, “HIDROTEN S.A.”.....	100
45	Rango de alturas de salto.....	101
46	Rendimientos característicos de tipos de transmisión.....	103
47	Clasificación de turbinas en función de velocidades específicas.....	104
48	Numero optimo de alabes.....	112
49	Selección del espesor de los alabes del rotor.....	113
50	Parámetros calculados de turbina Michell Banki.....	115
51	Datos generales de tubería.....	120
52	Accesorios de la tubería de succión.....	122
53	Detalle de accesorios de la tubería de descarga.....	124
54	Especificaciones de la bomba seleccionada.....	126
55	Factor de servicio normal.....	133

56	Grafico elección de la sección de la correa.....	134
57	Diámetros primitivos mínimos en función del ángulo de garganta.....	134
58	Diámetros primitivos en (mm).....	132
59	Correas trapeciales Oleostatic Pirelli de serie.....	137
60	Prestaciones de las correas trapeciales Oleostatic Pirelli.....	139
61	Factor de corrección $c_j$ para arcos de contacto inferiores a $180^\circ$ .....	140
62	Factor de corrección $c_l$ en función del tipo de correa.....	140
63	Características técnicas poleas.....	141
64	Factor de servicio $K_s$ .....	141
65	Factor de servicio $K_C$ .....	142
66	Parámetros de durabilidad $K, b$ .....	144
67	Velocidad máxima permisible en canales de tierra.....	146
68	Programa de mantenimiento de la turbina.....	148
69	Paralizaciones por mantenimiento.....	150
70	Costos de materiales.....	152
71	Costos de la maquinaria.....	153
72	Costos de los equipos.....	153
73	Costos de mano de obra.....	154
74	Costos de ingeniería y de detalle.....	154
75	Costos por imprevistos.....	155
76	Costo total de inversión.....	155
77	Costos de operación.....	156
78	Costos de mantenimiento variables.....	156
79	Costo de mantenimiento fijos.....	156
80	Elementos de la facturación eléctrica, según EMELNORTE S.A.....	158
81	Costos de demanda de energía eléctrica mensual.....	158
82	Costos de energía eléctrica.....	159
83	Ejemplo de ahorro en bomba. 1.....	160
84	Ejemplo de ahorro en bomba. 2.....	160

85	Flujo de caja interno.....	163
----	----------------------------	-----

## LISTA DE FIGURAS

		Pág.
1	Componentes de una microcentral.....	6
2	Desarenador con depósitos ( $V_H$ de diseño).....	7
3	Esquema de una válvula compuerta.....	8
4	Válvula de tipo Block.....	9
5	Superficie interna de una tubería.....	11
6	Ubicación de la zona del proyecto en la provincia del Carchi.....	15
7	Pueblo pasto, comparte sus costumbres.....	16
8	Trabajos de evaluación en la zona del proyecto.....	18
9	Canales con un área idéntica de sección.....	20
10	Sección transversal del canal de agua.....	21
11	Medida del caudal usando un recipiente de capacidad conocida.....	22
12	Ríobomba.....	28
13	Conjunto turbina tipo Pelton con transmisión por banda en “V”.....	29
14	Ariete hidráulico.....	30
15	Esquema de turbobomba.....	35
16	Turbinas de acción.....	36
17	Turbinas de reacción.....	36
18	Turbina axial.....	38
19	Turbina radial.....	38
20	Turbina tangencial.....	38
21	Esquema de una bomba centrífuga típica.....	39
22	Elementos de una bomba reciprocante.....	40
23	Componentes de obras civiles de una M.C.H.....	41
24	Esquema de la captación de agua.....	42
25	Represa de barraje móvil.....	43
26	Dimensiones de rejillas.....	45
27	Canal de hormigón.....	49
28	Canal trapezoidal.....	52

29	Desarenador (vista lateral).....	56
30	Desarenador (vista de planta).....	58
31	Desarenador y sus dimensiones (vista de corte).....	59
32	Tanque de presión con rejilla.....	63
33	Aliviadero.....	64
34	Tubería de presión (componentes).....	67
35	Muestra cómo los filamentos coloreados se transportan por la corriente de agua en el interior de la tubería.....	70
36	Coeficiente de pérdidas para diferentes formas ingreso de la tubería.....	73
37	Diagrama de cargas en la tubería de presión.....	79
38	Unión espiga-campana.....	84
39	Vista lateral y dimensiones de un anclaje.....	85
40	Rellenos en tubería enterrada.....	89
41	Vista en corte transversal de la casa de maquinas.....	90
42	Volumen de almacenamiento.....	91
43	Curva de variaciones de consumo horario.....	93
44	Ubicación del reservorio de almacenamiento.....	96
45	Forma del reservorio.....	96
46	Válvula de compuerta “SOMEPAL”.....	97
47	Válvula de aire.....	98
48	Válvula antirretorno, HIDROTEN, S.A.....	99
49	Curva de rendimiento de la turbina Michell-Banki.....	103
50	Nomograma para la selección de turbinas.....	105
51	Grafica $H_N$ vs $N_S$ para diferentes tipos de turbinas.....	106
52	Componentes principales de la turbina Michell-Banki.....	107
53	Entradas de agua a la turbina.....	108
54	Diagrama de velocidades de la turbina Michell-Banki para las diferentes etapas de trabajo.....	109
55	Triangulo de velocidades.....	110
56	Inyector de la turbina Banki.....	113
57	Esquema de un sistema de succión negativa.....	117
58	Diagrama para selección de tubería en la succión.....	119

59	Diagrama para selección de tubería en la descarga.....	119
60	Bandas planas.....	127
61	Banda trapecial (sección transversal).....	128
62	Cadena de rodillos.....	129
63	Engranés.....	130
64	Sistema de transmisión (vista frontal).....	131
65	Fuerzas y ángulos de contacto de bandas en disposición normal.....	143
66	Diagrama de flujo de caja.....	164
67	Cálculo del TIR.....	167

## **LISTA DE ABREVIACIONES**

<b>AISI</b>	American Iron and Steel Institute
<b>CONELEC</b>	Consejo Nacional de Electricidad
<b>EMELNORTE S.A.</b>	Empresa Eléctrica Regional Norte Sociedad Anónima
<b>FERUM</b>	Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal
<b>OLADE</b>	Organización Latinoamericana de Energía
<b>RPM</b>	Revoluciones por minuto
<b>ITDG</b>	Intermediate Technology Development Group
<b>MCH</b>	Micro centrales hidroeléctricas



## LISTA DE ANEXOS

- A** Carta geográfica de la zona del proyecto
- B** Valores del coeficiente “n” de rugosidad de Manning
- C** Propiedades de materiales para tuberías
- D** Coeficiente de pérdidas en accesorios de tubería
- E** Propiedades de tubería de presión
- F** Matrices de puntuación
- G** Propiedades físicas del agua
- H** Diagrama de MOODY
- I** Tabla de la presión de vapor del agua
- J** Separaciones entre barrotes, ángulo de inclinación
- K** Catalogo de bomba recíprocante
- L** Presión atmosférica, barométrica y punto de ebullición del agua a varias altitudes
- M** Operación y mantenimiento del sistema de hidrobombeo
- N** Instructivo de servicio Empresa Eléctrica Regional Norte S.A.
- O** Factores de interés compuesto
- P** Tasas de interés vigentes del banco central del Ecuador para el año 2012
- Q** Diseño estructural del reservorio de almacenamiento

## RESUMEN

Se ha DISEÑADO UN SISTEMA DE HIDROBOMBEO PARA LA INDUSTRIA LECHERA “FLORALP” S. A, con la finalidad de aprovechar los recursos hídricos y las condiciones geográficas propias del lugar en base de un estudio que permita la proyección de un equipo hidráulico de bombeo de agua con el fin de transformar la energía de fluido y poder aprovechar dicha energía para bombear parte del caudal de la vertiente existente, hacia un reservorio de almacenamiento. Además del diseño verificativo de los equipos, utilizados en este tipo de sistemas, así como sus características de operación.

Previo a seleccionar un equipo hidráulico de bombeo de agua que remplace el sistema original, se realizó una investigación de los diferentes equipos, existentes en el mercado, para conocer los requerimientos del cliente y a través de ello proponer una máquina que brinde los beneficios en eficiencia y calidad.

Con los resultados obtenidos, la alternativa más adecuada para el bombeo de agua es el equipo turbobomba. Un sistema capaz de funcionar de manera automática y constante sin consumir combustibles o electricidad, únicamente utiliza la potencia transmitida mediante un sistema de transmisión entre la bomba y la turbina seleccionadas.

Con la implementación de este sistema se alcanza la reducción en un 11% de la demanda continua de electricidad presente en la Industria. Además de presentar el valor de la microhidrogeneración como la energía renovable prácticamente gratuita y limpia que en la generación de energía sustituye a la electricidad y a los combustibles de origen fósil.

## **ABSTRACT**

A hydro pumped system for the “FLORALP” S.A Dairy Industry has been designed in order to exploit water resources and geographical conditions of the place, through a study that allows the projection of water pumping hydraulic equipment to transform fluid energy and power, and take advantage of that energy to pump part of the existing spring flow into a storage tank. In addition to the analysis and operational characteristics used in this type of system.

Before selecting hydraulic water pump equipment that replaces the original system, a research about the different equipment on the market was carried out in order to know the customers' requirements and thereby to propose a machine to provide efficiency and quality benefits.

Whit these results, the most suitable alternative for water pumping is the turbo pump. A system that can operate automatically and continuously without consuming fuel or electricity, it only uses the power transmitted by transmission system between the selected pump and turbine.

Whit this system implementation a reduction in 11% of the electricity continue demand will be achieved in the Industry. Besides presenting the micro power generation replaces electricity and fossil fuels.

## **CAPÍTULO I**

### **1. GENERALIDADES**

#### **1.1 Antecedentes**

El uso de las energías renovables se potenció a partir de las crisis de los precios del petróleo de los años setenta. El temor a un hipotético desabastecimiento o a que los precios energéticos crecieran de forma excesiva motivó la puesta en marcha de programas internacionales de investigación y desarrollo de tecnologías de estas energías, así como del fomento de su aplicación.

El mundo y el Ecuador necesitan de energía para su desarrollo, en tal virtud, en las diferentes zonas, se requiere de variadas formas de energía. En la actualidad en la provincia del Carchi, cantón Montufar, ciudad de san Gabriel específicamente en el sector de Matarredonda, cuenta con un importante recurso hídrico el cual no es aprovechado de manera racional e eficiente por sus beneficiarios. Donde se visitaron las fuentes del sector pertenecientes a la Industria Lechera “Floralp S.A.”, detectando que existen grandes posibilidades de utilizar sus aguas, que permitirá diseñar un sistema de hidrobombeo, buscando satisfacer el abastecimiento de agua hacia la misma.

El bombeo de agua y la energía renovable son socios naturalmente compatibles que pueden crear soluciones económicas para cualquier aplicación de bombeo y transporte de agua.

Es por ello que la empresa ha visto la necesidad de efectuar los estudios técnicos y de dimensionamiento de un sistema de hidrobombeo, que preste un funcionamiento preciso y seguro para sus usuarios, y sea capaz de cumplir con los requerimientos de la demanda agua que actualmente son requeridos por la planta industrial del sector, con el fin de aprovechar los recursos hídricos existentes y por ende se garantice un adecuado abastecimiento de agua hacia las diferentes actividades de la industria en la zona.

## **1.2 Justificación técnico–económica**

A nivel nacional se evidencia la problemática actual del sistema energético, el crecimiento de la demanda de energía requiere que se planteen alternativas eficaces que permitan cubrir este déficit energético.

En nuestro país, el desarrollo a corto plazo se encuentra definido en el Plan de Energías Renovables, que propone algunas medidas para solucionar los problemas derivados de la instalación y aprovechamiento de nuestros recursos: coordinar y racionalizar los criterios de impacto ambiental entre las organizaciones, actualizar la normativa de conexión a la red o la realización de campañas de información sobre las bondades de la utilización de energías renovables.

Las fuentes alternas de energía representan potenciales energéticos abundantes, gratuitos y ecológicamente limpios, por ello la necesidad de incursionar en el diseño de equipos de captación de fuentes alternas de energía, particularmente de las provenientes del agua, sol, viento, etc., como fuentes energéticas útiles, así como su obtención y uso eficiente en sistemas y equipos energéticos.

En base a la alta demanda energética de la Industria Lechera “Floralp S.A.”, surge la necesidad de contar con un sistema de hidrobombeo, que ayude en la reducción del consumo de energía eléctrica del sector, cuya generación aportaría de cierta forma a su demanda, el mismo se pretende sea autosustentable, y así aportar energía limpia y renovable a la Industria.

El proyecto está encaminado en aprovechar los recursos hídricos y las condiciones topográficas del lugar con el fin de transformar la energía de fluido y poder aprovechar dicha energía para bombear parte del caudal de agua de la vertiente existente, hacia un lugar de mayor altura de donde se distribuirá el agua hasta la planta industrial para ser utilizada en sus diferentes procesos productivos.

En la producción de energía hidráulica, no hay problemas de contaminación puesto que es una energía limpia y no contaminante al medio ambiente, al no ser energía tradicional evitamos la producción de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, etc., que son el resultado de la quema de combustibles tradicionales.

Al ser el agua una fuente renovable de energía y gratuita, al implementar una fuente de producción de energía hidráulica se habla de que estamos produciendo energía gratis y no contaminante, ya que la energía tradicional tiene un costo de (0,055 a 0,<sup>1</sup>1) USD/kw-h, lo cual representa un ahorro significativo en el consumo energético de la empresa interesada en la búsqueda nuevas alternativas como fuente de energía para la producción.

### **1.3      Objetivos**

**1.3.1**    *Objetivo general.* Diseñar un sistema de hidrobombeo para la industria lechera “Floralp S. A”.

#### **1.3.2**    *Objetivos específicos*

Realizar una investigación bibliográfica sobre el hidrobombeo.

Analizar y cuantificar el recurso hídrico en la zona.

Realizar los estudios técnicos y de dimensionamiento de los equipos de conversión de la energía hidráulica en mecánica.

Efectuar los estudios técnicos de captación, conducción y obras civiles del proyecto de hidrobombeo como propuesta de bombeo para la Industria.

Seleccionar las maquinas hidráulicas, accesorios e implementos que garanticen un funcionamiento adecuado del sistema.

Determinar la factibilidad de implementar un sistema de energía hidráulica en la Industria Lechera Floralp S.A.

Analizar la factibilidad económica del proyecto.

## CAPÍTULO II

### 2. INTRODUCCIÓN

#### 2.1 Revisión bibliográfica

**2.1.1** *Energía.* Se puede entender como concepto de energía a la capacidad que tiene un cuerpo, sistema de producir movimiento, trabajo, desplazamiento.

La materia posee energía como resultado de su movimiento o de su posición en relación con las fuerzas que actúan sobre ella. La energía es hoy más que nunca uno de los ejes centrales de las relaciones internacionales tanto por sus implicaciones estratégicas como medioambientales.

**2.1.1.1** *Energía e industria.* Las acciones para el uso racional de la energía han hecho que la opinión pública tome conciencia de la relación entre consumo de energía y medio ambiente. Estas actividades comenzaron en Estados Unidos de América y de ahí se difundieron a Canadá y Europa Occidental; a principios de esta década tomaron fuerza en Latinoamérica y Asia.

Algunos de los principales hechos para un uso racional de la energía son los programas de normalización de las eficiencias energéticas, los incentivos económicos, distintos mecanismos como la administración de la demanda y el etiquetado de productos que, en conjunto, han generando un mercado de productos eficientes que ayudan a disminuir la tasa de crecimiento de la demanda de energía. [13]

**2.1.1.2** *Energía hidráulica.* Es aquella energía que se obtiene de la caída del agua desde cierta altura a un nivel inferior lo que provoca el movimiento de ruedas hidráulicas o turbinas.

En la actualidad es la energía renovable más utilizada que promete mejoras estratégicas en la seguridad del abastecimiento, reducen la inestabilidad de los precios a largo plazo y como la solución a los problemas ecológicos que surgen de la utilización de otras fuentes de energía. [9]

**2.1.2** *El agua.* El agua es el elemento más abundante de la superficie terrestre constituye el 70 % de nuestro planeta y está dispersa en océanos, lagos, mares, ríos y casquetes polares. Las principales fuentes de agua para uso humano está en lagunas, ríos y subsuelo que representan el 0.35 % del agua total.

**2.1.2.1** *Beneficios.* Es uno de los elementos indispensables de la vida tanto humana, animal y vegetal, es decir es un recurso necesario para los seres vivos. Además de ser usada para hacer trabajo, la energía potencial y cinética del agua puede ser transformada, ya sea en eléctrica o mecánica. La energía del agua es abundante, renovable, limpia, y mitiga los efectos de invernadero provenientes de la energía derivada de fuentes fósiles, el efecto acumulado de todos estos beneficios constituye un solido argumento a favor del apoyo hacia este tipo de energía.

**2.1.2.2** *Impactos.* Anteriormente el agua se utilizaba como vehículo para transportar cualquier tipo de desecho, pero con el crecimiento de la población y la industria es un error utilizarla para este fin, por lo que hay que tomar providencias. Lo que interesa además de la cantidad del agua es su calidad para los diversos usos, particularmente el humano.

## **2.2 Hidrobombeo**

Las centrales de hidrobombeo captan la energía cinética y potencial del agua convirtiéndolas en energía eléctrica o mecánica. Este tipo de planta se caracteriza por no disponer de un embalse; en tal sentido el caudal es tomado directamente del recurso hídrico mediante una bocanada que se comunica con un canal, encargado de conducir el caudal con una pequeña pendiente hasta el lugar donde se obtiene la caída necesaria para obtener la potencia requerida; es este lugar donde se encuentra un tanque de presión y un desarenador que une el canal con la tubería de presión, encargada de llevar el caudal hasta la turbina. [10]

## **2.3 Principio de funcionamiento del hidrobombeo**

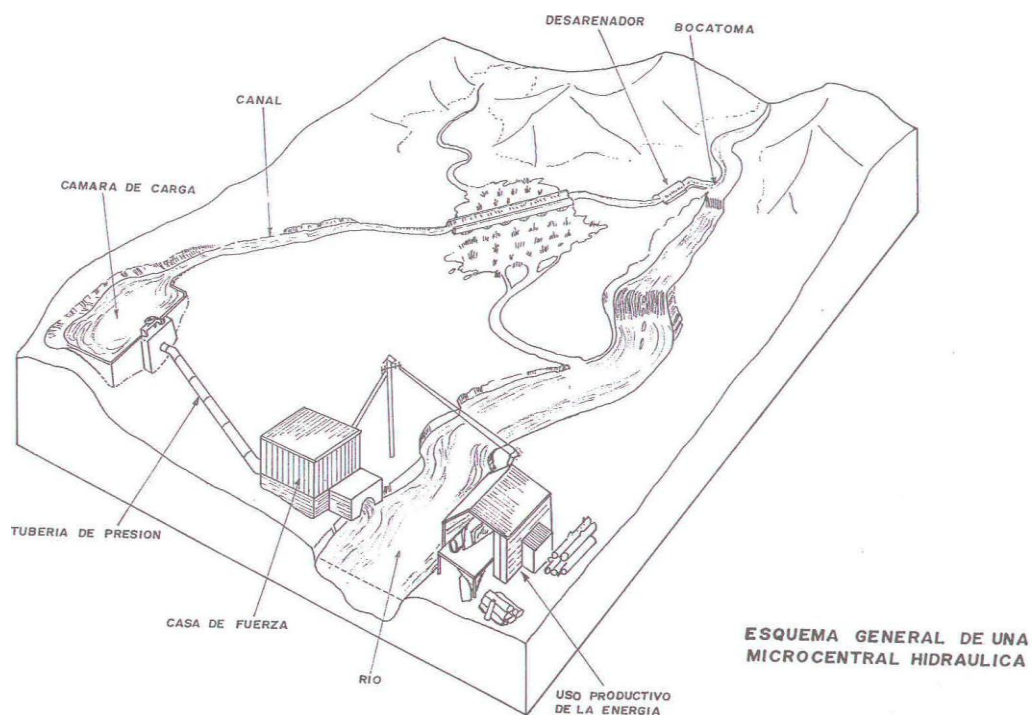
El principio es sencillo: el agua captada a cierta altura posee una energía potencial, y cuando esta agua cae puede emplearse en equipos para funcionar de manera automática



y constante sin consumir combustibles o electricidad. Este trabajo permite bombear agua desde el depósito inferior al depósito ubicado a mayor altura. [10]

**2.3.1 Componentes principales del hidrobombeo.** Los principales componentes de las obras civiles en un micro central hidráulica (M.C.H) son: Bocatoma, canal de demasías y vertedero, desarenador, canal de conducción, canales, cámara de carga-desarenador, tubería de presión, casa de fuerza y canal de descarga. Estos se pueden apreciar en el esquema de la figura 1.

Figura 1. Componentes de una microcentral



Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

Existen, por supuesto, muchas variaciones para este tipo de diseño, variantes que dependerán de las características del lugar particular, de los requerimientos del usuario y los costos.

**2.3.2 Sistematización del hidrobombeo** [11]. En este punto se hará una breve reseña sobre los equipos que se utilizarán para el correcto funcionamiento del sistema de hidrobombeo. Así tendremos una idea general de los componentes de dicho sistema:

**2.3.2.1 Captación.** Suelen caracterizarse principalmente por el caudal a captar, el que se define como el gasto máximo que una obra de toma puede admitir aprovechando la fuerza de la gravedad.

**2.3.2.2 Obra de Conducción.** Se encarga de conducir el caudal desde la captación hasta el tanque de presión, posee una pequeña pendiente; en la mayoría de los casos suele ser un canal, aunque también en túnel o una tubería.

**2.3.2.3 Sistemas de tuberías.** En el recorrido que realiza el fluido no siempre se encuentra con un mismo caudal ni con una presión constante, por ello se utiliza dos tipos de tuberías en toda instalación las tuberías de alta presión y de baja presión.

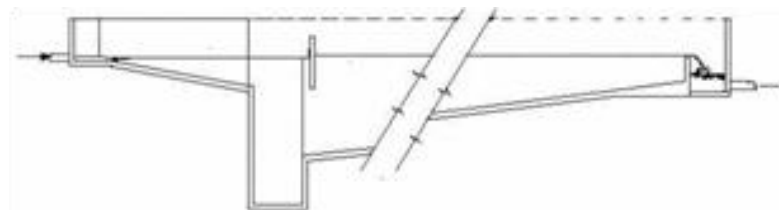
*Tubería de alta presión.* Soporta hasta 5000 psi, y se utiliza para la conducción del fluido desde la vertiente hasta la casa de maquinas, el resto de tubería que se utiliza en la completación definitiva es también de alta presión.

*Tubería de baja presión.* Tienen márgenes de resistencia menores 5000 psi, se encuentra instalada desde la casa de maquinas hasta la estación de almacenamiento.

La elección de los diámetros depende del cálculo hidráulico. Lo haremos más adelante.

**2.3.2.4 Desarenador.** Sirve para interceptar solidos como arena, sedimentos de muy pequeño diámetro y partículas de material solidó suspendidas en el agua, donde son retenidas debido a la reduccion de la velocidad de agua, con ello estas partículas de fango muy fino caen al fondo del estanque, para luego ser removidas.

Figura 2. Desarenador convencional



Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

**2.3.2.5 Sistemas de bombeo.** Son bombas de agua que funcionan en base a energía hidráulica que aseguran suministros de agua, reduciendo los costos de electricidad o

combustible, minimizando el impacto al ambiente. Dentro de las líneas del hidrobombeo los sistemas de bombeo más eficientes y utilizados son:

Ariete hidráulico

Ríobomba y

Turbobomba

Los cuales permiten adaptarse a distintas condiciones de trabajo.

**2.3.2.6 Tanque de presión.** En esta obra, la velocidad del agua es prácticamente cero, empalma con la tubería de presión, sus dimensiones deben garantizar que no ingresen burbujas de aire en la tubería de presión, permitir el fácil arranque del grupo turbina-generador y amortiguar el golpe de ariete.

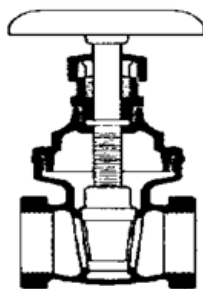
**2.3.2.7 Reservorio de almacenamiento.** Corresponde a la obra civil final de la instalación, este se diseña en dependencia del máximo caudal bombeado y según la utilidad del agua, desde este depósito el agua se distribuye hacia los diferentes lugares de consumo.

**2.3.2.8 Otros elementos.** Válvula, reguladores, volante, uniones, barraje, etc.

*Válvulas de paso.* Las válvulas que conforman un circuito no son iguales aunque su principio es similar de apertura y cierre, las más utilizadas son:

*Válvulas de compuerta.* Cierra con varias vueltas (Sentido antihorario).

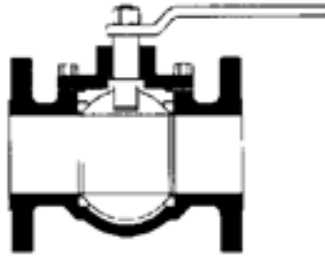
Figura 3. Esquema de una válvula compuerta



Fuente: Crane, Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías

*Válvulas de tipo Block.* Es de rápida acción sirven para aperturas y cierre rápidos, su trabajo es en apertura y cierre con giro a 90°.

Figura 4. Válvula de Tipo Block



Fuente: Crane, Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías

*Uniones.* Las tuberías vienen en longitudes estándares y deben ser unidas entre sí, para escoger el mejor método de unión se deben considerar los siguientes aspectos: adecuación al material de tubería seleccionada, grado de flexibilidad requerido en las uniones, costos relativos, grado de dificultad de la instalación.

Los diferentes tipos de uniones pueden ser:

Uniones con bridas

Uniones espiga-campana

Uniones mecánicas y

Uniones soldadas

## 2.4 Conceptos básicos para el cálculo hidráulico. [9]

**2.4.1** *Numero de Reynolds.* Gracias a las investigaciones de Osborne Reynolds se demostró que el régimen de flujo en tuberías, ya sea laminar (El fluido se desplaza en capas paralelas, sin corrientes transversales) o turbulento (Movimiento irregular e indeterminado) de las partículas del fluido, depende del diámetro de la tubería, de la densidad y la viscosidad del fluido con que el flujo atraviesa la tubería.

El valor numérico obtenido por una combinación adimensional de las cuatro variables mencionadas, se conoce como Numero de Reynolds, y se puede considerar como la relación de las fuerzas dinámicas la masa del fluido respecto a los esfuerzos de deformación ocasionados por la viscosidad. Así tenemos el Número de Reynolds, es:

$$Re = d.v.\rho/\mu \quad (1)$$

En el régimen turbulento la pérdida de carga es más elevada que en régimen laminar. Un efecto de este régimen es una distribución de las velocidades más uniforme, esto se debe a los intercambios de cantidad de movimiento entre las partículas rápidas y las partículas más lentas situadas cerca de las paredes.

A partir del número de Reynolds pueden definirse tres regímenes de flujo:

Régimen laminar: si  $Re < 2000$

Régimen Crítico: si  $2000 < Re < 4000$

Régimen Turbulento: si  $Re > 4000$

**2.4.2** *Fórmula de Darcy-Weisbach.* El flujo de los fluidos a través de tuberías ocasiona pérdidas en la energía disponible, debido a la fricción de las partículas entre sí.

La fórmula de Darcy es de uso universal en el mundo entero en los libros y formularios de hidráulica, utilizada para calcular las pérdidas de carga y se expresa en metros de fluido, es:

$$h_{rp} = \frac{\lambda * L_t * V_T^2}{2 * g * D} \quad (2)$$

Donde:

$h_{rp}$  = Pérdidas de energía, en m.

$\lambda$  = Factor de fricción de la tubería.

$L_t$  = Longitud de tubería, en m.

$D$  = Diámetro de la tubería, en m.

$V_T$  = Velocidad del agua, en m/s.

$g$  = Aceleración de la gravedad, en  $m/s^2$ .

**2.4.2.1** *Factor de fricción de la tubería,  $\lambda$ .* El factor  $\lambda$  de fricción en la ecuación de Darcy-Weisbach es un valor adimensional, el cual depende los siguientes parámetros:

Velocidad,  $v$

Diámetro interior de la tubería,  $D_i$

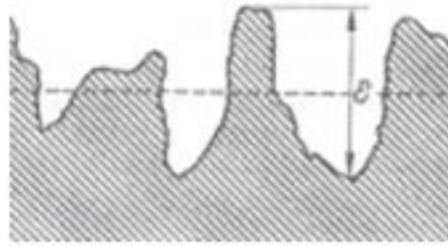
Densidad,  $\rho$

Viscosidad,  $\mu$  y

Rugosidad  $\epsilon$ , la cual, puede expresarse en unidades de longitud

En la figura 5 se observa, microscópicamente la rugosidad de la tubería,  $\epsilon$ .

Figura 5. Superficie interna de una tubería



Fuente: Riofrio, Pacifico. Micro Hidroenergía

Así tenemos el factor  $\lambda = f(v, D, \rho, \mu, k)$ , siendo adimensional, la función de la ecuación es una función de variables adimensionales, en efecto, el análisis dimensional lo demuestra.

$$\lambda = f\left(\frac{\rho \cdot v \cdot D_i}{\mu}, \frac{\epsilon}{D_i}\right) \quad (3)$$

Donde:

$$\frac{\epsilon}{D_i} = \text{Rugosidad relativa}$$
$$\frac{\rho \cdot v \cdot D_i}{\mu} = \text{Número de Reynolds}$$

En el caso más general, coeficiente adimensional  $\lambda$ , de pérdida de carga es función de dos variables adimensionales: Número de Reynolds y la Rugosidad relativa.

$$\lambda = f(\text{Re}, \epsilon/D) \quad (4)$$

En régimen turbulento: con número elevado de Reynolds:  $\lambda = f(\epsilon/D)$ , no es función del número de Reynolds.

En régimen laminar:  $\lambda = f(\text{Re})$ , no es función de la rugosidad ( $\epsilon/D$ ).

## **CAPÍTULO III**

### **3. NECESIDADES Y ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO**

Los requerimientos y especificaciones para el diseño y fabricación del equipo deben sustentarse y fundamentarse en el equipo de bombeo a utilizar para la apropiación tecnológica, donde las especificaciones deben estar basadas en los equipos empleados.

#### **3.1 Objetivo de la investigación**

Obtener parámetros que guíen la construcción del equipo mediante la utilización de energía hidráulica y aseguren que la producción final cuente con todos los requerimientos que lo hagan competitivo con otras formas de energía convencionales, cumpliendo sus requerimientos de diseño.

#### **3.2 Necesidades del cliente**

El cliente requiere que el sistema de hidrobombeo satisfaga sus necesidades energéticas especificadas en su diseño, que el ahorro de energía que produzca el sistema este dentro de las condiciones requeridas y finalmente que el agua que proceda de este sistema se encuentre en excelente estado para asegurar las condiciones sanitarias, el producto debe satisfacer las necesidades del usuario.

#### **3.3 Estudio de restricciones y limitaciones**

Para llevar a cabo el desarrollo del presente proyecto de una manera óptima, se han definido las siguientes restricciones y limitaciones:

El costo no debe exceder los 10000 USD, ya que este es un valor bajo respecto a los sistemas de similares características que se encuentran dentro del mercado.

El número de bombas no debe exceder de dos en el bombeo de agua hacia el estanque de acumulación, ya que al incrementarlos se eleva el costo del proyecto.

El caudal que ingresará a la turbina deberá estar libre de impurezas ya sean piedras y palos ya que ocasionarán daños a los equipos.

### **3.4 Especificaciones del producto**

**3.4.1** *Parámetros funcionales.* Dentro de los principales parámetros que influyen en el diseño de la máquina, se consideran los siguientes, teniendo estos una aproximación:

Velocidad de rotación de la bomba:  $n \approx 250$  rpm

Capacidad nominal de bombeo:  $C_m \approx 1500$  litros de agua/h

Potencia requerida:  $P \approx 1,00$  Hp

Caudal:  $Q \approx 0,03$  m<sup>3</sup>/s

Altura neta:  $H \approx 4,50$  m

**3.4.2** *Ambiente de trabajo.* La máquina debe trabajar bajo techo para así evitar la corrosión de sus elementos constitutivos, así como también se consideran:

Altitud: a nivel de la Sierra Norte del país se encuentra a los 2770,80 msnm

Temperatura ambiental de trabajo: varía de 12 - 20 °C

Humedad relativa del lugar de trabajo: es de 70 - 80 %

**3.4.3** *Vida útil.* La máquina en sí debe ser diseñada para que todos sus elementos en especial los más crítico, tengan una vida útil de 15 años y con ello obtener repercusiones económicas interesantes. Este valor dependerá también de las condiciones de trabajo, por ejemplo del tiempo de producción, cantidad de producción, y del cuidado a través de un control adecuado de mantenimiento que se brinde a la máquina, principalmente en los elementos que están sometidos a desgaste y vibraciones.

Los parámetros fundamentales que determinan la vida útil del producto son los tipos de materiales empleados en el diseño y la construcción, así como el grado de instrucción del operador al momento de su manipulación.

**3.4.4** *Tamaño y peso.* Una apreciación en las dimensiones extremas acerca del tamaño de la máquina son: Ancho 1,2 m; longitud 2 m; altura 1,5 m; requiere de un área cubierta que brinde comodidad. El peso neto aproximado se considera de 1100 Kg.

**3.4.5** *Materiales.* La selección de los materiales que se requiere para su construcción, específicamente varían de acuerdo al tamaño de la máquina, entre los cuales podemos citar los principales: acero ASTM A36, tubería para presión de PVC, accesorio de diferentes catálogos, entre otros. Se realiza un estudio previo de los materiales



existentes en el mercado, los diferentes proveedores y distribuidores o empresas afines a este proyecto.

**3.4.6** *Procesos.* Se describen varios procesos constructivos en los cuales se indican detalles importantes de los elementos constitutivos de la máquina. La fabricación del sistema de hidrobombeo accionado mediante energía hidráulica requiere de procesos como: trazado, corte manual y mecánico, torneado, fresado, soldado, limado, esmerilado, forjado, taladrado, rectificado, pintado, etc. Todos estos procesos se los puede realizar en cualquier taller mecánico o fábricas de la construcción que cuenten con la infraestructura adecuada, por lo tanto no se tiene ninguna dificultad en el momento de su construcción.

## CAPÍTULO IV

### 4. DESCRIPCIÓN GENERAL Y PARÁMETROS DE DISEÑO

#### 4.1 Descripción general de la zona del proyecto

##### 4.1.1 Ubicación geográfica de la zona del proyecto

País: Ecuador  
Provincia: Carchi  
Cantón: Montufar  
Parroquia: Chitan de Navarretes  
Sector: Matarredonda

El proyecto, se encuentra situado en la zona Norte del pasillo interandino, en la parroquia rural Chitan de Navarretes, en la provincia del Carchi, la ubicación de la zona del proyecto dentro del territorio provincial se puede apreciar en la figura 6.

Figura 6. Ubicación de la zona del proyecto en la provincia del Carchi



Fuente: Dirección de Planificación – Gobierno Provincial del Carchi

**4.1.2 Aspectos físicos de la zona del proyecto.** Según el mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador, el área del proyecto se encuentra dentro de la Región Seco Templado, con elevaciones de entre 2000 y 3000 msnm, registra una temperatura media anual entre 12 y 20 °C y una precipitación superior a 200 mm, pero inferior a 500 mm.

**4.1.3 Estudio socio económico de la zona del proyecto.** [17]

**4.1.3.1 Aspecto económico.** La comunidad está compuesta por 75 habitantes cuya actividad económica principal a la que se dedica la comunidad es la ganadería, agricultura y la crianza de animales menores, por falta de infraestructura y asistencia de organismos de gobierno han optado por buscar otras fuentes de ingreso en ciudades, ocasionando la migración temporal de sus habitantes.

**4.1.3.2 Aspectos socio culturales.** La comunidad está constituida en su totalidad de pobladores de nacionalidad mestizos hablantes de español, que practican tradiciones y costumbres ancestrales como la minga en asuntos comunales en eventos como siembras, cosechas, construcción de viviendas, entre otras. Sus construcciones tradicionales han dado paso a la influencia de la ciudad y se observa construcciones mixtas madera y ladrillo, en los hogares con mejor situación económica son de cemento armado.

Su vestimenta se encuentra confeccionada con prendas como faldas de lana y largas, muy similar a los campesinos que habitaban hoy este territorio, además de la infaltable “ruana” o poncho para protegerse del frío; sin embargo y por las figuras de cerámica encontradas se habla también de que en los hombres la vestimenta ha cambiado, con relación a los guerreros que utilizaron taparrabos en especial para las guerras.

Figura 7. Donde el Pueblo Pasto, comparte sus costumbres



Fuente: Dirección de Cultura – Gobierno Provincial del Carchi

**4.1.3.3 Servicios básicos.** La comunidad cuenta con un sistema de agua potable con conexiones a cada uno de los hogares, no cuenta con un sistema de alcantarillado, y las viviendas cuentan con energía eléctrica.

**4.1.3.4 Infraestructura educativa.** Esta comunidad cuenta con las siguientes instituciones educativas como: Una escuela fiscal y guardería infantil.

## **4.2 Caudal de demanda**

Un dato importante dentro de la proyección del nuevo sistema de abastecimiento de agua, es considerar la población a la que tiene que abastecerse, por lo que es necesario realizar su proyección tomando en cuenta el periodo de diseño considerado por la EMAPA-M y consecuentemente la cantidad de agua de abastecimiento para dicha población.

**4.2.1 Dotación.** La dotación es el consumo diario de agua, que sirve para calcular los caudales de diseño.

### **4.2.1.1 Dotación de agua para usos industriales**

En muchos procesos industriales se requiere agua potable; esto sucede en todas las industrias dedicadas a la elaboración de productos.

*Industrias en general.* La dotación de agua, en las industrias en general esta determinada por recomendaciones indicadas en la tabla 1.

Tabla 1. Nivel de servicio para sistemas de abastecimiento de agua en industrias

<b>Industrias en general.</b>	
Tipo de consumo	Dotación
Humano	80 litros por operario o empleado, por cada turno de 8 horas o fracción.
Industrial	Debe calcularse de acuerdo con la naturaleza de la industria y sus procesos de manufactura.

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

Esta dotación debe ser comprobada por las autoridades sanitarias y de la empresa.

*Plantas lecheras y sus anexos.* La tabla 2, muestra la dotación de agua en plantas lecheras y sus anexos.

Tabla 2. Nivel de servicio para sistemas de abastecimiento de agua en plantas lecheras

<b>Plantas lecheras y sus anexos.</b>	
Edificación	Dotación
Estaciones de recibo y enfriamiento.	1.500 litros por cada 1.000 litros de leche a procesar por día.
Fabricación de mantequilla, queso y leche en polvo	1.500 litros por cada 1.000 litros de leche a pasteurizar por día.
Plantas pasteurizadoras.	1.500 litros por cada 1.000 litros de leche a pasteurizar por día.

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

De esta tabla, y de datos otorgados por funcionarios de la industria se desprende que el número óptimo de litros a dotar está comprendido entre los 20000 - 30000 litros/día para nuestro caso consideraremos el máximo 30000 litros/día.

#### **4.3 Evaluación del recurso aprovechable**

Para obtener información acerca del potencial que puede aportar el recurso, el siguiente paso es hacer una evaluación del potencial de generación de energía en la zona. La capacidad de generación de energía mediante el empleo de agua esta determinada por el salto o caída (energía potencial) que se pueda obtener y del caudal disponible.

Figura 8. Muestra trabajos de evaluación en la zona del proyecto



Fuente: Autor

**4.3.1** *Medición del salto.* Esta variable se refiere a la distancia vertical existente entre las diferentes cotas, creada desde la captación hasta el sitio en el terreno en cual se ubicara la sala de maquinas, medida en metros.

Al incrementar la altura, resulta mayor la incidencia sobre la potencia que puede entregar un caudal de agua, cuyo valor medido es de 4,7 metros.

Otro dato importante a determinar es la altura de bombeo.

**4.3.2** *Medición de la altura de bombeo.* Viene a hacer la diferencia de altura entre, el nivel de la sala de máquinas y el reservorio de almacenamiento, siendo esta de 12,15 metros.

**4.3.3** *Medición del caudal* [2]. Para determinar la cantidad de agua que pasa por un cause, los métodos de medición de caudal aquí empleados son:

**4.3.3.1** *Método de Velocidad/Superficie.* Este método depende de la medición de la velocidad media de la corriente y del área de la sección transversal del canal, calculandose a partir de la fórmula:

$$Q = A \times V \times 0,75 \quad (5)$$

Dónde:

$A$ = Área promedio de la sección transversal, en  $m^2$ .

$V$ = Velocidad superficial promedio del agua, en m/s.

0,75= Es un factor que tiene en cuenta la diferencia de velocidades de agua en los diversos puntos de la sección analizada.

Este producto es igual al valor del caudal volumétrico  $Q$ , en  $m^3/s$ .

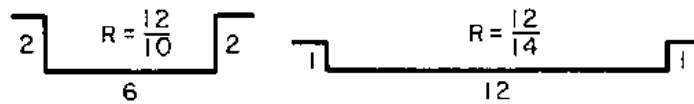
*Cálculo de la velocidad.* La velocidad del agua que se desliza en una corriente o en un canal abierto está determinada por varios factores:

*Gradiente o pendiente.* Si todos los demás factores son iguales, la velocidad de la corriente aumenta cuando la pendiente es más pronunciada.

*La rugosidad.* El contacto entre el agua y los márgenes de la corriente causa una resistencia (fricción) que depende de la suavidad o rugosidad del canal. En las corrientes naturales la cantidad de vegetación influye en la rugosidad al igual que cualquier irregularidad que cause turbulencias.

*Forma.* El parámetro utilizado para medir el efecto de la forma del canal se denomina radio hidráulico del canal. La figura 9, muestra cómo los canales pueden tener la misma superficie de sección transversal pero un radio hidráulico diferente.

Figura 9. Canales con área idéntica de sección



Fuente: Crane, Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías

*Cálculo del Radio hidráulico,  $R_H$ .* Se define como la superficie de la sección transversal dividida por el perímetro mojado, o sea la longitud del lecho y los lados del canal que están en contacto con el agua.

$$R_H = \frac{S}{P} \quad (6)$$

Donde:

$S$ = Superficie de la sección transversal de la vena líquida, en  $m^2$ .

$P$ = Perímetro mojado, en m.

Remplazando tenemos:

$$S = 0,440 - 0,0052 = 0,0388 \text{ m}^2$$

$$P = 0,345 + 0,180 = 0,525 \text{ m}$$

Finalmente tenemos:

$$R_H = \frac{0,03880}{0,525} = 0,0739 \text{ m}$$

Todas estas variables que influyen en la velocidad de la corriente se han reunido en una ecuación conocida como la fórmula de Manning, tal como sigue:

$$V = \frac{R_H^{2/3} * S^{1/2}}{n} \quad (7)$$

Dónde:

$V$ = Es la velocidad media de la corriente en, (m/s).

$R_H$ = Es el radio hidráulico en, (m).

$S$ = Es la pendiente media del canal en metros por metro, la pendiente= 2 % ó 0,002 m.

$n$ = Coeficiente rugosidad de Manning. En (ANEXO B), se figuran algunos valores correspondientes al flujo de canales.

$$V = \frac{0,0739^{2/3} * 0,02^{1/2}}{0,018}$$

La velocidad,  $V$  es.

$$V = 1,386 \text{ m/s}$$

*Determinación de la Sección transversal del riachuelo.* Para determinar la sección transversal, se tomaron las longitudes  $A$ , profundidades  $h$  de la sección del riachuelo, que determinan la configuración de la sección del canal.

Figura 10. Sección transversal del canal de agua



Fuente: Autor

Dónde:

$h$ = Profundidad, en m.

$A$ = Es el ancho del canal, en m.



El área de la sección transversal del riachuelo esta dada por:

$$A = b \times h \quad (8)$$

$$A = (0,4 \times 0,11) = 0,002596$$

El área promedio de la sección transversal del riachuelo es  $A= 0,0414 \text{ m}^2$ .

Obteniendo el volumen de agua estimado que fluye por el riachuelo.

$$Q = A \times V$$

$$Q = 0,0414 \text{ m}^2 \times 1,386 \text{ m/s}$$

$$Q = 57,385 \text{ l/s}$$

**4.3.3.2 Método del recipiente.** Es una forma sencilla y exacta de medir el caudal, es desviando hacia un recipiente determinado todo el caudal y se anota el tiempo que se tarda en llenarlo, el volumen del recipiente que se conoce y el resultado del caudal se obtiene dividiendo este volumen de agua recogido por el tiempo de llenado, ver figura 11.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (9)$$

Figura 11. Medida del caudal usando un recipiente de capacidad conocida



Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

Esta operación puede repetirse varias veces y se promedia, con el fin de asegurar una mayor exactitud, como indica la tabla 3.

Tabla 3. Registros de los caudales medios mensuales

<b>Caudales aforados.</b>			
<b>Día</b>	<b>Noviembre Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Diciembre Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Enero Q (m<sup>3</sup>/s)</b>
1	0,0400	0,0410	0,0402
2	0,0449	0,0492	0,0399
3	0,0461	0,0413	0,0403
4	0,0400	0,0435	0,0405
5	0,0449	0,0409	0,0399
6	0,0461	0,0361	0,0391
7	0,0400	0,0385	0,0389
8	0,0449	0,0375	0,0395
9	0,0461	0,0362	0,0399
10	0,0400	0,0399	0,0399
11	0,0449	0,0386	0,0386
12	0,0461	0,0374	0,0389
13	0,0400	0,0376	0,0399
14	0,0449	0,0390	0,0390
15	0,0461	0,0401	0,0401
16	0,0400	0,0397	0,0397
17	0,0449	0,0404	0,0404
18	0,0461	0,0389	0,0400
19	0,0400	0,0390	0,0396
20	0,0449	0,0379	0,0399
21	0,0461	0,0381	0,0411
22	0,0400	0,0390	0,0403
23	0,0449	0,0399	0,0419
24	0,0461	0,0385	0,0405
25	0,0400	0,0400	0,0399
26	0,0449	0,0409	0,0499
27	0,0461	0,0411	0,0399
28	0,0400	0,0402	0,0392
29	0,0449	0,0419	0,0409
30	0,0461	0,0401	0,0411

Fuente: Autor

El caudal medio a considerar es:

$$Q \approx 40 \text{ l/s}$$

**4.3.3.3** *Determinación del caudal de diseño.* Para determinar el caudal de diseño del proyecto se debe considerar adicionalmente los siguientes caudales:

*Estimación de los caudales de avenida y estiaje.* Los caudales máximos de avenida, se originan debido a las lluvias intensas en la zona. Además mencionar que hasta el lugar de la captación, llegan aguas de afluentes cercanas a la comunidad. Caso contrario ocurre con los caudales mínimos o de estiaje.

Para la estimación de estos caudales, lo recomendable es recoger información de los pobladores del lugar acerca de los niveles máximos y mínimos alcanzados en el cauce de la vertiente, además se debe buscar rastros o huellas dejados por alguna crecida o disminución, en años anteriores y contrastarlos con la información recogida.

Para lo cual hemos estimado que en épocas de lluvias el caudal máximo de avenida puede llegar a cuadruplicarse.

$$Q_a = 4 * Q_m \quad (10)$$

$$Q_a = 4 * 40 = 160 \text{ l/s}$$

Mientras que en épocas de estiaje el caudal mínimo puede considerarse entre 20 a 30 %, en la disminución del caudal medido.

$$Q_s = Q_m - 0,3 * Q_m \quad (11)$$

$$Q_s = 40 - 0,3 * 40 = 28 \text{ l/s}$$

*Estimación del caudal ecológico.* El caudal ecológico es aquel que debemos mantener en el riachuelo para que no se degrade la biodiversidad propia del curso en cuestión, este caudal debe ser el adecuado para asegurar el cumplimiento de las funciones y servicios ecológicos del medio acuático (como lo son la mineralización, asimilación, entre otros).

Para evitarlo, la autorización para derivar agua va siempre acompañada de la obligación de mantener cierto caudal.

Según países o regiones se ha estimado entre un 10 – 15 % del caudal mínimo como caudal ecológico.

$$Q_e = 0,15 * Q_s \quad (12)$$

$$Q_e = 0,15 * 28 = 4,2 \text{ l/s}$$

Finalmente para determinar el caudal de diseño, del proyecto debe considerarse el caudal ecológico, donde tenemos:

$$Q_d = Q_s - Q_e \quad (13)$$

$$Q_d = 28 - 4,2 = 23,8 \text{ l/s}$$

## CAPÍTULO V

### 5. DIMENSIONAMIENTO Y DISEÑO DE EQUIPOS

La proyección de los equipos energéticos en general tiene su sustento en la determinación de dos factores, para el conocimiento de la dimensión característica de los equipos o sistema, en el caso de energía solar el área de los paneles solares, el diámetro de la turbina, en el caso de la energía hidráulica: [13]

1. Recurso energético disponible
2. Necesidad ó demanda energética

Identificados estos dos parámetros se puede confrontar a los mismos y buscar una alternativa de equipo de transformación de energía, sea este de carácter solar, eólico, hidráulico o híbrido.

#### 5.1 Equipos hidráulicos

Para la generación eléctrica o mecánica mediante el aprovechamiento de las energías potencial y cinética del agua, se requiere de la utilización de equipos mecánicos conocidos como turbinas hidráulicas, las que deben ser seleccionadas de acuerdo a lo descrito anteriormente y su proyección se fundamenta en lo planteado.

**5.1.1 Recurso energético disponible.** El recurso energético disponible será la potencia que puede entregar un caudal de agua que posea una caída adecuada (salto hidráulico neto), determinado por:

$$P_d = \rho * g * Q * H \quad (14)$$

Donde:

$P_d$ = Potencia disponible, en W.

$\rho$ = Densidad del agua, 1000 kg/m<sup>3</sup>.

$g$ = Aceleración de la gravedad 9,8 m/s<sup>2</sup>.

$Q$ = Caudal de agua, en m<sup>3</sup>/s.

$H$ = Altura disponible, en m.

**5.1.2 Necesidad ó demanda energética.** La necesidad energética será evaluada mediante la suma de la energía requerida por los demás equipos en un determinado tiempo (potencia requerida).

Al compatibilizar los dos factores anotados se puede concluir que tipo de instalación y equipo se requiere para determinado fin.

## **5.2 Equipos de transformación de energía hidráulica**

Existen variedad de equipos y sistemas de transformación de energía hidráulica, que serán analizados en sus características básicas, y que su estudio, diseño, proyección, construcción, funcionamiento están relacionados con las ciencias de la ingeniería mecánica.

En el Ecuador existen al momento empresas distribuidoras de equipos de transformación de energías renovables, a pequeña y mediana escala, que son representaciones del mundo globalizado de la tecnología y economía, pero también existen esfuerzos marcados de empresarios y centros de producción y estudio ligados a las universidades y politécnicas del país que han incursionado con relativo éxito en la transformación de energía alternativa.

**5.2.1 Formulación de alternativas.** Para la formulación de alternativas, se realiza una investigación de los diferentes equipos, existentes en el mercado, para conocer los requerimientos del cliente y a través de ello proponer una máquina que brinde los beneficios en eficiencia y calidad. [9]

En fábricas y talleres donde se construyen, su costo es elevado de acuerdo al tamaño especificado, para la solución de estos inconvenientes se plantean varias alternativas, de entre las cuales se escogerá la que cumpla con los parámetros de funcionamiento más indicados y de bajo costo.

El procedimiento a seguir, es observar las diferencias de las alternativas planteadas a través de sus ventajas y desventajas, luego realizar un cuadro comparativo entre éstas y proceder a escoger la mejor, de acuerdo al tipo de funcionalidad que desempeña cada equipo.

**5.2.1.1 Equipos de bombeo.** De acuerdo a una variedad de combinaciones de aparatos empleados para el bombeo de agua, se tienen las siguientes alternativas:

*Alternativa I*

Figura 12. Ríobomba



Fuente: JARA. Hidráulica de Tuberías

*Funcionamiento.* La Ríobomba transforma la energía hidráulica del recurso hídrico (río), en energía mecánica. Esto se logra utilizando como elemento motor una rueda hidráulica con diversas innovaciones constructivas y una bomba de desplazamiento positivo, dimensionada de acuerdo al salto hidráulico y caudal del río a utilizar.

La rueda hidráulica aprovecha la energía cinética del agua que circula por el río, arroyo o canal de poca pendiente. Mediante un mecanismo de Biela-Manivela, el giro de la rueda se transforma en movimiento lineal alternativo para accionar la bomba que eleva el agua desde el río hasta el nivel de descarga deseado. Es una alternativa de solución al problema de elevación de agua cuando el agua que circula por el río, arroyo o canal, de poca pendiente.

*Ventajas.* Algunas ventajas que diferencian estas bombas son:

Facilidad de diseño y construcción

Su costo de fabricación es relativamente bajo.

No se consume, se toma el agua en un punto y se devuelve a otro en una cota inferior.

La transmisión de movimiento se hace de forma directa sin mecanismos de transmisión.

Practicidad en el mantenimiento, no requiere mano de obra calificada.

No genera residuos tóxicos, ni ruidos molestos en su funcionamiento, es amigable con el medio ambiente.

#### *Desventajas*

La potencia suministrada es baja.

No es posible controlar su velocidad de giro cuando el caudal se incrementa.

La mayoría de estas máquinas no posee la protección adecuada de sus elementos, por lo que sus partes quedan expuestas al ambiente y propensas a la corrosión.

Su rendimiento es bajo y es del 15 a 30 %.

#### *Condiciones ideales de operación*

Tabla 4. Condiciones de operación de la ríobomba

<b>Salto hidráulico (m)</b>	<b>Caudal de accionamiento (l/s)</b>
De 1 a 2,5	2 a 60

Fuente: JARA. Hidráulica de Tuberías

#### *Alternativa II*

Figura 13. Conjunto turbina tipo Pelton con transmisión por banda en “V”



Fuente: JARA. Hidráulica de Tuberías

*Funcionamiento.* Este sistema consta de un equipo bombeo de agua que utiliza energía hidráulica para funcionar de manera automática y constante sin consumir combustibles o electricidad, únicamente utiliza la potencia transmitida mediante un



sistema de transmisión entre la bomba y la turbina seleccionada. La Turbobomba transforma la energía hidráulica del recurso hídrico en energía mecánica.

#### *Ventajas*

Aumenta la capacidad del fluido extraído, facilidad de diseño y construcción.

Es económica comparada con otras tecnologías existentes en el mercado.

El porcentaje en el bombeo de agua se incrementa entre (40-60) %, en comparación con las otras alternativas, y su rendimiento es aproximadamente del (65 a 80) %.

#### *Desventajas*

La transmisión del movimiento se hace mediante la utilización de mecanismos de transmisión como bandas, cadenas, engranajes etc.

#### *Condiciones ideales de operación*

Tabla 5. Condiciones de operación turbobomba

<b>Salto hidráulico (m)</b>	<b>Caudal de accionamiento (l/s)</b>
De 8 a 30	5 a 30

Fuente: JARA. Hidráulica de Tuberías

#### *Alternativa III*

Figura 14. Ariete hidráulico



Fuente: Riofrio, Pacifico. Micro Hidroenergía

*Funcionamiento.* La bomba de ariete es una máquina sencilla que opera bajo el principio de aprovechamiento del golpe de ariete, fenómeno hidrodinámico producido por la detención brusca de una corriente de agua confinada en una tubería rígida. Este fenómeno trae como consecuencia la creación de una onda de alta presión, originada en el lugar en que se produce la detención, que viaja por la tubería. Esta onda posee una presión varias veces mayor que la existente antes de la detención, provocando que el agua fluya hacia el estanque de acumulación. Utilizando adecuadamente este efecto, es posible elevar agua hasta una altura varias veces mayor que la caída original, únicamente mediante la energía de la corriente de agua.

#### *Ventajas*

Realizar los estudios técnicos y de dimensionamiento de los equipos de conversión de la energía hidráulica en mecánica.

Es muy versátil, ya que ocupa un lugar reducido en todo su conjunto.

El costo de mantenimiento es mínimo.

Bajo costo de construcción, mantenimiento, costo de operación contaminación cero.

#### *Desventajas*

La dotación de agua hacia el estanque de almacenamiento es muy baja, ya que rendimiento es bajo (20 a 25) %.

Al conectar arietes en paralelo deben estar sincronizados ya que la carrera de la válvula de impulsión debe empezar al mismo tiempo y tener la misma frecuencia, cuando esto no ocurre los arietes están trabajando a diferente presión y no permitirá el flujo del agua.

#### *Condiciones ideales de operación*

Tabla 6. Condiciones de operación de bomba de ariete

<b>Modelo</b>	<b>Salto hidráulico (m)</b>	<b>Caudal de accionamiento (l/s)</b>
1 1/2"	De 1 a 10	0,35
3"	De 1 a 10	1

Fuente: Riofrio, Pacifico. Micro Hidroenergía

**5.2.2 Metodología de evaluación y resultados** [16]. En esta etapa se procede a evaluar las alternativas de solución planteadas con el fin de reducir las opciones de solución a uno o dos del producto, el cual posteriormente se evaluará para llegar al concepto solución. Para evaluar las alternativas de solución el método que se implementa es la selección conocida como puntuación del concepto.

Esta etapa tiene como objetivo definir cuáles son las opciones que darán como resultado un producto deseable, de acuerdo a los objetivos a alcanzar en el proyecto.

**5.2.2.1 Criterios de evaluación.** Según las necesidades de operarios y clientes, se generan diversos criterios de evaluación, los cuales tienen mucho peso sobre la puntuación final de una alternativa. Los criterios de evaluación que se implementarán son los siguientes, como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Criterios de evaluación

<b>Criterios de evaluación.</b>	
1. Desempeño.	1. Fácil de operar.
	2. Ventaja mecánica.
	3. Eficacia.
	4. Eficiencia.
2. Tamaño.	5. Tamaño.
3. Mantenebilidad.	6. Durabilidad.
	7. Fácil limpieza.
	8. Fácil consecución de repuestos.
4. Seguridad.	9. Riesgo al operario.
5. Costos.	10. Económico.

Fuente: Ulrich, Karl, Diseño y Desarrollo de Productos, tercera edición

**5.2.2.2 Puntaje y criterio de evaluación.** La puntuación del concepto, está definida por la suma ponderada de las calificaciones, por lo tanto cada criterio de evaluación tiene un porcentaje de incidencia sobre el resultado final. La incidencia de los criterios de evaluación de la matriz de puntuación que se implementan son:

**5.2.2.3 Descripción de los criterios**

*Fácil de operar.* Se refiere a que sea sencilla la manipulación del equipo, teniendo en cuenta la fuerza humana y de propulsión inherentes al proceso.

*Ventaja mecánica.* Se refiere a minimizar el esfuerzo humano y el gasto de energía de la fuente motriz del proceso.

*Eficacia.* Se refiere a la capacidad con la que cuenta un dispositivo para realizar un determinado trabajo.

*Eficiencia.* Se refiere a la relación entre lo producido y lo invertido, es decir, hace referencia a las pérdidas de energía generadas por un dispositivo.

*Tamaño.* Se plantea que entre mayor tamaño posea una alternativa, la calificación obtenida será menor.

*Durabilidad.* Indica el tiempo en operación que requiere una alternativa de solución para ser remplazada por no cumplir adecuadamente su función.

*Fácil limpieza.* La limpieza debe ser sencilla; se califica este criterio dependiendo de la facilidad con que se pueda acceder al elemento de interés y teniendo en cuenta si se requiere desmontaje.

*Fácil consecución de repuestos.* Es importante conseguir un elemento que ha fallado, de manera fácil, ya que de esto depende la continuidad en el funcionamiento del equipo.

*Riesgo al operario.* La seguridad en el equipo es muy importante para garantizar el bienestar del operario.

*Económico.* El valor económico de la alternativa de solución se asume como criterio de evaluación, debido a que se busca un equipo que cumpla todas las funciones al menor costo posible.

**5.2.2.4** *Conceptos solución.* Después de evaluar las alternativas de solución (ANEXO F), se generan las siguientes rutas de solución:

Ruta solución 1     \_\_\_\_\_

Ruta solución 2     \_\_\_\_\_

Las rutas representan la combinación de alternativas que generan un concepto solución coherente, por lo tanto la ruta 1 no tiene la mejor alternativa parcial de cada función sino las alternativas que hacen funcional el proceso, igual sucede en la ruta solución 2. Donde las dos rutas solución analizadas tienen las puntuaciones más elevadas.

*Descripción ruta solución I.* La rueda hidráulica aprovecha la energía cinética del agua que circula por el río, arroyo o canal de poca pendiente. El giro de la rueda se transforma en movimiento lineal alternativo para accionar la bomba que eleva el agua desde el río hasta el nivel de descarga deseado.

*Descripción ruta solución II.* A partir de una fuente o represa, se desvía parte del volumen de agua, el agua ingresa a la tubería de carga y es conducida hacia la casa de máquinas en cuyo interior se encuentra el sistema turbobomba. Este mecanismo, impulsado por la energía hidráulica, utiliza la potencia transmitida mediante un sistema de transmisión entre la bomba y la turbina seleccionada, permitiendo bombear agua a través de la tubería de alimentación hacia el estanque acumulador.

**5.2.2.5 Evaluación de las rutas de solución.** Para seleccionar un conjunto de alternativas para el producto se ejecutaran los siguientes pasos:

Definir criterios de evaluación

Calificar alternativas

Reflexionar acerca de los resultados

A continuación los pasos para la evaluación de las rutas de solución:

*Criterios de evaluación.* La selección de los criterios de evaluación se hace a partir de las necesidades expresadas por los requerimientos técnicos del proyecto y el beneficio de la industria.

Tabla 9. Criterios de evaluación

1. Tamaño.
2. Mantenebilidad.
3. Eficacia.
4. Eficiencia.
5. Costos de fabricación

Fuente: Ulrich, Karl, Diseño y Desarrollo de Productos, tercera edición

*Calificar conceptos.* Se utiliza la puntuación obtenida de las matrices de puntuación: (ANEXO F).

*Reflexionar sobre los resultados.* En base a los datos obtenidos en el cuadro comparativo la mejor alternativa para este caso es la alternativa A<sub>2</sub>, con un porcentaje del 80.1 %, de la puntuación total otorgada.

### 5.3 *Proyección del sistema*

Figura 15. Esquema de Turbobomba



Fuente: RIOFRIO, José. Apuntes del profesor

Los principales elementos que componen el sistema de turbobombeo son, (ver figura 15):

**5.3.1 Turbinas.** Es una máquina hidráulica capaz de convertir energía hidráulica en energía mecánica; pueden ser motrices (turbinas). Las turbinas hidráulicas se emplean para aprovechar la energía del agua en movimiento.

Las turbinas se clasifican de acuerdo:

**5.3.1.1** *Atendiendo a que la presión varíe o no en el rodete.* Las turbinas se clasifican en:

*Turbinas de Acción o Impulsión.* En las turbinas de acción el agua sale del distribuidor a la presión atmosférica, y llega al rodete con la misma presión; en estas turbinas toda la energía potencial del salto se transmite al rodete en forma de energía cinética, figura 16.

Figura 16. Turbinas de Acción



Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

*Turbinas de Reacción o Sobrepresión.* En las turbinas de reacción el agua sale del distribuidor con una cierta presión que va disminuyendo a medida que atraviesa los alabes del rodete, de manera tal que, a la salida, la presión puede ser nula o incluso negativa; en estas turbinas el agua circula a presión en el distribuidor y en el rodete, por lo tanto, la energía potencial del salto se transforma en energía cinética y en energía de presión.

Figura 17. Turbinas de Reacción



Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

La tabla 10, nos resume las características de la turbinas.

Tabla 10. Características principales de las turbinas hidráulicas

turbina	Inventor Patente	$N_s$	$Q$ ( $m^3/s$ )	$H$ (m)	$P$ (kW)	$\eta_{MAX}$ (%)	
<b>ACCION</b>	Pelton	Lester Pelton (EE.UU) 1880	1 Ch: 30 2 Ch: 30-50 4 Ch: 30-50 6 Ch: 50-70	0.05-50	30-1800	2-300000	91
	Turgo	Crewdson. E (G. Bretaña) 1920	60-260	0.025-10	15-300	5-8000	85
	Michell-Banki	A.G. Michell (Australia) 1903 D. Banki 1917-1919	40-160	0.025-5	1-50	1-750	82
<b>REACCION</b>	Bomba Rotodinámica	Dionisio Papin (Francia) 1689	30-170	0.05-0.25	10-250	5-500	80
	Francis	Francis. J (G. Bretaña) 1848	L: 60-150 N: 150-250 R:250-400	1-500	2-750	2-750000	92
	Deriaz	P. Deriaz (Suiza) 1956	60-400	500	30-130	100000	92
	Kaplan y De Hélice	V. Kaplan (Australia) 1912	300-800	1000	5-80	2-200000	93
	Axiales: - Tubular - Bulbo - Generador periférico	Kuhne 1930 Hugenin 1933 Harza 1919	300-800	600	5-30	100000	93

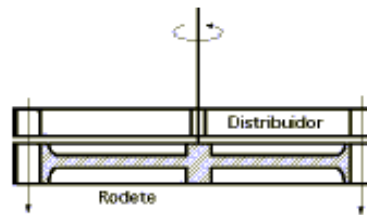
Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales



**5.3.1.2** Según la dirección de entrada del agua en las turbinas. Éstas pueden clasificarse en:

*Axiales* En las axiales, (Kaplan, hélice, Bulbo), el agua entra paralelamente al eje.

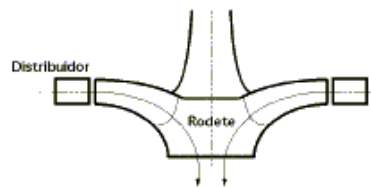
Figura 18. Turbina axial



Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

*Radiales (Centrípetas y Centrífugas)*. En las radiales, el agua entra perpendicularmente al eje, siendo centrífugas cuando el agua va de adentro hacia afuera, y centrípetas, cuando el agua va de afuera hacia adentro, (Francis).

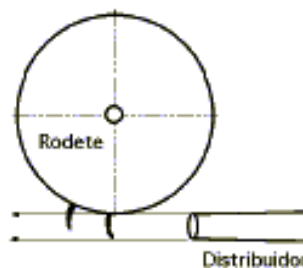
Figura 19. Turbina radial



Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

*Tangenciales*. En las tangenciales, el agua entra lateral o tangencialmente (Pelton) contra las palas, cangilones o cucharas de la rueda.

Figura 20. Turbina tangencial



Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

También existen las turbinas Mixtas. Que son combinaciones de turbinas axiales y radiales.

**5.3.1.3** *Atendiendo a la disposición del eje de giro.* Se pueden clasificarse en:

*Turbinas de eje horizontal*

*Turbinas de eje vertical*

### **5.3.2** *Bombas*

Básicamente para el bombeo hidráulico se pueden utilizar dos tipos de bombas:

**5.3.2.1** *Bombas Centrifugas.* En las bombas centrífugas la velocidad comunicada por el rodete al líquido se transforma, en parte, en presión, lográndose así su desplazamiento y posterior elevación.

Figura 21. Esquema de una bomba centrífuga típica



Fuente: RIOFRIO, José. Apuntes del profesor

En la figura, se aprecian las partes mas importantes de la bomba centrífuga, como son:

*Tubería de aspiración*

*Impulsor o rodete.* Formado por un conjunto de álabes que pueden adoptar diversas formas, según la misión a que vaya a ser destinada la bomba, los cuales giran dentro de una carcasa circular. El rodete es accionado por un motor, y va unido solidariamente al eje.

*La voluta.* Su misión es la de recoger el líquido que abandona el rodete a gran velocidad, cambiar la dirección de su movimiento y encaminarle hacia la brida de impulsión de la bomba.

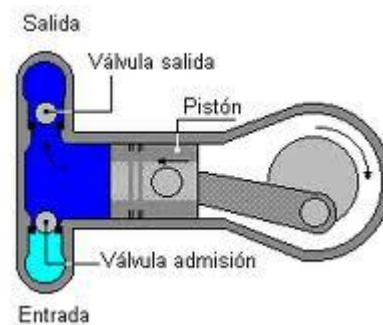
*Tubería de impulsión.* Instalada a la salida de la voluta, por la que el líquido es evacuado a la presión y velocidad creadas en la bomba.

Estos son, en general, los componentes de una bomba centrífuga aunque existen distintos tipos y variantes.

**5.3.2.2 Bombas Alternativas o Reciprocantes.** Es aquella bomba en la que un émbolo o pistón desplaza un volumen dado de fluido en cada carrera. El principio básico de una bomba alternativa es que un sólido desplazará un volumen igual de líquido. Están formadas por un pistón que oscila en un cilindro dotado de válvulas para regular el flujo de líquido hacia el cilindro y desde él.

La figura, ilustra la operación de este tipo de bombas. Estas bombas pueden ser de acción simple o de acción doble.

Figura 22. Elementos de una bomba reciprocante



Fuente: RIOFRIO, José. Apuntes del profesor

Su mayor ventaja es que pueden manejar cualquier líquido independientemente de su viscosidad.

## CAPÍTULO VI

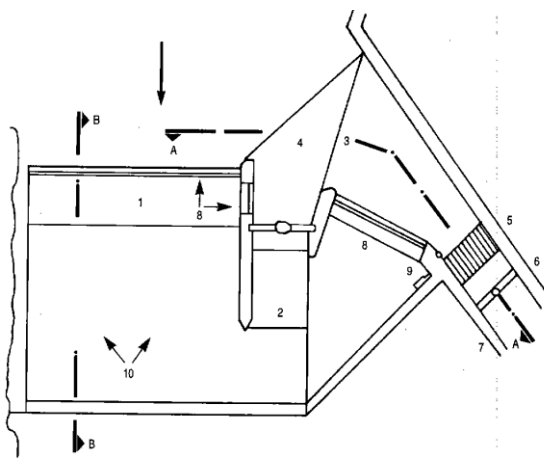
### 6. DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS

El presente capítulo incluye algunos conceptos de diseño de obras civiles y su implementación en el campo de la hidroenergía, con el propósito de mejorar las posibilidades de acceso de la población, y sus diferentes sectores al servicio de las energías renovables.

#### 6.1 Obras civiles

En la ejecución de obras civiles deberá cumplirse con las siguientes disposiciones:

Figura 23. Componentes de obras civiles de una M.C.H



Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

Es importante resaltar los componentes que hacen parte de las obras civiles (figura 23), está conformado por las siguientes unidades: [10]

Captación

Canal de conducción

Desarenador

Cámara de carga

Tubería de presión

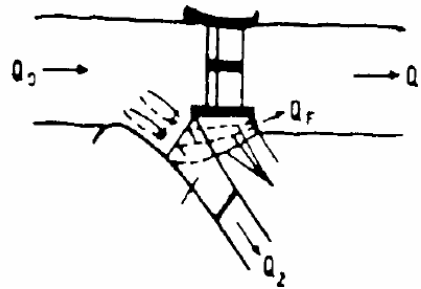
Anclajes

Reservorio de almacenamiento, entre otros

A continuación, se describe las características de cada componente y su implicancia en la implementación del sistema en su conjunto.

### 6.1.1 Captación

Figura 24. Esquema de la captación de agua



Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales.

El primer punto de flujo en un sistema, en la producción de energía hidráulica es donde el agua se recolecta (captación). Las obras de captación, tienen la función de captar y regular parte del caudal necesario y a la vez proteger a los otros elementos del proyecto e impedir que materiales sólidos ingresen a los mismos.

Constituye generalmente la obra básica para un aprovechamiento hídrico.

**6.1.1.1 Ubicación.** La ubicación debe ser la más apropiada, es en los tramos rectos y estables del río, dependiendo de la topografía, la geología, comportamiento de los suelos y, principalmente de las variaciones hidrológicas del lugar.

La captación se ubicara, en la quebrada de Matarredonda a una cota de 2078,41 msnm y estará constituida por una vertiente de afloramiento superficial y una fuente de agua superficial (acequia).

**6.1.1.2 Criterios de diseño.** Su diseño depende de los siguientes parámetros:

Curso del río (tramo curvo o recto)

Configuración del terreno (pendiente del cauce, ancho del valle)

Caudal del río

Acarreo de materiales (frecuencia, tamaño de materiales acarreados etc.)

Importancia de la obra, disponibilidad presupuestal

### 6.1.1.3 Características hidráulicas del río

Las características hidráulicas del río serán las que determinan los parámetros de diseño.

Ancho del río en el lugar de captación:  $b = 1,0$  m

Pendiente del río en el sitio de la toma:  $i = 0,01$

Velocidad del agua:  $V_r = 0.863$  m/s

Altura:  $H = 1,0$  m

**6.1.1.4 Bocatomas de barrage móvil [7].** El nombre de barrage móvil se debe a que éste tiene una parte fija de concreto armado y otra parte movable. En época de estiaje, y de lluvias, funcionan los pizarrines de madera del vertedero, lo cual permite el control en el nivel de agua de la cuenca. La utilización de bocatomas de barrage móvil, se emplean en ríos con pendientes moderadas entre 1% a 2% (que es el nuestro).

La bocatoma debe, en lo posible, derivar el caudal adecuado hacia el canal, sea que el río tenga mucha o poca cantidad de agua. La función principal del barrage es asegurar que el caudal del canal se mantenga, incluso en época de estiaje. En la figura, se ilustra una represa de este tipo.

Figura 25. Represa de barrage movil



Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

Soluciones prácticas han empleado este tipo de bocatoma en ríos que, por lo general, tienen aguas cristalinas y su material de arrastre no es de mucho cuidado en tamaño y volumen.

Se adopta 0,4 m de longitud de rejilla, recalculando, se tiene:

*Diseño y estructura de la bocatoma.* Consiste en diseñar muros de encauzamiento de concreto de 140 kg/cm<sup>2</sup>. En otros casos, los muros pueden ser de mampostería de piedra, esto depende del talud de la ribera del río y de su formación geológica.

*Cálculo de velocidad del río en la captación.* La lámina de agua en las condiciones de diseño es de:

$$H = \left( \frac{Q}{1,84 \times b} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (15)$$

Donde:

$Q$ = Caudal de diseño, en m<sup>3</sup>/s.

$b$ = Ancho del río en el lugar de captación, en m.

$$H = \left( \frac{0,0238}{1,84 \times 1} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,055 \text{ m}$$

Velocidad del río sobre la presa.

$$V_r = \frac{Q}{L \times H} \quad (16)$$

$$V_r = \frac{0,0238}{1 \times 0,055} = 0,43 \text{ m/s}$$

Como: 0.3 m/s < 0.43 m/s < 3.0 m/s ok

*Cálculo de la altura de los muros de contención.* Tomando el caudal máximo del río de 0,16 m<sup>3</sup>/s, la altura de la lámina de agua en la garganta de la bocatoma es:

$$H = \left( \frac{Q_a}{1,84 \times b} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (17)$$

Donde:

$Q_a$ = Caudal máximo del río, en m<sup>3</sup>/s.

$b$ = Ancho del río en el lugar de captación, en m.

$$H = \left( \frac{0,16}{1,84 \times 1} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,2 \text{ m}$$

Dejando un borde libre de 40 cm, la altura de los muros será de 0,6 m.

**6.1.2 Rejilla de admisión.** Esta se coloca en el canal colector, según las necesidades del caudal que se ha de captar.

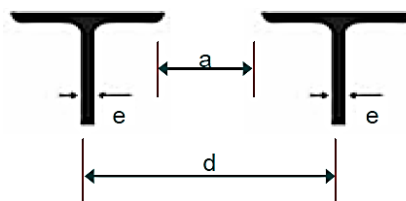
Los barrotes y el marco pueden ser de hierro, con separación entre barrotes de cinco a diez centímetros y diámetro de 1/2", 3/4" ó 1.5", como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Apertura de barrotes y espesor de rejilla

Rejas	a (cm)	e (plg)
Rejas finas.	1	0.375
	2	0.75
Rejas comunes.	3	0.75
	4	1.5
Rejas gruesas.	5	1.5
	6	1.5
	7	1.5
	8	1.5
	9	1.5
	10	1.5

Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

Figura 26. Dimensiones de rejillas



Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

**6.1.2.1 Diseño de la rejilla.** Consideramos que las barras de la rejilla se colocarán perpendiculares a la dirección del flujo, se considera que el área neta de la rejilla se puede determinar con la siguiente expresión:



$$A_n = a \cdot B \cdot N \quad (18)$$

Donde:

$a$ = Separación entre barras, en m.

$N$ = Numero de orificios entre barras.

$B$ = Ancho del colector, en m.

La superficie total de la rejilla es aproximadamente.

$$A_n = (a + b)B \cdot N \quad (19)$$

Donde:

$b$ = Es el diámetro de cada barrote, en plg.

Haciendo la relación entre área neta y área total (área total en función de la longitud de la rejilla), se obtiene:

$$A_n = \frac{a}{(a+b)} \cdot A_{total} \quad (20)$$

$$L_r = \frac{(a+b)}{(a \cdot B)} \cdot A_{neta} \quad (21)$$

La velocidad aproximada entre barrotes es:

$$V_b = \frac{Q}{A_n \cdot B} \quad (22)$$

Donde:

$V_b$ = Velocidad entre barrotes, en m/s.

$Q$ = Caudal, en m<sup>3</sup>/s.

$A_n$ = Área neta de la rejilla, en m<sup>2</sup>.

*Cálculo de la longitud de la rejilla.* Se adoptan barrotes de 0,375" con una separación entre ellos de 1 cm (tabla 11). Por otra parte, se supone la velocidad entre barrotes igual a 0,6 m/s [2].

$$A_n = \frac{Q}{B \times V_b} \quad (23)$$

$$A_n = \frac{0,0238}{0,4 \times 0,6} = 0,099$$

Siendo la longitud de la rejilla igual a:

$$L_r = \left(\frac{a+b}{a}\right) \frac{A_{neta}}{B} \quad (24)$$

$$L_r = \left(\frac{0,01+0,0095}{0,01}\right) \frac{0,099}{0,4} = 0,483$$

Se adopta 0,4 m de longitud de rejilla, recalculando, se tiene:

$$A_n = \frac{0,01}{(0,01 + 0,0095)} * 0,4 * 0,4 = 0,082 \text{ m}^2$$

*Cálculo de la distancia entre ejes de las barras*

$$d = \frac{a}{100} + (b * 0.0254) \quad (2)$$

Donde:

$d$ = Distancia entre ejes de las barras, en m.

$a$ = Espaciamiento entre barras, en cm.

$b$ = Es el diámetro de cada barrote, en plg.

$$d = \frac{1}{100} + (0.375 * 0.0254) = 0.0195 \text{ m}$$

*Cálculo del número de orificios.* El valor número de orificios se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$N = \frac{A_n}{a*B} \quad (25)$$

$$N = \frac{0,082}{0,01*0,4} = 20,5$$

Se adoptan 21 orificios, separados entre sí 1 cm. Con lo que se obtienen las siguientes condiciones finales:

$$A_n = a.B.N \quad (26)$$

$$A_n = 0,01 * 0,4 * 21 = 0,084 \text{ m}^2$$

Por último, se calcula la velocidad aproximada entre barrotes:

$$V_b = \frac{Q}{A_n * B} \quad (27)$$

Donde:

$Q$  = Caudal, en  $m^3/s$ .

$$V_b = \frac{0,0238}{0,084 * 0,4}$$

$$V_b = 0,7 \text{ m/s}$$

Como:  $0.3 \text{ m/s} < 0.7 \text{ m/s} < 3.0 \text{ m/s}$  ok

**6.1.3** *Conducción.* Estos tipos de obras permiten transportar y/o conducir el agua de un lugar a otro, aprovechando la pendiente natural del terreno, esta se puede realizar por:

Tubería ó

Canal

Su trazado sigue en forma paralela al afluente principal. El dimensionamiento se hará de acuerdo al criterio económico, siendo las consideraciones económicas un factor para la selección de la mejor alternativa.

**6.1.3.1** *Canal.* Es una estructura hidráulica de forma regular artificialmente construida, que en razón a su pendiente puede conducir agua de un lugar a otro. En una determinada instalación se pueden adecuar diferentes tipos de canales, estos son:

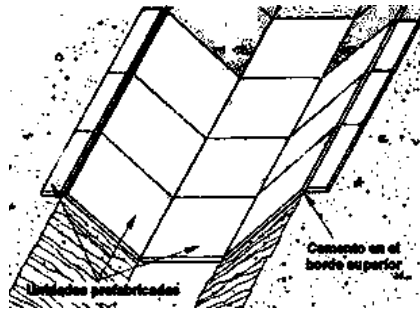
Canal de tierra sin revestimiento

Canal de tierra con revestimiento

Canal de concreto y

Acueductos

Figura 27. Canal de hormigón



Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

Es muy importante elegir correctamente el tipo de canal para cada parte de la ruta.

*Características de diseño.* Antes de calcular las dimensiones, tipo y sección del canal, hay que determinar su longitud y el material con el que estará hecho o revestido.

Material: Concreto

Sección: Trapezoidal

Longitud: 20 m

Una vez elegido el tipo de canal y el material de revestimiento, se calculan las dimensiones adecuadas así como el desnivel correcto entre su inicio y final.

*Cálculo de dimensiones y desnivel del canal.* El tipo y el material del canal determinan factores que deciden la pendiente y las dimensiones de este, debe considerarse estos conceptos para su dimensionamiento:

*La velocidad del agua, V.* Un flujo de agua excesivamente rápido erosionara las paredes de un canal, mientras que velocidades demasiado bajas permitirán el depósito de sedimento y la obstrucción del mismo. Las tablas 12 y 13, proporcionan las velocidades recomendadas para canales de diferentes materiales.

Tabla 12. Velocidades máximas recomendadas (m/seg) del agua recomendadas en canales

Material	Velocidad máxima	
	Menos de 0,3 m de profundidad	Menos de 1,0 m de profundidad
Arena.	0,3 (m/s)	0,5 (m/s)
Greda arenosa.	0,4 (m/s)	0,7 (m/s)
Greda.	0,5 (m/s)	0,8 (m/s)
Greda de arcilla.	0,6 (m/s)	0,9 (m/s)
Arcilla.	0,8 (m/s)	2,0 (m/s)
Mampostería.	1,5 (m/s)	2,0 (m/s)
Concreto.	1,5 (m/s)	2,0 (m/s)

Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales, pág. 234

Tabla 13. Velocidades mínimas recomendadas (m/seg) del agua para evitar sedimentación

Calidad del agua	Velocidad mínima
Con sedimentos finos.	0,3 (m/s)
Con arena.	0,5 (m/s)

Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales, pág. 235

Debe seleccionarse la velocidad adecuada  $V$ , sin exceder las velocidades máximas o mínimas recomendadas.

$$V = 1.5 \text{ m/s}$$

*Sección y Angulo de talud, Z.* A partir de la tabla, hallar el ángulo de talud del canal, para canales rectangulares usar  $Z = 0$ , que implica un canal con un ancho que es dos veces su altura.

Tabla 14. Taludes recomendados para canales de sección trapezoidal

Material	Talud $Z = \text{Cotan } \Theta$
Arena.	3,0
Arena y Greda.	2,0
Greda.	1,5
Greda y arcilla.	1,0
Arcilla.	0,58
Concreto.	0,58

Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales, pág. 223

La tabla, da algunos valores del ángulo del talud Z, recomendado para diferentes materiales.

$Z = 0,58$

*Rugosidad, n.* Cuando el agua pasa por el canal, pierde energía en el proceso de deslizarse por las paredes y el lecho. Mientras más rugoso es el material del canal, hay mas perdida por fricción y mayor será la pendiente que se requerirá entre la entrada y salida del canal.

En la tabla 15, podemos escoger, la rugosidad de las superficies majadas “n”.

Tabla 15. Coeficiente de rugosidad “n” para canales concreto

Coeficientes de rugosidad “n”	
(a) Canales de concreto	n
Buen acabado con cemento (enlucido).	0,0100
Acabado con yeso o concreto suave con alto contenido de cemento.	0,0118
Concreto no enlucido.	0,0149
Concreto con superficie suave.	0,0161
Revestimiento de concreto irregular.	0,0200

Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales, pág. 231

La rugosidad a seleccionarse, debe generar la menor perdida por fricción, para que la pendiente entre la entrada y salida del canal sea la menor.

$n = 0,010$

Otro factor importante es el nivel de borde libre adecuado.

*Borde libre.* [2]. Es la distancia vertical que hay entre el nivel normal del agua al extremo superior de las paredes del canal. Su objetivo es evitar que el canal se rebalse cuando ingrese mayor cantidad de agua que la proyectada, el cual es normalmente 1/3 del tirante de agua ó 0,15 m, escogiendo el mayor por seguridad.

A continuación se ofrece el procedimiento a seguir para determinar las dimensiones y desnivel del canal.

*Cálculo de Sección transversal.* La sección transversal se calcula a partir de la ecuación:

$$A = \frac{Q}{V} \quad (m^2) \quad (28)$$

*Cálculo de la sección más eficiente.* Calcular la altura H, el ancho de la plantilla del canal B, y el ancho de la lámina de agua W, de la sección más eficiente figura 25.

Figura 28. Canal trapezoidal



Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

Canal trapezoidal.

Altura H:

$$H = \sqrt{\frac{A}{2*\sqrt{(1+Z^2)}-Z}} \quad (29)$$

Base B:

$$B = H \left( 2\sqrt{(1+Z^2)} - 2Z \right) \quad (30)$$

Base superior W, en metros:

$$W = B + 2HZ \quad (31)$$

Y para canales rectangulares.

Altura H:

$$H = \sqrt{A/2} \quad (32)$$

Base B:

$$B = 2H \quad (33)$$

Base superior W, en metros:

$$W = B = 2H \quad (34)$$

NOTA: Nótese que para canales rectangulares  $Z=0$

*Cálculo del perímetro mojado.* Mediante la tabla, se calcula el perímetro mojado P, para diferentes las diferentes secciones.

Tabla 16. Geometría de diferentes secciones transversales de canales de agua

Tipo de sección	Perímetro mojado (m)	Base mayor (m)
Rectangular	$B+2H$	B
Trapezoidal	$B + 2H(1+Z^2)^{1/2}$	$B+2HZ$
Rectangular	$2H(1+Z^2)^{1/2}$	$2HZ$

Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales, pág. 247

*Cálculo del Radio hidráulico, R.* El cálculo del radio hidráulico, esta dado a partir de:

$$R = \frac{A}{P} \quad (35)$$

*Cálculo de la Pendiente, S.* El valor de la pendiente S, esta dado por:

$$S = \left( \frac{n*V}{R^{2/3}} \right)^2 \quad (36)$$

Donde:



$n$ = Coeficiente de rugosidad.

$V$ = velocidad del agua, en m/s.

$R$ = Radio hidráulico, en m.

Ahora es posible construir la sección del canal con la pendiente y dimensiones adecuadas, para diferentes secciones y materiales, los cálculos se muestran en la tabla.

Tabla 17. Dimensiones de canales

TIPO	Sección	Velocidad (V)	Talud (Z)	Rugosidad (n)	Área (A)	Altura (H)	Base (B)	Base mayor (W)
Rectangular	Revestida	1,5	0	0,0161	0,0159	0,08907	0,17814	0,17814
Trapezoidal	Revestida	1,5	0,58	0,0161	0,0159	0,09571	0,11026	0,22129
Rectangular	No revestida	0,5	0	0,037	0,0476	0,15427	0,30854	0,30854
Trapezoidal	No revestida	1	2	0,0455	0,0238	0,11722	0,13505	0,27102

Fuente: Autor

Tabla 17. (Continuación)

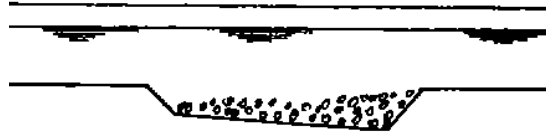
Perímetro (P)	R. hidráulico (R)	Pendiente (S)	Borde libre	Altura Total (m)	Desnivel (d)	% Perdidas
0,35628	0,04453	0,03695	0,15	0,23907	0,70346	14,96717
0,33155	0,04786	0,01295	0,15	0,24571	0,24657	5,24617
0,61709	0,07714	0,01042	0,15	0,30427	0,19846	4,22248
0,40607	0,05861	0,09093	0,15	0,26722	1,73136	36,83735

Fuente: Autor

NOTA: El perfil más eficiente es un semicírculo, donde la sección trapezoidal es la mejor aproximación práctica a este.

#### 6.1.4 Desarenador

Figura 29. Desarenador (vista lateral)



Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

El agua captada del canal y conducida a la turbina, transporta pequeñas partículas de materia sólida en suspensión compuesta de materiales abrasivos (arena), que ocasionan el desgaste de los equipos (álabes de la turbina, entre otros). [7]

Por ello es importante contar con desarenadores, en ellos la velocidad del agua es reducida con el objeto de que las partículas de arena o cualquier otro compuesto sólido, se decanten en el fondo.

##### 6.1.4.1 Dimensionamiento del desarenador

Deben considerarse algunos conceptos previos a su dimensionamiento como:

*Velocidad horizontal del agua,  $V_H$ .* La velocidad horizontal del agua  $V_H$  será baja, para diseñar un desarenador se elige una velocidad de agua adecuada. Se recomienda un valor de 0,2 m/s en la mayoría de los casos, pero también pueden adoptarse valores más altos, hasta de 0,5 m/s

$$V_H = 0,2 \text{ m/s}$$

*Profundidad de decantación,  $d_d$ .* Se recomienda no seleccionar valores mayores a 1 m para fines de diseño, otra razón es que el drenaje de la sedimentación del desarenador puede ser difícil de realizar si este es muy profundo.

$$d_d = 0,4 \text{ m}$$

*Velocidad de decantación,  $V_d$ .* En la mayoría de los casos es suficiente eliminar partículas que tengan más de 0,3 mm de diámetro, velocidades de decantación mayores dependerán de su tamaño, forma densidad y grado de turbulencia del agua.

Se necesita determinar la velocidad de sedimentación que está en función del tamaño de la partícula. Esta información se muestra en la tabla 18.

Tabla 18. Velocidad decantación de partículas de arena en (m/s)

Tamaño de partícula. d (mm)	Velocidad de decantación. $V_d$ (m/s)
0.1	0.01
0.3	0.03
0.5	0.05
1.0	0.10

Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales, pág. 232

Para un tamaño de partícula promedio  $d = 0,5$  mm

$$V_d = 0,05 \text{ m/s}$$

Otros datos a tener en cuenta para el dimensionamiento de un desarenador son:

*Frecuencia de vaciado, T* [2]. La frecuencia de vaciado razonable  $T$ , durante casi todo el año, cuando la cantidad de sedimentos transportada  $U$  es  $0,05 \text{ kg/m}^3$ , sería una vez por semana.

$$T = 24 \times 7 \times 3600 = 604800 \text{ segundos}$$

*Cantidad de sedimentos transportada, U*. Para turbidez  $U = 0,05 \text{ kg/m}^3$ .

El procedimiento a seguir para el dimensionamiento del desarenador y la determinación de sus principales medidas es:

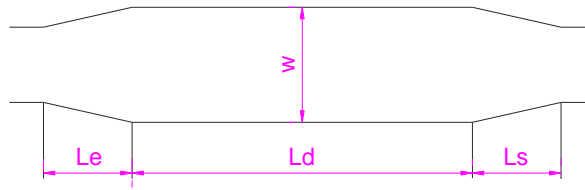
*Cálculo del Ancho del desarenador, W* [2].

$$W = \frac{Q_d}{V_H \times d_d} \quad (37)$$

$$W = \frac{0,0238}{0,2 \times 0,4} = 0,2975 \approx 0,5 \text{ m}$$

La longitud total del desarenador se divide en tres partes: entrada  $L_e$ , decantación  $L_d$ , y salida  $L_s$ , ver figura 27.

Figura 30. Desarenador (Vista de planta)



Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

*Cálculo de la longitud del desarenador a la entrada,  $L_e$*

$$L_e = 2,5 \times W \quad (38)$$

$$L_e = 2,5 \times 0,5 = 1,25 \text{ m}$$

*Cálculo de la longitud de decantación,  $L_d$*

$$L_d = \frac{v_H}{v_d} \times d_d \times f \quad (39)$$

Donde:

$f$  = Factor de seguridad, se recomienda 2 a 3 como factor de seguridad.

$$L_d = \frac{0,2}{0,05} \times 0,4 \times 2 = 3,2 \text{ m}$$

Para determinar el ancho del colector  $W_1$ , se considera la tercera parte del ancho del desarenador  $W$ :

$$W_1 = \frac{W}{3} \quad (40)$$

$$W_1 = \frac{0,5}{3} = 0,166 \text{ m}$$

*Cálculo de la longitud de transición a la salida del desarenador,  $L_s$*

$$L_s = \frac{W_1}{\tan(12,5^\circ)} \quad (41)$$

$$L_s = \frac{0,166}{\tan(12,5^\circ)} = 0,7487 \text{ m}$$

Capacidad del tanque colector  $m$ , y frecuencia de vaciado del deposito. En una semana la bocatoma absorberá una determinada cantidad de sedimento, la cual se da por la siguiente ecuación.

$$m = Q_d \times T \times U \quad (42)$$

$$m = 0.02385 \times 604800 \times 0.05 = 719,712 \text{Kg}$$

La siguiente expresión mayor a la masa por seguridad, supongamos una densidad de acumulación de 100%.

$$m_R = 2 \times m \quad (43)$$

$$m_R = 2 \times 719,712 = 1439,424 \text{ Kg}$$

Cálculo del volumen de sedimento,  $V$

$$V = \frac{m_R}{\delta_s} \quad (44)$$

Donde:

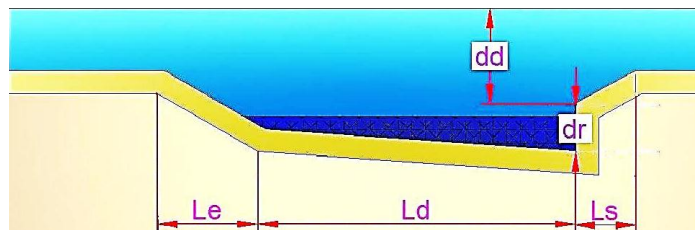
$\delta_s$  = Densidad de la arena,  $2600 \text{ kg/m}^3$ .

En la siguiente expresión tenemos que el volumen de sedimento es:

$$V = \frac{1439,424}{2600} = 0,5536 \text{ m}^3$$

La profundidad del desarenador se divide en dos partes: de decantación  $d_d$ , y de recolección  $d_r$ , ver figura 31.

Figura 31. Desarenador y sus dimensiones (Vista de corte)



Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

*Profundidad de recolección,  $d_r$ .*

$$d_r = \frac{V}{W * L_d} \quad (45)$$

$$d_r = \frac{0,5536}{0,5 * 3,2} = 0,346 \text{ m}$$

**6.1.5** *Tanque de presión.* Es una estructura hidráulica que tiene la finalidad de crear un volumen de agua que permite satisfacer las necesidades de la turbina durante los aumentos bruscos de demanda, se construye entre el final de la conducción y la iniciación de la tubería de presión, además tiene la función de impedir la entrada de aire en la tubería de presión.

**6.1.5.1** *Diseño del tanque de presión.* El procedimiento de diseño del tanque de presión se basa en el método expuesto en Sviatoslav Krochin. [8]

*Altura mínima sobre la tubería de presión.* El valor de la altura mínima sobre la tubería calcula de la siguiente manera:

$$h = 0,724 \times V \times \sqrt{D} \quad (46)$$

Donde:

V= Velocidad en la tubería de presión, en m/s.

D= Diámetro interno de la tubería de presión, en m.

Área de la tubería de presión.

$$A = \pi \frac{D^2}{4} \quad (47)$$

$$A = \pi \frac{(0,1876)^2}{4} = 0,0276 \text{ m}^2$$

Velocidad en la tubería de presión.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (48)$$

$$V = \frac{0,0238}{0,0276} = 0,862 \text{ m/s}$$

El cálculo de la altura mínima de agua sobre la tubería de presión permite la salida longitudinal del flujo.

$$h = 0,724 * 0,862 * \sqrt{0,2} = 0,3 \text{ m}$$

**NOTA:** Aunque se recomienda que la altura mínima sobre la tubería de presión h no baje de 1,0 m.

*Volumen del tanque de presión.* La determinación de este volumen es con el fin de mantener constante el caudal que entra a la tubería de presión, para evitar el ingreso de aire.

$$V_t = \frac{0.693 * Q^2}{A * i * g} \quad (49)$$

Donde:

$V_t$  = Volumen del tanque de carga, en  $m^3$ .

$A$  = Área del canal de conducción, en  $m^2$ .

$i$  = Pendiente del canal de llegada, 1% = 0.01

$g$  = Aceleración de la gravedad, en  $m/s^2$ .

0,693 = Es un coeficiente de disminución del volumen.

Cálculo de la sección del canal de conducción.

$$A_{Trapezoido} = \frac{(B/b)}{2} * h \quad (50)$$

$$A = \frac{(0,22/0,11026)}{2} * 0,095 = 0,095 \text{ m}^2$$

De esta manera si se tiene un caudal de  $0,0238 \text{ m}^3/s$ :

$$V_t = \frac{0.693 * 0,0238^2}{0,095 * 0,005 * 9,8} = 0,1 \text{ m}^3$$

A partir del volumen del tanque podemos obtener la constante de capacidad de este, para ello empleamos la siguiente tabla 19.



Tabla 19. Constante de capacidad

V (Cientos de m <sup>3</sup> )	K
< 3	2,0
4 - 6	1,8
7 - 9	1,5
10 - 13	1,3
14 - 16	1,0
> 17	0,7

Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales, pág. 223

*Dimensionamiento del tanque.* Esta obra debe tener una longitud y un ancho adecuados, sin ser demasiado voluminosos o caros.

$$H = \frac{V_t}{3} + k \quad (51)$$

$$B = \sqrt{\frac{V_t}{H}} \quad (52)$$

Se considera, para efectos prácticos, que  $B = L$  m

Donde:

$H$ = Profundidad del tanque, en m.

$B$ = Ancho del tanque, en m.

$L$ = Largo del tanque, en m.

En cientos de metros cúbicos, será 0,0002 por lo que se utiliza  $k= 2$ , de acuerdo a tabla.

$$H = \frac{0,001}{3} + 2 = 2,0003 \text{ m}$$

$$B = L = \sqrt{\frac{0,1}{2}} = 0,22 \text{ m}$$

Las dimensiones calculadas para la cámara de carga son:  $H= 2.0$  m,  $B= 0.22$  m y  $L= 0.22$  m.

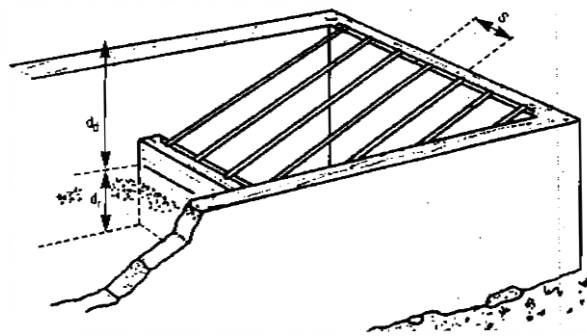
Se ha previsto que el ancho en la cámara de carga que se empata con el ancho del desarenador sea 0.5 m, con lo que la profundidad de la cámara corresponde a 1,0 m. Por

tanto, las nuevas dimensiones de la cámara de carga son: profundidad del tanque de almacenamiento  $H= 1,0$  m; ancho  $B= 0,5$  m y largo del tanque  $L= 0,5$  m.

Dimensiones que garantizan que el chorro, producto de la caída desde el canal de conducción, se integre a la cámara de carga sin afectar sus paredes con deterioros imprevistos.

### 6.1.6 Rejilla de entrada a la tubería de presión

Figura 32. Tanque de presión con rejilla



Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

Con el objeto de impedir la entrada de materiales flotantes hacia la tubería de presión y eliminar toda verticidad que pudiera formarse en la aproximación hacia el inicio de la tubería (ver figura), se ha dispuesto una rejilla fina de 0,675 m de longitud y 0,5 m de ancho, conformada por pletinas de hierro de 4 mm de grosor y separadas 40 mm a lo largo de la longitud de la rejilla, separación apropiada para una turbina Banki [1]. La limpieza se realizará manualmente, para facilitar esta labor se le ha dado a la misma una inclinación de  $42,23^\circ$  de acuerdo a las recomendaciones técnicas (ANEXO J).

La pérdida producida en la rejilla se ha calculado mediante la expresión planteada por Kirschmer valida para un flujo de aproximación perpendicular a la rejilla.

$$h_f = B \left( \frac{t}{s} \right)^{\frac{4}{3}} * \frac{V^2}{2g} * \text{sen } A \quad (53)$$

Donde:

$t$ = Grosor del barrote, en mm.

$s$ = Separación entre barrotes, en mm.

$V$ = Velocidad de aproximación a la rejilla, en m/s, siendo 1 m/s valor asumido generalmente.

$B$ = Coeficiente que varía según la sección transversal del barrote,  $B= 2,42$  para pletinas de sección rectangular y  $B= 1,83$  pletinas con esquinas redondeadas.

$A$ = Angulo de inclinación de la rejilla.

El valor calculado como pérdida en la rejilla, obtenido mediante esta expresión corresponde a 4 milímetros.

**6.1.7 Aliviaderos.** Con estas obras se elimina el caudal de exceso que se presenta en la bocatoma y en el tanque de carga, y se regresa al cause del aprovechamiento, como muestra en la figura 33. [11]

Figura 33. Aliviadero



Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

**6.1.7.1 Cálculo de las dimensiones de un aliviadero.** Para el cálculo de las dimensiones de este tipo de obra se debe conocer las características geométricas de los lugares donde se construirán estas obras, la cantidad de agua que circula, su velocidad y sus incrementos en tiempos de avenidas.

*Cálculo de la altura de rebose,  $h_c$ .* Para el cual partimos de la ecuación de continuidad:

$$A = \frac{Q}{V} \quad (54)$$

Donde:

$Q$ = Caudal, en  $m^3/s$ .

$V$ = Velocidad del agua en el canal, en m/s.

Además el tirante de agua  $d$ , por el ancho de la base  $b$ , del canal determinan el área mojada, siendo igual a:

$$A = b \cdot d \quad (55)$$

Donde:

$d$ = Altura, en m.

$b$ = Ancho de la base del canal, en m.

Como la altura de la cresta del aliviadero  $h_u$ , medida desde el fondo del canal debe estar alineada con el nivel normal del agua, es decir que coincida con el tirante de agua dentro del canal  $d$ .

Siendo:

$$h_u = d \quad (56)$$

Igualando las ecuaciones, se tiene.

$$b \cdot d \quad (m) = \frac{Q}{V}$$

Se tiene que:

$$d = \frac{Q}{V \cdot b}$$

Siendo la altura de rebose:

$$h_c = d_2 - d_1 \quad (57)$$

Donde:

$d_1$ = Altura de cresta del agua normal, en m.

$d_2$ = Altura de cresta del agua en épocas de avenidas, en m.

*Cálculo del caudal a evacuar,  $Q_e$ .* Siendo el caudal a evacuar por el vertedero la diferencia entre los caudales de avenida y estiaje:

$$Q_e = Q_2 - Q_1 \quad (58)$$

Donde:

$Q_2$ = Caudal de avenidas, en  $m^3/s$ .

$Q_I$ = Caudal de agua normal, en  $m^3/s$ .

*Cálculo de la longitud del aliviadero,  $L_v$ .* La longitud del aliviadero se halla a partir de la ecuación del vertedero estándar, debe ser lo suficiente largo para permitir el paso de todo el caudal excedente con la altura de rebose.

$$Q_e = C_w * L_v * h_c^{3/2} \quad (59)$$

Despejando la longitud del aliviadero es:

$$L_v = \frac{Q_e}{C_w * h_c^{1,5}}$$

Donde:

$Q_e$ = Caudal a evacuar, en  $m^3/s$ .

$C_w$ = Coeficiente de descarga,  $C_w= 1.6$

$h_c$ = Profundidad de rebose, en m.

Los cálculos que corresponden a los aliviaderos existentes entre la bocatoma y el tanque de carga, se muestran en la tabla 20.

Tabla 20. Dimensiones de aliviaderos

	$Q_1$ ( $m^3/s$ )	$Q_2$ ( $m^3/s$ )	$Q_e$ ( $m^3/s$ )	V (m/s)	b (m)
Captación.	0,030	0,040	0,010	0,43	1,0
Canal.	0,030	0,036	0,006	1,50	0,24
Desarenador.	0,0238	0,028	0,0047	0,20	0,5

Fuente: Autor

Tabla 20. (Continuación)

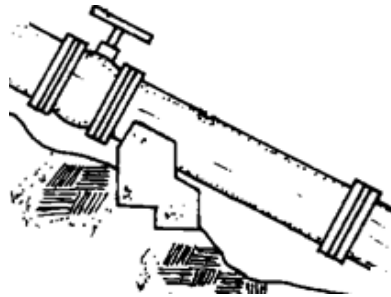
$d_1$ (m)	$d_2$ (m)	$h_c$ (m)	$C_w$	$L_v$ (m)
0,07	0,10	0,03	1,6	1,2
0,08	0,1	0,02	1,6	1,32
0,057	0,047	0,01	1,6	2,97

Fuente: Autor

Es recomendable construir otros aliviaderos a intervalos de 50 m, a lo largo de todo el canal principal, el costo de incluir estos reboses es considerablemente menor que el costo de erosión de pendientes.

**6.1.8** *Tubería de presión.* Son tuberías que transportan agua bajo presión hasta la turbina, los principales componentes de una estructura de tubería de presión se aprecian en la figura 34.

Figura 34. Tubería de presión (Componentes)



Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

**6.1.8.1** *Cálculo del diámetro de la tubería.* La determinación del diámetro mínimo de la tubería, con un espesor y diámetro adecuado, se empleara la ecuación:

$$D = (0,0052 Q_d^3)^{1/7} \quad (60)$$

Donde:

$Q_d$  = Caudal de diseño, en  $m^3/s$ .

$$D = (0,0052 (0,0238)^3)^{1/7}$$

$$D = 0,09505 \text{ m}$$

Para minimizar las pérdidas de carga en la tubería se escoge un diámetro mayor, los resultados se analizaran más adelante.

**6.1.8.2** *Selección de la tubería de presión.* Se realiza de acuerdo a diversos criterios:

*Carga disponible.* Es la diferencia de elevación entre la estructura u obra de captación y el cuarto de maquinas.

### *Tipo de material de la tubería*

#### *Tubería de Plástico*

#### *Tubería de Acero*

*Y resistencia mecánica del material.* Las distintas clases de tuberías a seleccionar, son función de la máxima presión que puede presentarse en la tubería ver (ANEXO C). La resistencia, la presión esta directamente en función del diámetro y el espesor del tubo.

*Criterios de selección de la tubería.* En la determinación de una tubería, se consideran diferentes soluciones y se evalúan diversas alternativas desde el punto de vista económico, y disponibilidad en el mercado. [10]

*Cloruro de Polivinilo, PVC.* Es la tubería plástica más empleada, que es liviana, fácil de transportar, resistente a presiones elevadas, tiene un factor de fricción bajo y no se corroe, además de ser relativamente económica, y de producirse en variados diámetros.

No obstante, es relativamente frágil y puede ser dañada por golpes o impactos. La principal desventaja es el deterioro cuando se expone a la luz ultravioleta, afectando seriamente la resistencia de la tubería. Lo que puede ser un inconveniente a la hora de seleccionar el material de la tubería, por ello, siempre debe estar protegida de la luz solar directa ya sea enterrándola, cubriéndola o pintándola.

Los diámetros que se analizaran para este material son: 160 mm y 200 mm (ANEXO E).

*Acero.* Otra opción, debido a su facilidad de montaje, las prestaciones como resistencia al impacto, factor de fricción regular y durabilidad, además de ser el material más utilizado en tuberías de presión es el acero.

Ha sido unos de los materiales más usados, debido a sus excelentes propiedades físicas y mecánicas como: una alta resistencia, gran durabilidad, y un factor de fricción regular. Sin embargo las tuberías de acero de presión que son enterradas corren el riesgo de corroerse.

Se analizará tres posibles diámetros para este material: 6", 8" y 10" (ANEXO E).

**6.1.8.3 Cálculo de la velocidad del agua que fluye por la tubería.** La velocidad del agua que atraviesa por la tubería es un factor importante que hay que mantener bajo control. Si tenemos una alta circulación del agua a través de la tubería a altas velocidades esto ocasionaría mayor fricción y por lo tanto las pérdidas aumentarían.

Por este motivo se debe mantener la velocidad dentro de un rango aceptable. Se ha establecido que para obtener flujos menos perjudiciales, la velocidad límite debe estar regulada, la tabla 22, muestra los límites de estas velocidades.

La velocidad del agua en el interior de la tubería esta dada por:

$$V_T = 1,273 \frac{Q}{D^2} \quad (61)$$

Dónde:

$V_T$ = Velocidad de flujo, en m/s.

$Q$ = Caudal, en m<sup>3</sup>/s.

$D$ = Diámetro interior del tubo, en m.

En la tabla 21, se resumen las velocidades de los diferentes diámetros y materiales analizados.

Tabla 21. Velocidades de flujo en las tuberías

TIPO	D <sub>N</sub>	Norma	Cedula	D <sub>i</sub> (m)	e (m)
PVC	160 mm	INEN 1373	--	0,1500	0,005
PVC	200 mm	INEN 1373	--	0,1876	0,0062
Acero	6"	A-53 GR-B	40	0,1612	0,00711
Acero	8"	A-53 GR-B	40	0,2109	0,00818
Acero	10"	A-53 GR-B	40	0,2637	0,00927

Fuente: Autor



Tabla 21. (Continuación)

A (m <sup>2</sup> )	V <sub>T</sub> (m/s)
0,017	1,346
0,027	0,861
0,020	1,166
0,034	0,681
0,054	0,435

Fuente: Autor

Tabla 22. Limite de velocidades recomendadas (m/seg) en tuberías para agua

Servicio	Velocidad
Alimentación de calderas . . . . .	2.4 a 4.6 m/s (8 a 15 pie/s)
Succión de bombas y líneas de descarga . . . . .	1.2 a 2.1 m/s (4 a 7 pie/s)
Servicios generales . . . . .	1.2 a 3.0 m/s (4 a 10 pie/s)
Distribución de agua potable . . . . .	hasta 2.1 m/s (7 pie/s)

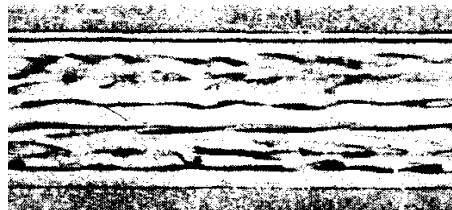
Fuente: CRANE. Flujo de Fluidos en Válvulas, accesorios y tuberías.

**NOTA:** Según Crane [2], la velocidad máxima del agua debe ser 3,0 m/s con el fin de controlar el desgaste por erosión y los efectos dinámicos nocivos por sobrepresiones perjudiciales.

**6.1.8.4 Cálculo de pérdidas de carga.** Las pérdidas de energía se producen debido a dos factores: Pérdidas de superficie en el contacto del fluido, con la tubería, rozamiento de unas capas de fluido con otras o de las partículas de fluido entre si, ver figura 35.

Y pérdidas de forma, que tienen lugar en las transiciones (estrechamientos o expansiones de la corriente), codos, válvulas, etc.

Figura 35. Transporte de agua en el interior de la tubería



Fuente: CRANE. Flujo de Fluidos en Válvulas, accesorios y tuberías.

*Pérdidas primarias.* Son aquellas pérdidas de superficie que se producen por el contacto del fluido, con la tubería, y están dadas por:

$$h_{rp} = \frac{\lambda * L_t * V_T^2}{2 * g * D} \quad (62)$$

Dónde:

$\lambda$ = Factor de fricción de la tubería.

$D$ = Diámetro interior de la tubería, en m.

$V_T$ = Velocidad del agua, en m/s.

A continuación se ofrece el método para determinar el coeficiente  $\lambda$  de fricción de la tubería.

*Factor de fricción de la tubería,  $\lambda$ .* El cual esta determinado por la aplicación del diagrama de Moody (ANEXO H), que es función de Reynolds, y la rugosidad relativa del material.

*Número de Reynolds,  $R_e$ .* El valor de Reynolds calcula de la siguiente manera:

$$Re = \frac{Q_d * D}{A * \gamma} \quad (63)$$

Dónde:

$D$ = Diámetro interior de la tubería, en m.

$Q_d$ = Caudal de diseño, en m<sup>3</sup>/s.

$Y$ = Viscosidad cinemática del fluido, en m<sup>2</sup>/s.

Además la viscosidad cinemática del fluido  $Y$ , está en función de la temperatura del fluido que circula por la tubería (ANEXO G), su valor determinado es 1.15x10-6 m<sup>2</sup>/s.

*Rugosidad relativa,  $k/D$ .* La Rugosidad relativa se puede calcular de la siguiente manera:

$$Rugosidad\ relativa = \frac{k}{D} \quad (64)$$

Donde:

$k$ = Rugosidad absoluta del material, (ANEXO C).

Encontrados los valores de Reynolds y Rugosidad relativa, determinamos el factor de fricción del material.

Los valores de coeficiente fricción, número de Reynolds, Rugosidad relativa, y las pérdidas primarias, se muestran en la tabla 23.

Tabla 23. Pérdidas por fricción en tuberías

TIPO	D <sub>N</sub>	D <sub>i</sub> (m)	V <sub>T</sub> (m/s)	Re	k/D
PVC	160 mm	0,1500	1,346	175670,15	1,00E-05
PVC	200 mm	0,1876	0,861	140461,20	8,00E-06
Acero	6"	0,1612	1,166	163474,92	3,10E-04
Acero	8"	0,2109	0,681	124931,36	2,37E-04
Acero	10"	0,2637	0,435	99914,771	1,90E-04

Fuente: Autor

Tabla 23. (Continuación)

$\lambda$	h <sub>rp</sub> (m)
0,0160	1,264
0,0167	0,431
0,0182	1,007
0,0185	0,266
0,0189	0,089

Fuente: Autor

*Pérdidas secundarias.* Expresión de uso universal, en libros y formularios de hidráulica, y análoga a la fórmula de Darcy-Weisbach para las pérdidas secundarias, determinada por la ecuación:

$$h_{rs} = k * \frac{V_t^2}{2 * g} \quad (65)$$

Dónde:

k= Coeficiente de pérdidas por accesorios.

Por lo general las pérdidas por turbulencia son menos comparadas con el efecto de la fricción de pared.

*Coefficiente de pérdidas por accesorios, k.* Es un factor asociado a codos, válvulas, cambios de dirección etc., el cual es propio de cada elemento del sistema, donde:

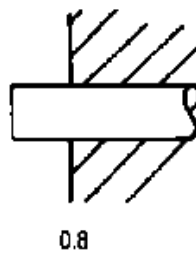
$$k = k_1 + k_2 + k_3 + \dots + k_n \quad (66)$$

Dónde:

$k_1, k_2, k_3, k_n$ = Coeficientes de perdidas correspondiente a cada elemento del sistema.

*Determinación del coeficiente de pérdida de ingreso a tubería.* El coeficiente de pérdida de ingreso a la tubería  $k_1 = 0,8$  (ver ANEXO D).

Figura 36. Coeficiente de pérdida de ingreso de tubería



Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales, pág. 240

*Determinación del coeficiente de pérdida en curvas.* Donde el coeficiente de pérdidas en curvas, esta determinado en la tabla 24 (ANEXO D).

Tabla 24. Coeficiente de pérdidas en curvas circulares

Accesorio	Coefficiente k
Codo circular de 90°	0.9
Codo circular de 45°	0.42

Fuente: Jara, Jorge. Hidráulica de Tuberías, pág. 255

Emplearemos dos codos de 45°, el coeficiente de pérdidas en curvas  $k_2 = 0,84$

*Determinación del coeficiente de pérdida en válvulas.* En válvulas el coeficiente de pérdida esta determinado por su porcentaje de apertura, y tipo de válvula ver tabla.

Tabla 25. Pérdidas en válvulas para diferentes aperturas

Accesorio	Coefficiente k
Válvula de compuerta abierta 25%	24.0
Válvula de compuerta abierta 50%	5.6
Válvula de compuerta abierta 75%	1.15
Válvula de compuerta abierta 100%	0.19

Fuente: Jara, Jorge. Hidráulica de Tuberías, pág. 254

El coeficiente de pérdidas en la válvula  $k_3 = 0,19$

*Cálculo del coeficiente de pérdidas por accesorios total.* El cual esta dado por la suma del coeficiente correspondiente a cada accesorio que hace parte del sistema, donde:

$$k = 0,8 + 0,84 + 0,19 = 1,83$$

La tabla 26, muestra las pérdidas secundarias para los diferentes materiales y diámetros evaluados.

Tabla 26. Pérdidas secundarias totales para diferentes tipos de tubería

TIPO	$D_N$	$D_i$ (m)	$V_T$ (m/s)	$\Sigma_k$	$h_{rs}$ (m)
PVC	160 mm	0,1500	1,346	1,836	0,169
PVC	200 mm	0,1876	0,861	1,836	0,069
Acero	6"	0,1612	1,166	1,836	0,127
Acero	8"	0,2109	0,681	1,836	0,043
Acero	10"	0,2637	0,435	1,836	0,017

Fuente: Autor

*Cálculo de pérdidas totales.* La pérdida de carga total será la suma de pérdida por fricción en la tubería más la pérdida por turbulencia en accesorios:

$$h_{rt} = h_{rp} + h_{rs} \quad (67)$$

Dónde:

$h_{rp}$  = Perdidas primarias, en m.

$h_{rs}$ = Pérdidas secundarias, en m.

Los cálculos correspondientes a las pérdidas de carga en tuberías se muestran en la tabla 27.

Tabla 27. Pérdidas totales en (m) para las diferentes tuberías

TIPO	$D_N$	$V_T$ (m/s)	$h_{rp}$ (m)	$h_{rs}$ (m)	$h_{rt}$ (m)
PVC	160 mm	1,346	1,264	0,169	1,434
PVC	200 mm	0,861	0,431	0,069	0,500
Acero	6"	1,166	1,007	0,127	1,134
Acero	8"	0,681	0,266	0,043	0,309
Acero	10"	0,435	0,089	0,017	0,106

Fuente: Autor

*Cálculo de pérdidas porcentuales.* Las pérdidas porcentuales están dadas por:

$$\% \text{ de pérdidas} = \frac{100 * h_{rt}}{H_B} \quad (68)$$

Donde:

$h_{rt}$ = Pérdidas totales, en m.

$H_B$ = Altura Bruta, en m.

Los porcentajes de pérdidas en tuberías, se muestran en la tabla 28.

Tabla 28. Porcentaje de pérdidas en tuberías

TIPO	$D_N$	e (m)	A (m <sup>2</sup> )	$h_{rt}$ (m)	Pérdidas (%)
PVC	160 mm	0,005	0,017	1,434	30,516
PVC	200 mm	0,0062	0,027	0,500	10,653
Acero	6"	0,00711	0,020	1,134	24,138
Acero	8"	0,00818	0,034	0,309	6,587
Acero	10"	0,00927	0,054	0,106	2,271

Fuente: Autor

**NOTA:** El porcentaje de pérdidas debe estar entre el 3 y 11 %, según ITDG [2], si no lo esta se debe seleccionar un diámetro de tubería más adecuado.

**6.1.8.5 Cálculo del espesor de la tubería.** El espesor teórico mínimo de la tubería viene determinado por:

$$e' = \frac{5 \cdot f_s \cdot (H_B + h_s) \cdot 10^6 \cdot D \cdot K_j}{\delta_t} + K_c \quad (69)$$

Donde:

$K_j, K_c$ = Factores de corrección de los materiales.

$h_s$ = Sobre presión por golpe de ariete, en m.

$f_s$ = Factor de seguridad.

$\delta_t$ = Es la resistencia del material, en MPa.

Previo a la determinación del espesor teórico de la tubería se deben considerarse algunos conceptos:

*Factores de corrección de los materiales,  $k_j$  y  $k_c$  [10]*

*Para el acero*

Factor por tipo de junta,  $k_j$ : soldadura  $k_j= 1.1$ , plancha rolada y soldada  $k_j= 1.2$

Factor por corrosión,  $k_c$ :  $k_c= 1.1$  mm (durante 10 años de vida),  $k_c= 2$  mm (durante 20 años de vida)

*Para el Cloruro de Polivinilo (PVC).* Una aproximación para la tubería de Cloruro de Polivinilo PVC, tiene un factor de multiplicación  $k_j$  y  $k_c$  igual a 1.

*Resistencia última del material,  $\delta_t$ .* Para el acero,  $\delta_t= 415$  MPa, para el PVC,  $\delta_t= 45$  MPa (ANEXO C).

*Factor de seguridad,  $f_s$ .* Se debe considerarse de 2 - 3, donde el valor recomendado como factor de seguridad es 3.

Otro factor importante que se debe considerar es:

*Sobre presión por golpe de ariete,  $h_s$ .* Sobre presión por golpe de ariete viene dada por la ecuación:

$$h_s = 0,3 * H_B \quad (70)$$

$$h_s = 0,3 * 4,7 = 1,41 \text{ m}$$

La tabla 29, muestra los espesores teóricos para las diferentes tuberías.

Tabla 29. Espesores nominales de las tuberías

TIPO	D <sub>N</sub>	e (mm)	A (m <sup>2</sup> )	V <sub>T</sub> (m/s)	e' (mm)
PVC	160 mm	5,00	0,017	1,346	4,055
PVC	200 mm	6,20	0,027	0,861	4,820
Acero	6"	7,11	0,020	1,166	2,391
Acero	8"	8,18	0,034	0,681	2,512
Acero	10"	9,27	0,054	0,435	2,640

Fuente: Autor

**6.1.8.6** *Cálculo de las tensiones que se generan en la tubería* [15]. Las principales tensiones que debe soportar el espesor de la tubería son:

*Tensión tangencial por golpe de ariete.* El golpe de ariete provoca que la tubería tienda a aumentar su diámetro, esto se traduce en esfuerzos tangenciales sobre la tubería. La tensión tangencial por golpe de ariete se puede calcular:

$$\delta_{ta} = \frac{P_s * D}{2 * e} \quad (71)$$

Dónde:

$P_s$ = Presión actuante por el golpe de ariete, en Pa.

$e$ = Espesor de la tubería, en m.

Un concepto importante a considerar para la determinación de la tensión por el golpe de ariete es:

*La presión por el golpe de ariete.* La presión por golpe de ariete es igual a:

$$P_s = (H_B + h_s) * g * \delta_w + P_a \quad (72)$$

Dónde:

$P_a$ = Presión atmosférica a determinada altura, en Pa (ANEXO L).

$h_s$ = Sobrepresión por el golpe de ariete,  $h_s = 1,41 \text{ m}$



Tenemos que es igual a:

$$P_s = (4,7 + 1,41) * 9,8 * 1000 + 72068,826 = 131946,826 \text{ Pa}$$

$$P_s = 1,3463 \text{ Kgf/cm}^2$$

*Tensión longitudinal por variación de temperatura.* Las variaciones de temperatura provocan contracciones y dilataciones en la tubería, que al estar anclada y apoyada rígidamente, crean esfuerzos longitudinales. Los cuales se calculan por la ecuación:

$$\delta_{te} = E * \alpha * (T_{max} - T_{min}) \quad (73)$$

Dónde:

$E$ = Módulo de elasticidad del material, en  $\text{Kgf/cm}^2$ .

$T_{max}$ = Temperatura máxima de la zona, en  $^{\circ}\text{C}$ .

$T_{min}$ = Temperatura mínima de la zona, en  $^{\circ}\text{C}$ .

$\alpha$ = Coeficiente de dilatación térmico del material, en  $1/^{\circ}\text{C}$  (ANEXO C).

*Tensión longitudinal por la presión hidrostática.* En condiciones que la válvula de control está totalmente cerrada, el líquido ejerce presión sobre las paredes de la tubería y sobre la válvula intentando al mismo tiempo aumentar su diámetro y alargar su longitud, y se calcula mediante la ecuación:

$$\delta_{tl} = \frac{P_s * D^2}{4 * e * (e + D)} \quad (74)$$

Dónde:

$P_s$ = Presión actuante por el golpe de ariete, en  $\text{Kgf/cm}^2$ .

$e$ = Espesor de la tubería, en mm.

Previo a la determinación del espesor teórico de la tubería se deben considerarse algunos conceptos:

*Tensión longitudinal por flexión entre apoyos.* Esta tensión se debe al peso propio de la tubería y al peso del agua, si la tubería descansa sobre boques de apoyo, debe soportar los esfuerzos provocados por la flexión.

La ecuación de esfuerzos de flexión es:

$$\delta_f = \frac{F \cdot (L_a \cdot 100)^2 \cdot \text{Sen} \theta}{8 \cdot W} \quad (75)$$

Donde:

$F$  = Peso del agua y tubería, en Kg/m.

$L_a$  = Longitud entre apoyos, en m.

$\theta$  = Ángulo complementario al ángulo de la pendiente que está en el campo, en °.

$W$  = Momento resistente de la sección transversal de la tubería, en  $\text{cm}^3$ .

Para el cálculo del peso agua y la tubería se considera como una viga simplemente apoyada, ver figura 37, el cual esta dado por la ecuación:

$$F = \left[ \frac{\gamma_t \cdot \pi \cdot (D_e^2 - D^2)}{4} \right] + \gamma_a \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4} \quad (76)$$

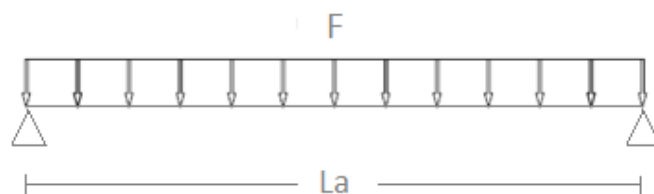
Dónde:

$D_e$  = Diámetro exterior de tubería, en m.

$\gamma_a$  = Peso específico del agua, en  $\text{Kgf/m}^3$ .

$\gamma_t$  = Peso específico de la tubería, en  $\text{Kgf/m}^3$  (ANEXO C).

Figura 37. Diagrama de cargas en la tubería de presión



Fuente: Autor

El momento resistente esta determinado por:

$$W = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_e^4 - D^4}{D_e} \cdot 100^3 \quad (77)$$

Dónde:

$D$ = Diámetro interior tubería, en m.

$D_e$ = Diámetro exterior tubería, en m.

El ángulo complementario esta determinado por la diferencia:

$$\theta = 90 - \theta_1 \quad (78)$$

Dónde:

$\theta_1$ = Angulo de la pendiente que está en el campo, en °.

*Longitud máxima admisible entre apoyos de la tubería.* Está en función de las propiedades geométricas de la tubería, la ecuación que determina longitud máxima admisible entre apoyos es:

$$L_{ad} = \sqrt[3]{\frac{16}{75} * \frac{E * I * 1000}{F}} \quad (79)$$

Dónde:

$E$ = Módulo de elasticidad del material, en Kgf/cm<sup>2</sup>.

$F$ = Peso del agua y tubería por unidad de longitud, en Kg/m.

$I$ = Momento de inercia de la tubería, en m<sup>4</sup>.

El momento de inercia para la tubería es:

$$I = \frac{\pi * (D_e^4 - D^4)}{64} \quad (2)$$

La tabla, muestra la longitud máxima admisible entre apoyos.

*Cálculo de la longitud entre apoyos.* La longitud entre apoyos de la tubería, esta determinada por:

$$L_s = L_{ad} - \Delta_L \quad (80)$$

Dónde:

$\Delta_L$ = Longitud de seguridad, (m). Se considera 2 m para el acero y 0,5 m para el PVC respectivamente [2].

La tabla 30, muestra la longitud entre apoyos de la tubería.

Tabla 30. Longitud entre apoyos

TIPO	I (m <sup>4</sup> )	F (kgf/m)	L <sub>ad</sub> (m)	Δ <sub>L</sub> (m)
PVC	3,4828E-06	19,314	2,259	0
PVC	8,4448E-06	30,189	2,616	0
Acero	6,2451E-06	34,849	9,308	2
Acero	1,597E-05	56,627	10,827	2
Acero	3,519E-05	85,302	12,291	2

Fuente: Autor

Tabla 30. (Continuación)

L <sub>a</sub> (m)	W (cm <sup>3</sup> )
~ 2	45
~ 3	87
~ 5	74
~ 5	146
~ 6	258

Fuente: Autor

NOTA: Pese a los cálculos anteriores se tomará una distancia de 4,5 metros entre apoyos, la cual se recomienda como referencia del fabricante.

*Tensión longitudinal por variación de pendiente.* Esta tensión se debe a la inclinación por variación de la pendiente del terreno, se determina mediante la ecuación:

$$\delta_j = \frac{4 * F * L_a * \cos \theta}{\pi * (D_e^2 - D^2) * 100} \quad (81)$$

Dónde:

*F*= Peso que produce el agua y la tubería, en Kg/cm.

*L<sub>a</sub>*= Longitud entre apoyos, se considera 4,5 m.

*θ*= Ángulo complementario al ángulo de la pendiente que está en el campo, en °.

*D<sub>e</sub>*= Diámetro exterior de la tubería, en m.

*Cálculo del esfuerzo equivalente.* El esfuerzo equivalente esta dado por la ecuación:

$$\delta_{eq} = \sqrt{\delta_{ta}^2 + (\delta_{te} + \delta_{tl} + \delta_f + \delta_j)^2} \quad (82)$$

Dónde:

$\delta_{eq}$ = Es el esfuerzo equivalente de tubería, en Kgf/cm<sup>2</sup>.

Los cálculos que corresponden a las tensiones actuantes y el esfuerzo equivalente de tuberías, para diferentes materiales y diámetros se muestran en Tabla 31.

Tabla 31. Tensiones en la tubería

TIPO	D <sub>N</sub>	$\delta_{ta}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\delta_{te}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\delta_{tl}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\delta_f$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
PVC	160 mm	20,195	21,6	9,8	109
PVC	200 mm	20,369	21,6	9,9	88
Acero	6"	15,262	379,8	7,3	119
Acero	8"	17,358	379,8	8,4	98
Acero	10"	19,152	379,8	9,3	84

Fuente: Autor

Tabla 31. (Continuación)

$\delta_j$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\delta_{eq}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
0,13	142
0,15	121
0,48	507
0,63	487
0,78	474

Fuente: Autor

*Cálculo del coeficiente de seguridad de la tubería.* El criterio que se muestra sirve para determinar si el diseño de tubería está bien hecho:

$$\text{Si: } \delta_{ad} > \delta_{eq} \quad (83)$$

Y el coeficiente de seguridad se puede calcular de la siguiente manera:

$$\eta_{SL} = \frac{\delta_{ad}}{\delta_{eq}} \quad (84)$$

Dónde:

$\delta_{eq}$ = Esfuerzo equivalente, en Kgf/cm<sup>2</sup>.

$\delta_{ad}$ = Esfuerzo admisible, en Kgf/cm<sup>2</sup>.

La tabla 32, muestra el coeficiente de seguridad para las diferentes tuberías.

Tabla 32. Coeficientes de seguridad de la tubería

TIPO	D <sub>N</sub>	$\delta_{eq}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\delta_{ad}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\eta_{SL}$	Criterio
PVC	160 mm	142	306	2,159	Ok
PVC	200 mm	121	306	2,529	Ok
Acero	6"	507	1771,67	3,497	Ok
Acero	8"	487	1771,67	3,635	Ok
Acero	10"	474	1771,67	3,738	Ok

Fuente: Autor

Los valores admisibles son considerados, según la norma AISI B31.4.

**6.1.8.7 Selección de tubería.** La tubería fue seleccionada de tal manera que posea el diámetro y material correcto tratando de obtener el menor costo y no genere una excesiva caída de presión.

En la tabla 33, se muestran las características de la tubería seleccionada.

Tabla 33. Datos generales de tubería

TIPO	D <sub>N</sub> (mm)	L (m)	Espesor (mm)	Diámetro interior (mm)	Presión de trabajo (MPa)
PVC	200	6	6,2	187,6	0,80

Fuente: Tuberías y accesorios de PVC para presión, plastigama

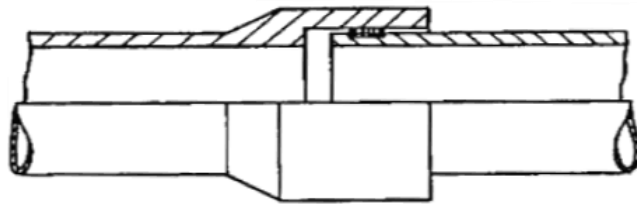
NOTA: Antes de proceder a su cotización, la tubería fue sometida a cálculos para asegurar que se encuentre dentro de los rangos de la norma de fabricación INEN 1373.

## 6.1.9 Actividades complementarias

**6.1.9.1 Uniones.** Las tuberías, por lo general, vienen en longitudes estándares y deben ser unidas entre si. Hay muchas, maneras de hacerlo. El tipo de unión para la tubería de Cloruro de Polivinilo (PVC) en nuestro caso será:

### *Unión de espiga y campana*

Figura 38. Unión Espiga-Campana



Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

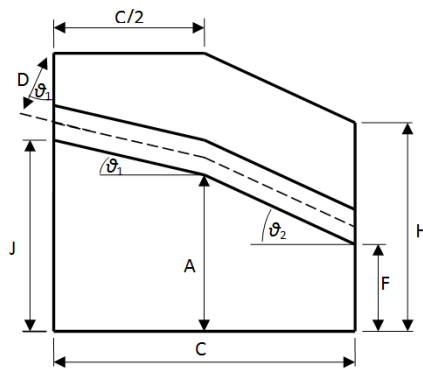
Este tipo de uniones vienen preparadas de fábrica, de manera que el diámetro interno de la campana es igual al diámetro externo de la tubería, ver figura 38. El extremo de cada tubería puede así ser empujado en la campana de la siguiente. Se necesita sellar cada sección de tubería, lo que se logra empleando un buen sellado de caucho o un pegamento especial.

**6.1.9.2 Anclajes.** Una vez determinado la tubería de presión a utilizar, y todas las piezas, se debe realizar la sujeción mediante macizos de anclaje, de los codos, cambios de dirección, piezas de derivación, en general, todos aquellos elementos sometidos a esfuerzos que no deba soportar la tubería.

Así mismo se debe disponer de macizos de anclaje cuando las pendientes sean excesivamente fuertes para evitar movimientos de la tubería o exista riesgo de flotabilidad de la misma.

*Dimensionamiento de anclajes.* Para dimensionar un anclaje se recomienda tener en cuenta las siguientes cotas de figura 39.

Figura 39. Vista lateral y dimensiones de un anclaje



Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

Las principales medidas que deben tener los anclajes son:

*Longitud entre la base del anclaje y el cambio de dirección de la tubería, A.* La longitud entre la base del anclaje y el cambio de dirección de la tubería, se puede calcular de la siguiente manera:

$$A = 4 * D \quad (85)$$

*Altura del anclaje, B*

$$B = 3 * D \quad (86)$$

*Ancho del anclaje C*

$$C = 3 * D \quad (87)$$

*Distancia inferior entre la base del anclaje y la tubería aguas abajo, F*

$$F = A - 0,5 * C * \text{tg} (\theta_2) \quad (88)$$

Donde:

$\theta_2$ = Ángulo de inclinación de la tubería respecto a la horizontal XY aguas abajo, en °, ver figura

*Distancia superior entre la base del anclaje y la tubería aguas arriba, J*

$$J = A + 0,5 * C * \text{tg} (\theta_1) \quad (89)$$



Donde:

$\theta_1$ = Angulo de inclinación de la tubería respecto a la horizontal XY aguas arriba, (°) (ver figura 39)

*Altura del anclaje aguas abajo, H*

$$H = 1,5 * D + F \quad (90)$$

Dónde:

*D*= Diámetro de la tubería, en m.

Las dimensiones de los anclajes, se resumen en la tabla 34.

Tabla 34. Dimensiones generales de los anclajes

	$\Theta$ (°)	A (m)	B (m)	C (m)	F (m)	J (m)	H (m)
Anclaje. 1	2	0,750	0,563	0,563	0,741	0,799	1,022
Anclaje. 2	3	0,750	0,563	0,563	0,736	0,799	1,017

Fuente: Autor

Otros valores importantes a determinar son:

*Volumen de concreto del anclaje.* El volumen de concreto del anclaje esta dado por:

$$V_{concreto} = V_{tot} - V_t \quad (91)$$

Donde:

$V_{total}$ = Volumen total del anclaje, en m<sup>3</sup>.

$V_{tuberia}$ = Volumen de la tubería dentro del anclaje, en m<sup>3</sup>.

*Volumen total del anclaje.* El volumen total del anclaje esta dado por:

$$V_{total} = B * \left( \frac{C}{4} * 3 * (J + 1,5 * D * \cos\theta_1) + H \right) \quad (92)$$

*Volumen de tubería.* El volumen de la tubería esta dado por:

$$V_{tuberia} = \frac{\pi}{8} * C * (D + 2e) * \left( \frac{1}{\cos \theta_1} + \frac{1}{\cos \theta_2} \right) \quad (93)$$

Donde:

$\theta_1$ = Ángulo de inclinación de la tubería respecto a la horizontal XY aguas arriba, en  $^{\circ}$ .

$\theta_2$ = Ángulo de inclinación de la tubería respecto a la horizontal XY aguas abajo, en  $^{\circ}$ .

Las dimensiones generales de los anclajes, se muestran en la tabla 35.

Tabla 35. Dimensiones de anclajes

	V <sub>total</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>tubería</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>concreto</sub> (m <sup>3</sup> )
Anclaje. 1	0,499	0,088	0,411
Anclaje. 2	0,498	0,089	0,409

Fuente: Autor

*Fuerzas que intervienen sobre los anclajes.* Para el cálculo de anclajes debe considerarse, principalmente el empuje debido a la presión hidráulica interior producido en los cambios de dirección en la tubería, dado por:

$$E_t = 2 * P * A * \text{sen} \left( \frac{\alpha}{2} \right) * 10^3 \quad (94)$$

Donde:

$E_t$ = Empuje en la tubería, en kN.

$P$ = Presión interior en la tubería, en N/m<sup>2</sup>.

$A$ = Área interior de la tubería, en m<sup>2</sup>.

$\alpha$ = Ángulo interior entre las alineaciones de la tubería, en  $^{\circ}$ .

Un factor a tener en cuenta es la presión en el interior de la tubería es.

*Cálculo de la presión en el interior de la tubería.* La presión en el interior de la tubería esta dada por:

$$P = H_B * g * \delta w + P_a \quad (95)$$

Dónde:

$H_B$ = Altura bruta, en m.

$\delta_w$ = Densidad del agua, 1000 Kg/m<sup>3</sup>.

$P_a$ = Presión atmosférica a determinada altura, en Pa.

En la siguiente tabla 36, muestra las fuerzas que actúan sobre anclajes.

Tabla 36. Fuerzas que actúan sobre los anclajes

	$\alpha$ ( <sup>0</sup> )	$H_B$ (m)	A (m <sup>2</sup> )	P (MPa)	$E_t$ (KN)
Anclaje. 1	171	1,64	0,027	0,088	0,762
Anclaje. 2	175	2,65	0,027	0,098	0,472

Fuente: Autor

*Análisis de estabilidad de anclajes.* El análisis de estabilidad comprobará si los anclajes son suficientes para soportar las cargas aplicadas. De acuerdo al diseño del proyecto los bloques de anclaje serán de hormigón armado de 180 kg/cm<sup>2</sup>, se dimensionaran de manera que su peso iguale al empuje máximo a resistir.

*Cálculo del peso del anclaje.* El peso del anclaje se calcula de la siguiente manera:

$$W_c = \gamma_c * V_c \quad (96)$$

Donde:

$V_{Concreto}$ = Volumen del concreto del anclaje, en m<sup>3</sup>.

$\gamma_c$ = Peso específico del material del bloque, donde  $\gamma_c = 2300$  Kg/m<sup>3</sup>

El análisis de estabilidad, se muestra en la tabla 37.

Tabla 37. Estabilidad de anclajes

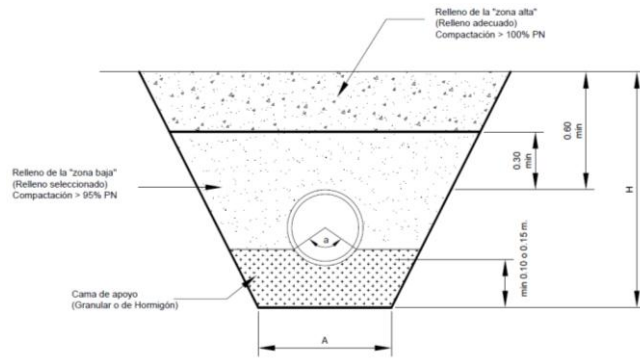
	$W_c$ (kg)	$E_t$ (Kg)	Criterio
Anclaje. 1	945,157	77,780	ok
Anclaje. 2	942,196	48,200	ok

Fuente: Autor

Si el dimensionamiento de los anclajes cumple con la condición su dimensionamiento es correcto.

### 6.1.9.3 Relleno y compactación de las zanjas

Figura 40. Rellenos en tubería enterrada



Fuente: Organización Latinoamericana de Energía

Una vez efectuados todos los cálculos en la tubería, se debe proceder al relleno definitivo de los tramos (figura 40). El cual se subdivide, en general, en tres zonas:

*La cama de apoyo.* Esta se debe realizar con arena o grava y se construye sobre fondo de la zanja que ha sido previamente compactada.

La cama resultante deberá ser rebajada en la posición correspondiente a cada acoplamiento, para garantizar que la tubería tenga un soporte continuo y no descansa sobre los acoplamientos.

*Zona baja de la zanja.* Alcanzara una altura de unos 30 cm, por encima de la generatriz superior del tubo.

Este relleno debe ser de material no plástico, preferentemente granular y sin materias orgánicas, el tamaño máximo de las partículas recomendado es de medio centímetro, colocándose en capas de pequeño espesor, compactadas manual o mecánicamente.

*Zona alta de la zanja.* Corresponde al resto del relleno de la zanja hasta sus bodes superiores.

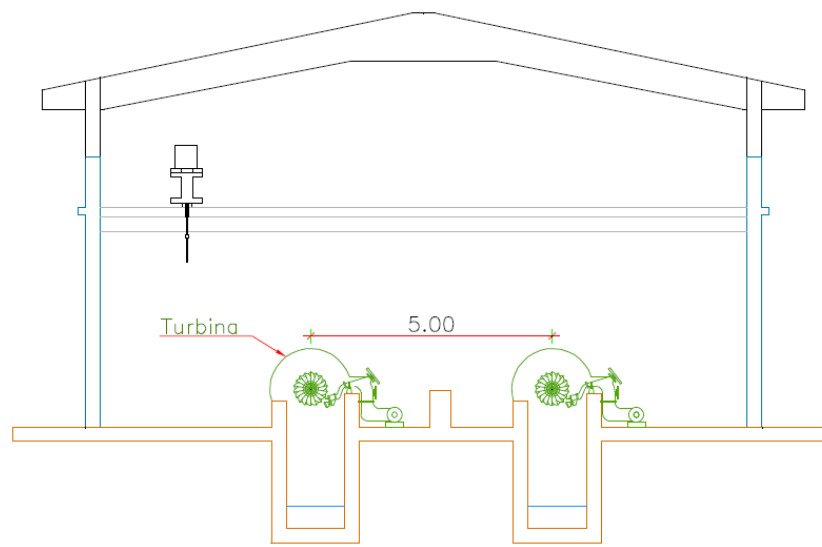
El relleno puede realizarse con cualquier tipo de material que no produzca daños en la tubería. El tamaño máximo admisible de las partículas recomendado será de quince centímetros, colocados en tongadas horizontales, compactadas manual o mecánicamente.

**NOTA:** Se debe prestar especial cuidado durante la compactación de los rellenos, de modo que no se produzcan ni movimientos ni daños en la tubería o su recubrimiento.

**6.1.9.4 Casa de máquinas.** Es el emplazamiento en donde se sitúa el equipo mecánico del proyecto, como son turbinas, bombas, entre otros.

El diseño de esta estructura debe garantizar el espacio para la instalación de los equipos mecánicos así como la ventilación requerida para su operación normal. La ubicación y el diseño estructural de la casa de maquinas se deben analizar considerando factores topográficos, geológicos, y de accesibilidad a la misma. La figura 41 muestra un esquema de la casa de maquinas prevista para el presente proyecto.

Figura 41. Vista en corte transversal de la casa de maquinas



Fuente: Autor

**6.1.10 Reservorio de almacenamiento.** Regula la diferencia de volumen que se produce entre el ingreso de agua al reservorio y la salida de agua, constituida principalmente por la demanda horaria, la cual es variable durante las horas del día. La función principal es almacenar agua cuando el suministro es menor que el consumo y

entregar el déficit cuando el consumo supera al suministro, otra función: es la de suministrar presión adecuada a la red de distribución.

**6.1.10.1 Volumen de almacenamiento.** El almacenamiento se dimensionará para satisfacer los requerimientos de un determinado esquema integral de servicios. Los volúmenes de almacenamiento deben comprender los requerimientos de regulación, incendio y reserva para interrupciones de servicio.

$$V = V_{REG} + V_I + V_E \quad (97)$$

Donde:

$V_{REG}$ = Volumen para compensar las variaciones en el consumo de agua.

$V_I$ = Volumen de reserva para atender casos de incendio.

$V_E$ = Volumen de reserva para emergencias por interrupción del servicio.

Figura 42. Volumen de almacenamiento



Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

Los principales volúmenes que se deben considerar en el reservorio de almacenamiento son:

*Volumen de regulación,  $V_{REG}$ .* Para la determinación del volumen de regulación emplearemos: el método de Analítico.

En la tabla 38, se muestra el consumo horario de agua en la localidad. Datos otorgados por funcionarios de la industria.

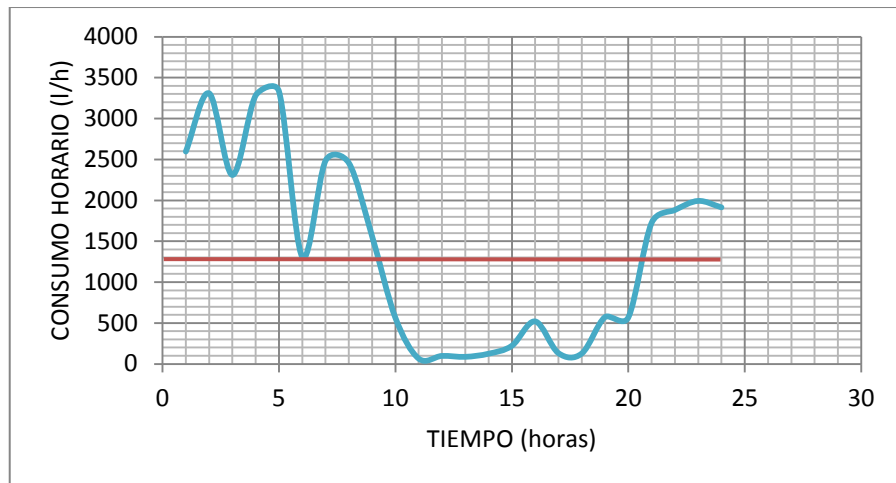
Tabla 38. Variaciones de consumo

<b>TIEMPO (hora)</b>	<b>VARIACIONES DE VOLUMEN DE CONSUMO (l/h)</b>
1	2596,29
2	3308,58
3	2309,93
4	3282,26
5	3333
6	1309,26
7	2484,63
8	2456,63
9	1558,96
10	562,522
11	65
12	98
13	87
14	125
15	222
16	520
17	132
18	127
19	573
20	568
21	1723,9
22	1881,8
23	1992,95
24	1913,95
<b>TOTAL</b>	<b>33231,662</b>

Fuente: Industria Lechera Floralp S.A

La figura 43, muestra las variaciones horarias de la demanda de agua durante las 24 horas del día.

Figura 43. Curva de variaciones de consumo horario



Consumo horario — Consumo medio

Fuente: Autor

De la figura 43, se puede obtener los diferentes valores de consumos que se presentan durante el día en la zona:

Consumo medio:

$$C_{\text{med}} = \frac{33231,662}{24} = 1384,65 \frac{\text{l}}{\text{h}} \approx 1,4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0,38 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Consumo máximo:

$$C_{\text{max}} = 3333,0 \frac{\text{l}}{\text{h}} = 3,33 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad \text{a las 5 horas}$$

Consumo mínimo:

$$C_{\text{min}} = 65 \frac{\text{l}}{\text{h}} = 0,065 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad \text{a las 11 horas}$$

Sea la siguiente modelación para obtener el volumen de regulación,  $V_{\text{REG}}$ , donde:

Ingreso – Salida

$$I - O = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (98)$$

$$\Delta V = (I - O) \Delta t$$



Además para que no se presente el Déficit/Exceso se debe cumplir:

$$\text{Consumo Medio [0]} = \text{Producción [I]}$$

Tabla 39. Variaciones de consumo horario

TIEMPO (hora)	VARIACIONES DE VOLUMEN DE CONSUMO (l/h)	CONSUMO m <sup>3</sup> [O]		PRODUCCION m <sup>3</sup> [I]		DIFERENCIA m <sup>3</sup>
		PARCIAL	C. ACUMUL.	PARCIAL	P. ACUMUL.	P. ACU - C. ACU
1	2596,29	2,596	2,596	1,395	1,395	-1
2	3308,58	3,309	5,905	1,395	2,790	-3
3	2309,93	2,310	8,215	1,395	4,185	-4
4	3282,26	3,282	11,497	1,395	5,580	-6
5	3333	3,333	14,830	1,395	6,975	-8
6	1309,26	1,309	16,139	1,395	8,370	-8
7	2484,63	2,485	18,624	1,395	9,765	-9
8	2456,63	2,457	21,081	1,395	11,160	-10
9	1558,96	1,559	22,640	1,395	12,555	-10
10	562,522	0,563	23,202	1,395	13,950	-9
11	65	0,065	23,267	1,395	15,345	-8
12	98	0,098	23,365	1,395	16,740	-7
13	87	0,087	23,452	1,395	18,135	-5
14	125	0,125	23,577	1,395	19,530	-4
15	222	0,222	23,799	1,395	20,925	-3
16	520	0,520	24,319	1,395	22,320	-2
17	132	0,132	24,451	1,395	23,715	-1
18	127	0,127	24,578	1,395	25,110	1
19	573	0,573	25,151	1,395	26,505	1
20	568	0,568	25,719	1,395	27,900	2
21	1723,9	1,724	27,443	1,395	29,295	2
22	1881,8	1,882	29,325	1,395	30,690	1
23	1992,95	1,993	31,318	1,395	32,085	1
24	1913,95	1,914	33,232	1,395	33,480	0
<b>TOTAL</b>	33231,662					

Fuente: Autor

MAX DIF (+): 2

MAX DIF (-): -10

VOL. REG: 12 m<sup>3</sup>

DIFERENCIA: (Producción Acumulado – Consumo Acumulado)

$$V_{REG} = 2 - (-10)$$

$$V_{REG} = 12 \text{ m}^3$$

*Volumen contra incendio,  $V_I$ .* Se encuentra en función del tamaño de la población, deberá asignarse un volumen adicional adoptado al siguiente:

$$V_I = 5 \text{ m}^3$$

NOTA: Independientemente de estos volúmenes, las edificaciones en general (residencial, comercial, industrial otros) deberán contar con sus propias reservas, en concordancia con lo establecido en la **Norma básica de la edificación**. Condiciones de protección contra incendios en los edificios: NBE-CPI/96

*Volumen de reserva,  $V_E$ .* Deberá justificarse la necesidad de un volumen adicional de reserva, que será igual al siete por ciento 7% del consumo máximo diario.

El volumen de reserva por interrupción de servicio:

$$V_E = 0,7 * Q_m * d \text{ (m}^3\text{)} \quad (99)$$

Dónde:

$Q_m$ = Caudal máximo diario en, (l/s)

$d$ = Segundos por día en, (s/día).

$$V_E = 0,07 * 0,925 \frac{\text{l}}{\text{s}} * 86400 \frac{\text{s}}{\text{día}}$$

$$V_E = 5,59 \text{ m}^3$$

*Cálculo del volumen de almacenamiento,  $V$ .* El volumen que debe tener en el tanque de almacenamiento será la suma de los diferentes volúmenes a considerar en su dimensionamiento:

$$V = 12,0 + 5,0 + 5,6$$

$$V = 22,6 \text{ m}^3$$

**6.1.10.2 Dimensionamiento del reservorio de almacenamiento.** En el dimensionamiento del reservorio de almacenamiento se realiza de acuerdo a diversos criterios constructivos.

#### *Ubicación*

Figura 44. Muestra la ubicación reservorio de almacenamiento



Fuente: Autor

El tanque estará ubicado a una cota de 2782,95 msnm a 12,15 m del nivel de la casa de máquinas, en donde una vez que se almacene el agua va hacer distribuida.

#### *Forma*

Figura 45. Muestra la forma del reservorio



Fuente: Autor

Se adoptado una forma rectangular, construido de concreto, además estará constituido por una cámara de válvulas para desagüe, desborde y salida del liquido a la red de distribución.

Las dimensiones del tanque son (4 x 3 x 2) largo, ancho y altura respectivamente:

Su área es:

$$A = 2 * (a * b + b * c + a * c) \quad (m^2)$$

Dando un área total de:

$$A = 2 * (4 * 3 + 3 * 2 + 4 * 2) = 54 \text{ m}^2$$

El volumen es:

$$V = a * b * c \quad (m^3) \quad (100)$$

Volumen total:

$$V = 4 * 3 * 2 = 24 \text{ m}^3$$

NOTA: El cálculo estructural y de distribución de armadura del reservorio de almacenamiento se muestra en (ANEXO Q).

**6.1.11 Selección de dispositivos anexos.** Los principales dispositivos a considerar para el control de las variables del sistema hídrico serán:

**6.1.11.1 Válvulas de control de flujo.** En el presente proyecto será necesario seleccionar válvulas para el control del flujo en el sistema.

Figura 46. Válvula de Compuerta “SOME PAL”



Fuente: Catalogo de accesorios SOME PAL

Dentro de las diferentes opciones disponibles en el mercado se ha utilizado válvula “SOMEPAL” de las siguientes características:

Tabla 40. Características técnicas válvula de compuerta “SOMEPAL”

Marca	SOMEPAL
Modelo:	VÁLVULA DE CUNHA ELÁSTICA CANHÕES LISOS
Diámetro Nominal (DN):	200 mm
□ a:	24
Presión Nominal (PN):	16 Psi
Temperatura máxima de trabajo:	70 °C
Nro. de unidades:	1

Fuente: Catalogo de accesorios SOMEPAL

*Volante de la válvula de control de flujo.* Se ha seleccionado volante de la válvula de control de flujo que presenta las siguientes características:

Tabla 41. Características técnicas volante “SOMEPAL”

Marca	VOLANTE SOMEPAL
Diámetro Nominal (DN)	200
Diámetro (D)	350 (mm)
□ a	24 (mm)
Nro. de unidades	1

Fuente: Catalogo de accesorios SOMEPAL

**6.1.11.2 Válvulas de aire.** Su finalidad es eliminar el aire generado por la propia conducción, además de permitir la entrada de aire para evitar colapsos en las instalaciones.

Figura 47. Válvula de aire



Fuente: Catalogo de accesorios HIDROTEN

De acuerdo AWWA 512, el diámetro adecuado de la válvula esta determinado según el diámetro de la tubería de la siguiente manera:

Tabla 42. Diámetro adecuado de la válvula de aire según el diámetro de la tubería

Diámetro de tubería (mm)	100-100	100-150	150-200	200-250	250-450	450-1000
Diámetro de la ventosa	¾"	1"	1 ¼"	2"	3"	4"

Fuente: Catalogo de accesorios Hidrotén

La válvula de aire seleccionada posee las siguientes especificaciones ver tabla 43.

Tabla 43. Características técnicas válvula de aire "HIDROTEN S.A"

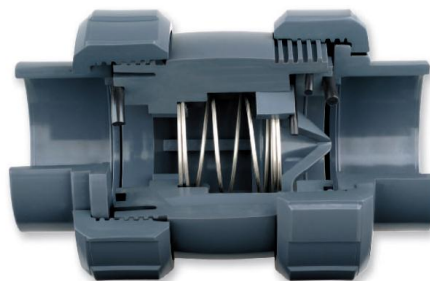
Marca:	HIDROTEN S.A
Modelo:	VENTOSA NET DOBLE EFECTO (D2): 17106
Diámetro Nominal (DN):	2 "
Presión de trabajo:	16 atm
Nro. de unidades:	1

Fuente: Catalogo de accesorios Hidrotén

**6.1.11.3 Válvulas antirretorno.** Estos dispositivos intercalados en una conducción permiten el caudal de agua en una misma dirección. Su instalación debe realizarse en todos aquellos casos en los que se desee evitar el retroceso del flujo.

En el presente proyecto será necesario seleccionar una válvula antirretorno en la línea de descarga de la bomba.

Figura 48. Válvula antirretorno, HIDROTEN, S.A



Fuente: Catalogo de accesorios Hidrotén

Tabla 44. Características técnicas válvula antirretorno enlace salidas encolar,  
HIDROTEN S.A

Marca:	HIDROTEN S.A.
Modelo:	EPDM-16004
Diámetro Nominal:	40
Presión Nominal:	232 Psi
Temperatura máxima de trabajo:	40 °C
Nro. de unidades:	1

Fuente: Catalogo de accesorios Hidrotén

## CAPÍTULO VII

### 7. SELECCIÓN DE LA TURBINA

En el proyecto no se pretende diseñar el grupo electromecánico; en su lugar, utilizando criterios y datos ya analizados previamente en este estudio, seleccionar equipos estandarizados de una gama de fabricantes en el mercado.

#### 7.1 Criterios de selección

El tipo, geometría y dimensiones de la turbina están condicionados, fundamentalmente, por los siguientes parámetros:

Altura de salto neta

Caudal a turbinar

Velocidad de rotación

De acuerdo a estos datos se puede diseñar cualquier tipo de turbina de acción o de reacción.

**7.1.1** *Altura de salto neta.* Para calcular la altura neta, basta restar las pérdidas de carga totales a lo largo del sistema de la altura bruta. La tabla 45, específica, para cada tipo de turbina, el rango de valores de salto neto dentro con la que puede trabajar, obsérvese que para una determinada altura de salto pueden emplearse varios tipos de turbinas.

Tabla 45. Rango de alturas de salto

Tipo de turbina	rango de salto en metros
Kaplan y hélice	$2 < H < 20$
Francis	$10 < H < 350$
Pelton	$50 < H < 1300$
Michell-Banki	$3 < H < 200$
Turgo	$50 < H < 250$

Fuente: Organización Latinoamericana de Energía

La altura neta se calcula mediante la expresión:

$$H_N = H_B - H_{rt} \quad (101)$$



Donde:

$H_B$ = Altura bruta, en m.

$H_{rt}$ = Pérdidas totales en la tubería de presión, en m.

$$H_N = 4,46 - 0,5 = 3,96 \text{ m}$$

Otros factores importantes a tener en cuenta son:

**7.1.2 Potencia disponible.** La potencia disponible es igual al salto disponible, multiplicado por el caudal y también por el peso específico del agua obteniéndose la ecuación fundamental de potencia hidráulica:

$$P_d = \gamma_w * Q * H_N \quad (102)$$

Dónde:

$\gamma_w$ = Peso específico del agua, en  $\text{N/m}^3$ .

$H_N$ = Altura neta, en m.

$Q$ = Caudal de diseño, en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

$$P_d = 9800 * 0,0238 * 3,96 = 0,9236 \text{ Kw}$$

**7.1.3 Potencia máxima entregada.** La potencia máxima entregada es menor debido a la ineficiencia de los sistemas de transmisión y grupo generador.

$$P = P_d * \eta_t * \eta_{tr} \quad (103)$$

Dónde:

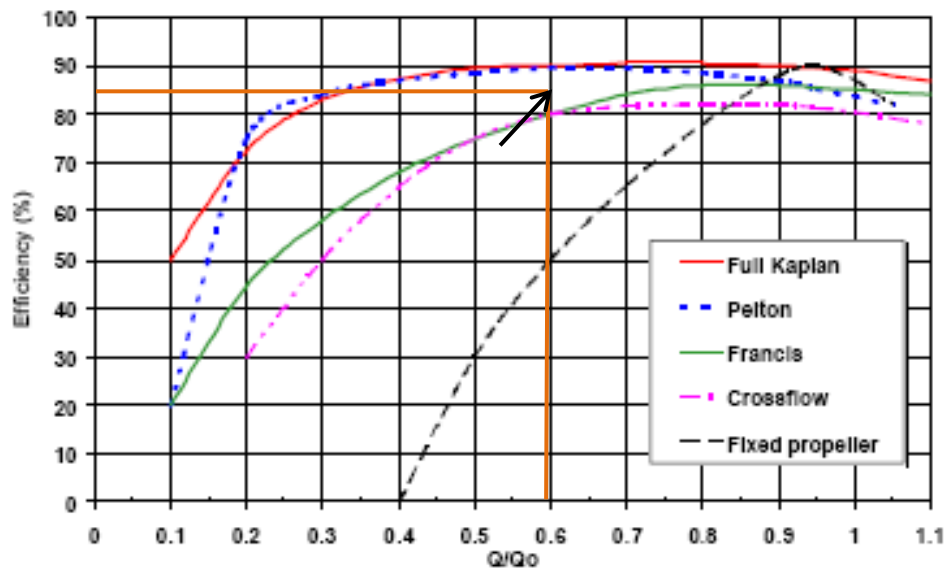
$\eta_t$ = Eficiencia turbina, en %.

$\eta_{tr}$ = Eficiencia sistema de transmisión, en %.

$P_d$ = Potencia disponible, en Kw.

La eficiencia de las turbinas depende de las características propias del fabricante, se puede estimar utilizando, la figura 49.

Figura 49. Curva de rendimiento de la turbina Michell-Banki



Fuente: Organización Latinoamericana de Energía

Según la gráfica de la figura 49. Para una eficiencia del 80% en la curva de la turbina Michell-Banki se tiene un caudal mínimo del 60% del caudal de diseño.

Tabla 46. Rendimientos característicos de tipos de transmisión

Tipo de transmisión	$\eta_{tr}$ (%)
Transmisiones dentadas (Engranajes).	0.99
Transmisiones por cadenas.	0.98
Transmisiones por correa plana.	0.95 - 0.97
Transmisiones por correa trapezoidal.	0.96
Transmisiones por tornillo sin fin.	0.75 – 0.90

Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

En la tabla 46, se especifica, para el tipo de transmisión su rendimiento, cada uno de ellos tiene características particulares que según el caso hacen conveniente su selección.

$$P = 0,709 \text{ Kw} = 0,9645 \text{ CV}$$

**7.1.4 Las Velocidades Específicas.** Uno de los principales criterios que se deben manejar a la hora de seleccionar el tipo de turbina a utilizar, son el número de velocidades específicas.

**7.1.4.1** *Velocidad específica en función de la potencia de turbina.* La velocidad específica en función de la potencia de la turbina viene dada por la ecuación:

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{(H_N)^{5/4}} \quad (104)$$

Donde:

$N$ = Velocidad de giro de turbina, en rpm.

$H_N$ = Salto neto, en m.

$P$ = Potencia máxima entregada por la turbina, en CV.

**7.1.4.2** *Velocidad específica en función del caudal*

$$N_q = \frac{N\sqrt{Q_d}}{(H_N)^{3/4}} \quad (105)$$

Donde:

$Q_d$ = Caudal de diseño, en m<sup>3</sup>/s.

Tabla 47. Clasificación de turbinas en función de velocidades específicas

Tipo de turbina	$N_q$	$N_s$
Turbina Pelton de 1 Tobera	hasta 9	hasta 28
Turbina Pelton de 2 Toberas	4 a 13	14 a 42
Turbina Pelton de 3 Tobera o más	5 a 22	17 a 73
Turbina Michell – Banki	18 a 60	60 a 200
Turbina Francis Lenta	18 a 68	69 a 125
Turbina Francis Normal	38 a 68	125 a 225
Turbina Francis Rápida	68 a 135	225 a 450
Turbina Axial	105 a 300	350 a 1000

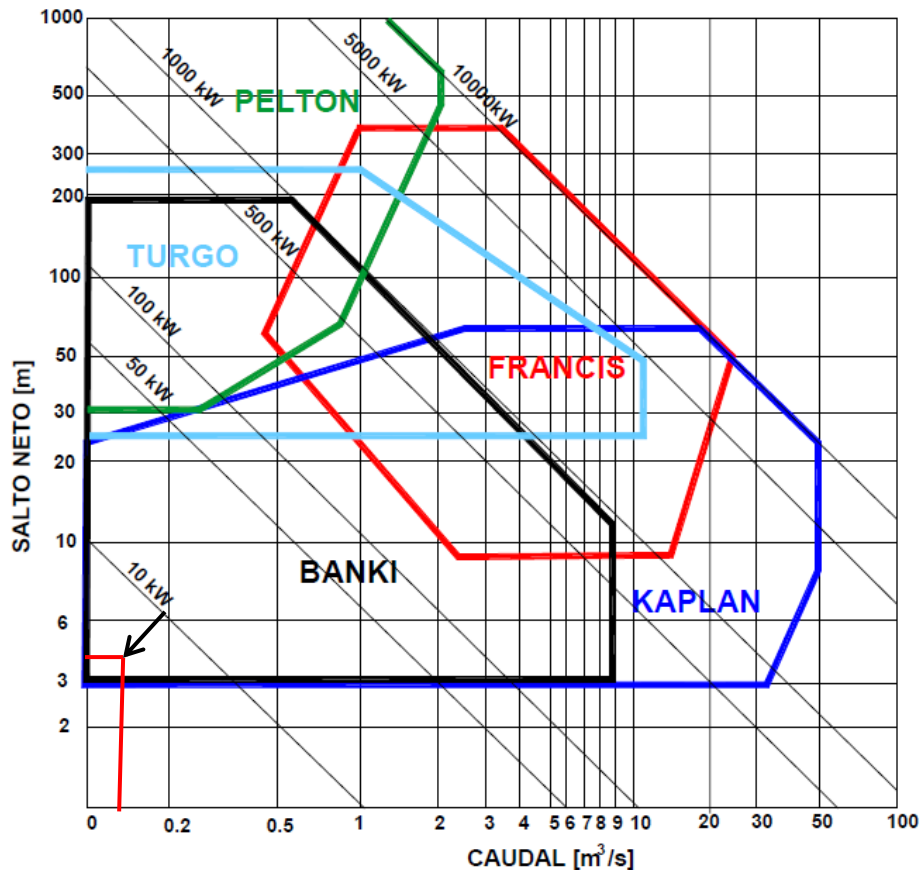
Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

La tabla 47, presenta el rango de aplicación de las turbinas, que definen las velocidades específicas.

## 7.2 Selección de la Turbina

La altura de salto neto y el caudal definen un punto en el plano que reúne las envolventes operacionales de cada tipo de turbina. La figura 50, define el rango de aplicación de las turbinas.

Figura 50. Nomograma para la selección de turbinas



Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

De la figura 50, se desprende que puede haber varios tipos de turbinas que se pueden aplicar en un sitio particular. La elección del mejor tipo de máquina para tales condiciones envuelven consideraciones sobre costos, eficiencia a cargas parciales, resistencia etc. Las velocidades específicas constituyen un excelente criterio de selección, más preciso, que el convencional de las envolventes operacionales.

Partimos del número de revoluciones de la bomba seleccionada para nuestro sistema, siendo  $N_b = 250$  rpm, sea una relación de transmisión igual a 2, relación entre las

velocidades de la rueda impulsora y de la rueda conducida; que identificaremos con la letra  $i$ :

$$i = \frac{N_1}{N_2} = 2$$

Donde:

$N_1$  = rpm de la rueda impulsora (turbina).

$N_2$  = rpm de la rueda conducida (bomba).

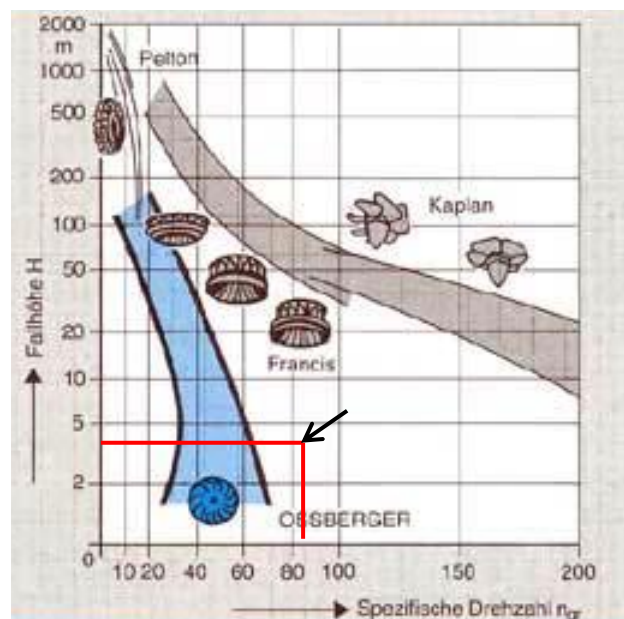
Obteniendo el número de Rpm de la turbina  $N_t = 500$  rpm, calculamos las velocidades específicas.

$$N_s = \frac{500\sqrt{0,9645}}{(3,96)^{5/4}} = 87,9$$

$$N_q = \frac{500\sqrt{0,0238}}{(3,96)^{3/4}} = 27,47$$

Considerando el rango de  $H$  y  $N_s$  como se indica en la figura 51, podremos determinar así la selección de los parámetros de la turbina considerando una fabricación accesible en el mercado.

Figura 51. Grafica  $H_N$  vs  $N_s$  para diferentes tipos de turbinas



Fuente: Organización Latinoamericana de Energía.

El rango de  $H$  y  $N_s$  de la figura 51, determina que la turbina a considerar es la de flujo transversal.

### **7.3 Descripción de la turbina empleada**

El inventor de la turbina de flujo transversal también conocida como turbina Michell-Banki fue el ingeniero Australiano A.G. Michell, quien obtuvo una patente para esta máquina en 1903. La turbina fue basada en la teoría de Poncelet, ingeniero francés (1788-1867) quien desarrolló la clásica rueda hidráulica de eje horizontal. El profesor húngaro Donat Banki en la ex Alemania Occidental hizo un trabajo extensivo sobre esta máquina entre 1912 y 1918.

La turbina Michell Banki es una maquina utilizada principalmente para pequeños aprovechamientos hidroeléctricos. Sus ventajas principales están en su sencillo diseño y su fácil construcción lo que la hace atractiva en el balance económico de un aprovechamiento a pequeña escala. No obstante esto no impide que la turbina se utilice en grandes instalaciones.

Se utiliza con una gama muy amplia de caudales (entre 25 l/s y 5 m<sup>3</sup>/s) y un rango de saltos entre 1m y 200 m, su rendimiento máximo es inferior al 82 %.

### **7.4 Principio de funcionamiento**

La turbina consta de dos elementos principales: un inyector y un rotor. El agua es restituida mediante una descarga a presión atmosférica. El rotor esta compuesto por dos discos paralelos a los cuales van unidos los álabes curvados en forma de sector circular.

Figura 52. Componentes de la turbina Michell-Banki



Fuente: Organización Latinoamericana de Energía.

El inyector posee una sección transversal rectangular que va unida a la tubería por una transición rectangular-circular. Este inyector es el que dirige el agua hacia el rotor a través de una sección que toma una determinada cantidad de álabes del mismo, y que guía el agua para que entre al rotor con un ángulo determinado obteniendo el mayor aprovechamiento de la energía.

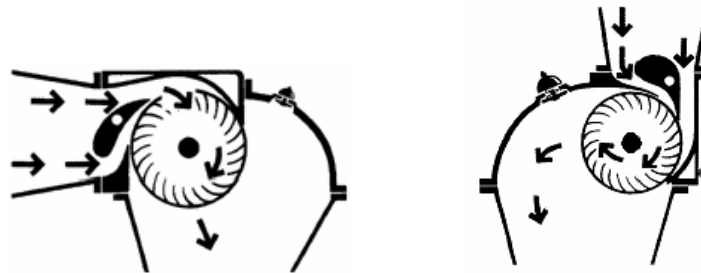
La energía del agua es transferida al rotor en dos etapas, lo que también da a esta máquina el nombre de turbina de doble efecto, y de las cuales la primera etapa entrega un promedio del 70% de la energía total transferida al rotor y la segunda alrededor del 30% restante.

La turbina de flujo transversal es especialmente apropiada para ríos con pequeños caudales. Estos generalmente llevan durante varios meses muy poca agua, por lo que en su diseño debe considerarse para el mínimo caudal que será el parcial y para épocas de abundancia de agua, se considerará el caudal total que será utilizado para usos productivos. [5]

## 7.5 Instalación

La forma de instalación como se puede ver en la figura 53, puede adoptar dos disposiciones: de entrada horizontal o vertical del agua.

Figura 53. Entradas de agua a la turbina



Fuente: Organización Latinoamericana de Energía.

## 7.6 Diseño y cálculos hidráulicos.

El diseño de la turbina se realiza para determinar las dimensiones de sus elementos principales, en base a la caracterización de este tipo de turbina [5].

**7.6.1 Triangulo de Velocidades.** En la figura 54, puede apreciarse los triángulo de velocidades para las dos etapas de la turbina Banki, como puede verse existe total semejanza entre el triangulo de velocidades a la salida de la primera etapa y el de entrada de la segunda etapa. Esto debido a que e el flujo en esta transmisión es una corriente libre que no interfiere con elemento alguno del rotor.

Figura 54. Diagrama de velocidades de la turbina Michell-Banki para las diferentes etapas de trabajo

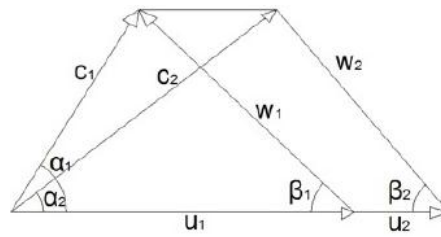


Fuente: Organización Latinoamericana de Energía.

**7.6.1.1 Resolución del triangulo de velocidades a la entrada del rotor**



Figura 55. Triangulo de velocidades



Fuente: Organización Latinoamericana de Energía.

En esta sección se desarrolla el triángulo de velocidades figura 55, es decir se calcularán las velocidades absolutas, relativas y tangencial para la turbina. Iniciaremos la resolución del triángulo de la turbina Michell Banki, utilizando la siguiente relación que se cumple para los ángulos:

$$\beta = \arcsen\left(\frac{\sen(\alpha_1)}{\sqrt{1-\frac{3}{4}\cos^2(\alpha_1)}}\right) \quad (106)$$

De las mediciones empíricas tenemos que:  $\beta = 30^\circ$ . Por lo tanto reemplazando tenemos que:  $\alpha_1 = 16^\circ$

**7.6.1.2 Velocidad absoluta.** La velocidad absoluta está dada por la siguiente ecuación:

$$c_1 = 4,429 * K_c * \sqrt{H_N} \quad (107)$$

Donde.

$K_c$ : Es un valor determinado en forma experimental, para la turbina Banki los valores se encuentran en el rango de (0,95-0,98).

Para nuestro diseño tenemos que  $K_c = 0,967$ .

**7.6.1.3 La velocidad tangencial.** En las turbinas de acción, la velocidad tangencial se expresa por:

$$u_1 = 2,214 * k_c \sqrt{H_N} * \cos(\alpha_1) \quad (108)$$

**7.6.1.4 Velocidad relativa.** Del triangulo de velocidades tenemos que la velocidad relativa es igual:

$$w_1 = 4,429 \cdot k_c \cdot \sqrt{H_N} \cdot \frac{\text{sen}(\alpha_1)}{\text{sen}(180-\beta_1)} \quad (109)$$

**7.6.1.5 Cálculo de velocidad meridiana.** Donde del triangulo de velocidades la velocidad meridiana es:

$$c_{m1} = c_1 \cdot \text{sen}(\alpha_1) \quad (110)$$

Como podemos observar el diagrama de velocidades solo dependen del salto y los ángulos son independientes de las condiciones de salto y caudal.

**7.6.2 Diámetro y velocidad de giro de la turbina.** Muchos autores señalan que para pequeños aprovechamientos los diámetros comúnmente utilizados van desde los 200, hasta los 500 mm. Para el presente diseño se propone un diámetro de 2000 mm de diámetro exterior.

**7.6.2.1 Número de revoluciones.** El número de revoluciones óptimas se determina con la ecuación:

$$N = 40,62 \frac{\sqrt{H_N}}{D} \quad (111)$$

Donde:

$D$ = Diámetro del rotor, en m.

$H_N$ = Altura neta, en m.

**7.6.3 Número de alabes del rotor.** La selección del número de álabes se realizará en base al diámetro y las condiciones de funcionamiento de la turbina, es decir, altura y caudal. Se deberá tener en cuenta que un reducido número de álabes provocará pulsaciones en la generación de la potencia, y un número elevado producirá una aceleración de la vena fluida con el consiguiente aumento de las pérdidas y el efecto de reja.

La tabla 48, muestra el número optimo de alabes, resultado de diferentes investigaciones.

Tabla 48. Numero optimo de alabes

REFERENCIA	D/d	D/B	z	$\eta_h$
YOKOHAMA, 1985, JAPON	0.66	4.25	26	80.60
VIGM, 1986, CCCP	0.63	3.00	24	78.00
GANZ,1984, HUNGRIA	0.66	1.00	30	75.00
ALABAMA,1983, USA	0.66	0.25	20	75.00
RESITA, 1983, RUMANIA	0.66	1.28	24	73.00
KTU, 1987, TRAZBON, TURKIA	0.54	0.81	24	71.30
OREGON, 1949, USA	0.66	1.09	20	68.00
VDI, 1981, ETIOPIA	0.67	3.26	36	66.00
LOS ANDES, 1973, COLOMBIA	0.62	1.87	27	60.60
ODTU, 1985, ANKARA, TURKIA	0.83	1.44	30	55.50

Fuente: Organización Latinoamericana de Energía.

De esta tabla 48, se desprende que el número óptimo de álabes está entre 24 y 30. En nuestro caso  $z= 24$  alabes.

**7.6.4 Cálculo de ancho del Rodete.** Un factor importante a tener en cuenta es el cálculo del ancho del rotor. Este se calcula teniendo en cuenta el diámetro seleccionado y los parámetros de funcionamiento H y Q.

Como se sabe el área de admisión está dada por:

$$A_a = \frac{Q}{c_{m1}} \quad (112)$$

El paso  $P_z$  estará dado por:

$$P_z = \frac{\pi * D}{z} \quad (113)$$

Si definimos.

$$x_z = \frac{z_a}{z} \quad (114)$$

Como  $X_z$  es la relación entre el número de álabes de la admisión y el número de álabes totales. El coeficiente  $X_z$  varía entre 0,05 y 0,35. Como límite se adopta:

$$X_z = \frac{z_a}{z} < 0,35 \quad (115)$$

Para nuestro caso utilizaremos  $X_z= 0,25$

La expresión para calcular el ancho del rotor es igual a:

$$B = 0,259 \frac{Q}{k_c * D * \sqrt{H_N * X_z}} \quad (116)$$

**7.6.5 Geometría del alabe.** El alabe de la turbina Banki tiene forma de sector circular generalmente obtenidos de tubos de acero, bronce, acero inoxidable, etc. Se construirán siguiendo la geometría de planchas curvadas formen un ángulo de 90°.

La tabla 49, muestra los diámetros de tuberías recomendados.

Tabla 49. Selección del espesor de los alabes del rotor

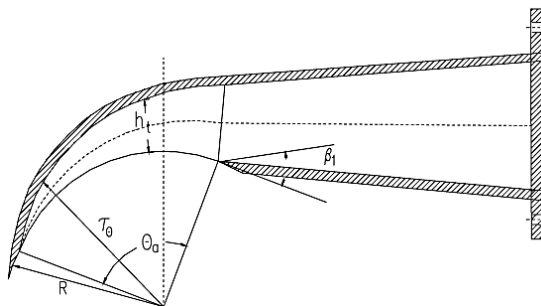
Rotor	Tubería		
	Diámetro (mm)	Diámetro (plg)	Espesor (mm)
200	2	5,16	8,62
300	4	6	16,07
400	5	6,55	21,78

Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

De la tabla 49, se desprende que el espesor del álabe, en nuestro caso es  $e = 5,16$  mm

**7.6.6 Diseño del Inyector.** Se conocen geometrías diversas de inyector para turbinas Banki, donde se puede observar que algunas poseen un alabe de compuerta, otras un alabe directriz con diferentes geometrías y en algunos casos se diseña el inyector sin alabe de regulación. Para definir la geometría del inyector es necesario considerar en el diseño una buena conducción y aceleración del flujo de agua, así como también una buena orientación y regulación de este flujo hacia los alabes del rodete.

Figura 56. Inyector de la turbina Banki



Fuente: Organización Latinoamericana de Energía.

### 7.6.6.1 *El Arco de admisión*

$$L_a = \frac{\pi * D}{z} \cdot Z_a + Z_a \cdot e \quad (117)$$

Donde:

$e$  = Espesor de los álabes.

**7.6.6.2 *Ángulo de admisión.*** Diversas investigaciones que se han realizado sobre esta máquina señalan que los ángulos de admisión del inyector van desde los 30° hasta los 120°.

El ángulo de admisión  $\theta_a$  será:

$$\theta_a = \frac{360^\circ}{\pi * D} \cdot L_a \quad (118)$$

El ángulo de admisión  $\theta_a$  óptimo para este tipo de turbina es de alrededor de los 90°.

Los cálculos se muestran en la tabla 50, que corresponde a parámetros de turbina Michell-Banki.

Tabla 50. Parámetros calculados de turbina Michell Banki

	DATOS		
	CÁLCULO		
CAUDAL	Q	0,0238	m <sup>3</sup> /s
COEFICIENTE DE VELOCIDAD	K <sub>c</sub>	0,967	
ACELERACION DE LA GRAVEDAD	g	9,81	m/s <sup>2</sup>
ALTURA NETA	H <sub>n</sub>	4	m
VELOCIDAD ABSOLUTA DEL FLUIDO	c <sub>1</sub>	8,565686	m/s
ANGULO ENTRE LA VELOCIDAD ABSOLUTA Y LA VELOCIDAD TANGENCIAL	α <sub>1</sub>	16,102	°
ANGULO ENTRE LA w <sub>1</sub> y u <sub>1</sub>	β <sub>1</sub>	29,99981515	°
VELOCIDAD TANGENCIAL DE LA TURBINA	u <sub>1</sub>	4,11389575	m/s
VELOCIDAD RELATIVA DEL FLUIDO	w <sub>1</sub>	4,751381578	m/s
COMPONENTE DE LA VELOCIDAD ABSOLUTA EN LA DIRECCION MERIDIANA	c <sub>m1</sub>	2,375677514	m/s
DIAMETRO EXTERNO DEL RODETE	D	0,2	m
REVOLUCIONES EN EL RODETE	n	406,2	rpm
EFICIENCIA DE LA TURBINA BANKI		0,8	
NUMERO DE ALABES	Z	24	
RELACION DIAMETRO EXTERNO Y DIAMETRO INTERNO	d/D	0,66	
RELACION DIAMETRO EXTERNO Y ANCHO DE ROTOR	D/B	3,137471205	
DIAMETRO INTERNO DEL RODETE	d	0,132	m
RELACION DEL NUMERO DE ALABES (Z <sub>a</sub> /Z)	X <sub>z</sub>	0,25	
NUMERO DE ALABES DE ADMISION	Z <sub>a</sub>	6	
ANCHO DEL ROTOR	B	0,063745605	m
POTENCIA EN EL EJE	P	0,7471296	Kw
PASO ENTRE ALABES	P <sub>z</sub>	0,026179939	m
AREA DE ADMISION	A <sub>a</sub>	0,010018195	m <sup>2</sup>
ESPESOR DEL ALABE	e	0,00516	m
ARCO DE ADMISION	L <sub>a</sub>	0,188039633	m
ANGULO DE ADMISION	θ <sub>a</sub>	107,7387733	°

Fuente: Autor

## 7.7 Elección de la turbina

La turbina elegida tiene las siguientes características de operación.

Especificaciones: Turbina Michell-Banki

CAUDAL (l/seg): 5/20

ALTURA (m): 10/35

FRAME: ODELO

KW: 0,5/5

REV/MIN: 660/500

HZ: 60

SERIAL: R125

VOLT: 220

## CAPÍTULO VIII

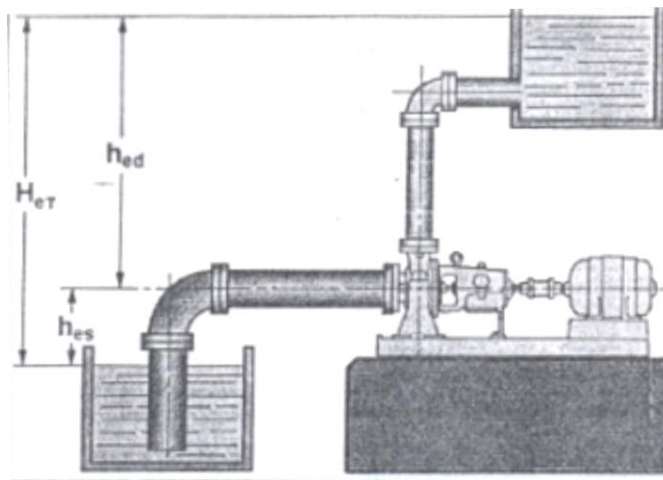
### 8. CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LA BOMBA

Probablemente el mayor problema que se encuentra al diseñar un sistema de bombeo es la elección de la clase, tipo, capacidad, columna y detalles de la bomba o bombas que habrán de usarse en el sistema. Esta sección tiene como objetivo la correcta selección de una bomba para nuestro sistema.

#### 8.1. Parámetros fundamentales de diseño

En este proyecto se tiene que el sistema es de Cabeza Estática de Succión debido a las condiciones geográficas del lugar del proyecto.

Figura 57. Esquema de un sistema de Succión Negativa



Fuente: Riofrio, José. Apuntes del profesor

Donde:

$h_{ed}$  = Columna o altura estática de descarga.

$h_{es}$  = Elevación o altura de succión estática.

$H_{eT}$  = Columna o altura estática total.

#### 8.2. Datos del sistema

8.2.1. *Fluido*. Las características del fluido a bombear se muestran a continuación:



Fluido:	Agua
Temperatura:	$T = 15 \text{ }^\circ\text{C}$
Viscosidad cinemática:	$\nu = 1,15 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
Peso específico:	$\gamma = 9810 \text{ N/m}^3$
Presión de vapor:	$P_v = 1704,777 \text{ Pa}$

### **8.2.2.** *Especificaciones geográficas del lugar.*

Altitud:	2775 msnm (casa de máquinas)
Presión Barométrica:	70827,306 Pa

### **8.2.3.** *Condiciones del sistema*

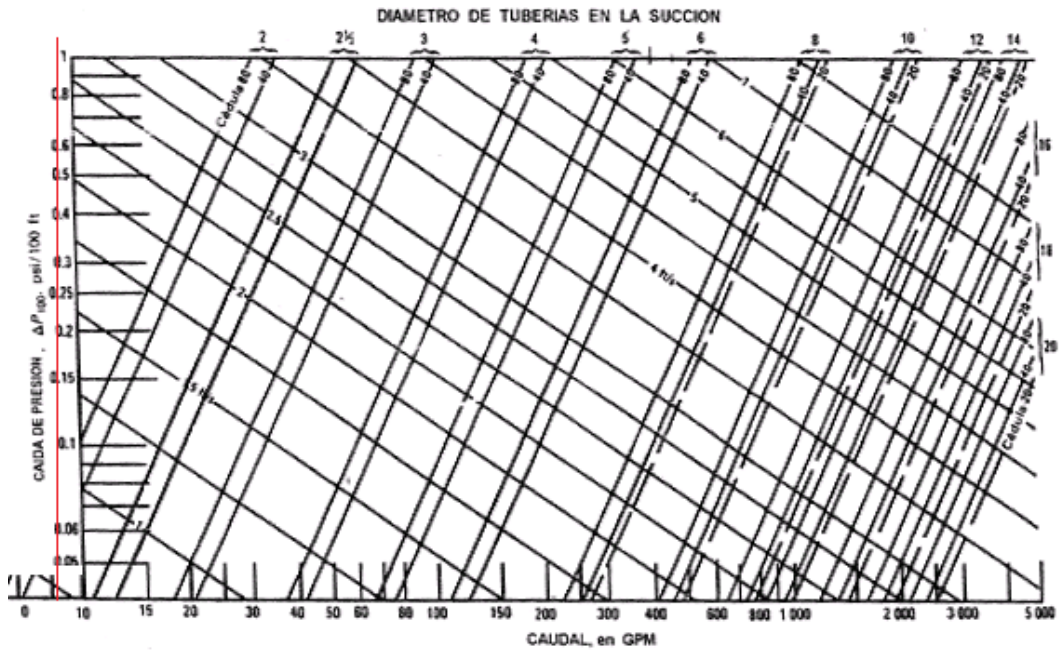
Caudal suministrado total:	0,04 (l/s) = 6 GPM
Longitudes de succión:	$l_s = 5 \text{ m}$
Longitud de descarga:	$l_d = 65 \text{ m}$

## **8.3. Cálculos**

**8.3.1.** *Selección de diámetros para la succión y descarga de la bomba.* Para seleccionar los diámetros adecuados para la succión y descarga de la bomba que están en función del caudal de bombeo.

### **8.3.1.1.** *Selección del diámetro para la succión*

Figura 58. Diagrama para selección de tubería en la succión

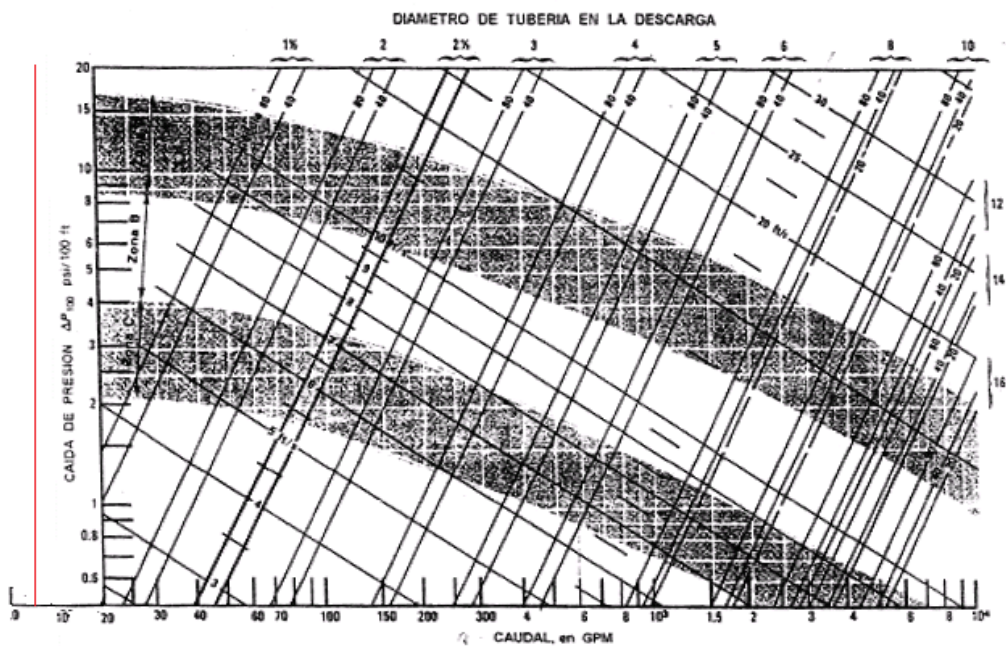


Fuente: Riofrio, José. Apuntes del profesor

Se seleccionara el de mayor diámetro ya que menores son las pérdidas, siendo esta de 2”.

### 8.3.1.2. Selección del diámetro para la descarga

Figura 59. Diagrama para selección de tubería en la descarga



Fuente: Riofrio, José. Apuntes del profesor

En la descarga la alternativa es la tubería de 1 1/2"

La tubería seleccionada es de PVC, la misma que presenta las siguientes características ver tabla 51.

Tabla 51. Datos generales de tubería

DN	Longitud L (m)	Diámetro Di (mm)	Espesor e (mm)	Rugosidad $\epsilon$ (mm)	Peso P (kg/m)	Presión $\delta_t$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
50 mm Succión	6	46,2	1,9	0.0015	5	10,2
40 mm Descarga	6	37	1,5	0.0015	5	10,2

Fuente: Tuberías y accesorios de PVC para presión, plastigama

### 8.3.2. Cálculo de la Altura útil o efectiva

$$H = H_s + H_d \quad (119)$$

Donde:

$H_s$ = Cabeza dinámica de succión, en m.

$H_d$ = Cabeza dinámica de descarga, en m.

#### 8.3.2.1. Cabeza dinámica de succión, $H_s$

$$H_s = \pm h_{es} + h_{vs} + h_{rs} \pm h_{pms} \quad (120)$$

Donde:

$h_{es}$ = Cabeza estática de succión, en m.

$h_{vs}$ = Cabeza o columna de velocidad en la succión, en m.

$h_{rs}$ = Altura debida a las pérdidas totales en la succión, en m.

$h_{pms}$ = Cabeza de presión en la succión, en m.

*Cabeza estática de succión,  $h_{es}$*

$$h_{es} = 1 \text{ m}$$

*Cabeza o columna de velocidad en la succión,  $h_{vs}$*

$$h_{vs} = \frac{v_s^2}{2g} \quad (m) \quad (121)$$

Donde:

$V_s$  = Velocidad en la succión, en m/s.

La cual esta determinada por:

$$V_s = \frac{4 * Q}{\pi * D_s^2}$$

Donde tenemos que:

$$V_s = 0,2386 \quad m/s$$

Y la altura de velocidad en la succión es.

$$h_{vs} = 0,0029 \quad m$$

*Pérdidas de energía primaria y secundaria en la succión,  $h_{rs}$ .* Las pérdidas disminuyen la energía específica útil que la bomba comunica al fluido y consiguientemente a la altura útil.

$$h_{rs} = h_{rps} + h_{rss} \quad (122)$$

*Perdidas primarias en la succión  $h_{rps}$ :* Son aquellas pérdidas que se producen por el rozamiento del fluido con la tubería.

$$h_{rps} = \lambda \frac{l_s * V_s^2}{D_s * 2g} \quad (123)$$

Donde:

$\lambda$  = Factor de fricción de la tubería.

El factor de fricción de la tubería  $\lambda = f$  (Re,  $\varepsilon/D$ ), esta determinado por:

$$Re = \frac{V_s * D_s}{\nu} \quad \text{Número de Reynolds}$$

$$k = \frac{\varepsilon}{D_s} \quad \text{Rugosidad relativa}$$

$$\lambda \left\{ \begin{array}{l} \text{Re} = \frac{V_s * D_s}{\nu} = \frac{0,0739 \text{ m/s } 0,0462 \text{ m}}{1,15 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 9585,842 \\ \frac{K}{D} = \frac{0,0015}{46,2} = 3,25 \times 10^{-5} \end{array} \right.$$

Siendo:

$$\lambda = \frac{0,25}{\left[ \log\left(\frac{k}{3,7} + \frac{5,74}{\text{Re}^{0,9}}\right) \right]^2} \quad (124)$$

$$\lambda = 0,031$$

$$h_{rps} = 0,031 \frac{5 \text{ m}}{0,0462 \text{ m}} \frac{(0,2386 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{rps} = 0,00987 \text{ m}$$

*Pérdidas secundarias en la succión  $h_{rps}$ :* Se producen en los distintos accesorios instalados en la tubería.

$$h_{rps} = \sum_k \frac{V_s^2}{2g} \quad (125)$$

Donde:

$k$  = Coeficiente de pérdidas secundarias total.

En Tabla 52, se indican los coeficientes de pérdidas en los accesorios de la tubería de succión.

Tabla 52. Accesorios de la tubería de succión

Accesorio	Coeficiente K	Cantidad
Codo 90°	0.90	2
Entrada de tubería	1	1
Válvula de compuerta	0.2	1
$\Sigma K = 3,22$		

Fuente: Autor

$$h_{rps} = 3,22 \frac{(0,2386 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{rps} = 0,00935 \text{ m}$$

Las pérdidas totales en la succión son.

$$h_{rs} = 0,00987 + 0,00935 = 0,0192 \text{ m}$$

*Cálculo de la Cabeza o columna dinámica de succión.* Después de calcular se reemplazan estos valores para determinar la cabeza dinámica de succión.

$$H_s = 1,00 + 0,0029 + 0,0192 = 1,022 \text{ m}$$

### 8.3.2.2. Cabeza dinámica de descarga, $H_d$

$$H_d = \pm h_{ed} + h_{vd} + h_{rd} \pm h_{pmd} \quad (126)$$

Los parámetros que determinan la cabeza dinámica de descarga son:

*Cabeza estática de descarga,  $h_{ed}$*

$$h_{ed} = 12,75 \text{ m}$$

*Cabeza o columna de velocidad en la descarga,  $h_{vd}$*

$$h_{vd} = \frac{V_d^2}{2g} \quad (127)$$

Donde:

$V_d$  = Velocidad en la descarga, en m/s.

La velocidad esta determinada por:

$$V_d = \frac{4*Q}{\pi*D_d^2} \quad (128)$$

$$V_d = 0,372 \text{ m/s}$$

Y la altura de velocidad en la descarga es.

$$h_{vd} = 0,00705 \text{ m}$$

*Pérdidas de energía primaria y secundaria en la descarga,  $h_{rd}$ .* Las pérdidas disminuyen la energía específica útil que la bomba comunica al fluido y consiguientemente a la altura útil.

$$h_{rd} = h_{rpd} + h_{rsd}$$

$h_{rpd}$ , son las pérdidas primarias en la descarga, se encuentran dadas por:

$$h_{rpd} = \lambda \frac{L_d \cdot V_d^2}{D_d \cdot 2g}$$

El factor de fricción.

$$\lambda \begin{cases} \text{Re} = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{0,372 \text{ m/s} \cdot 0,037 \text{ m}}{1,15 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 11969,3494 \\ \frac{K}{D} = \frac{0,0015}{37} = 4,05 \times 10^{-5} \end{cases} = 0,029$$

$$h_{rpd} = 0,029 \frac{80,04 \text{ m} \cdot (0,372 \text{ m/s})^2}{0,037 \text{ m} \cdot 2 \times 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{rpd} = 0,4517 \text{ m}$$

Las pérdidas secundarias  $h_{rsd}$ , están dadas por:

$$h_{rsd} = \sum_k \frac{V_d^2}{2g}$$

Tabla 53. Detalle de accesorios de la tubería de succión

Accesorios de tubería de succión		
Accesorio	Coficiente K	Cantidad
Codo 90°	0.90	2
Codo 45°	0.42	2
Válvula de no retorno	1,05	1
Válvula de compuerta	0.2	1
Entrada de tanque	0.684	1
$\Sigma K = 3,674$		

Fuente: Autor

$$h_{rsd} = 3,674 \frac{(0,372 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{rsd} = 0,025 \text{ m}$$

Las pérdidas en la descarga son:

$$h_{rs} = 0,4517 + 0,025 = 0,4776 \text{ m}$$

*Cálculo de la Cabeza o columna dinámica de descarga.* La cabeza dinámica de succión es:

$$H_d = 12,75 + 0,00705 + 0,4776 = 13,234 \text{ m}$$

Sustituyendo los valores obtenemos la altura útil o efectiva.

$$H = 1,022 + 13,234 = 14,256 \text{ m}$$

**8.3.3.** *Cálculo de la “Altura Neta Positiva de Aspiración disponible”  $NPSH)_D$ .* En un sistema de bombeo  $NPSH)_D$  debe ser mayor o igual que el  $NPSH)_R$  requerido, para evitar que se vaya a producir cavitación en la bomba, ya que nos traería problemas de funcionamiento y desgaste.

El  $NPSH)_D$  se lo calcula, mientras que el cabezal de succión es un dato que lo proporciona el fabricante y se lo encuentra en las curvas de la bomba.

$$NPSH)_D = \frac{P - P_v}{\gamma} + h_{es} - h_{rs} \quad (129)$$

Dónde:

$P$ = Presión Barométrica, en Pa.

$P_v$ = Presión de vapor del líquido, en Pa (ANEXO I).

$h_{es}$ = Cabeza estática de succión, en m.

$h_{rs}$ = Pérdidas totales en la succión, en m.

Cálculo de la presión barométrica y presión de vapor del líquido a temperatura de bombeo.

$$\frac{P - P_v}{\gamma} = \frac{72068.826 - 1704.777 \text{ Pa}}{9.8 \text{ m/s}^2 * 1000 \text{ Kg/m}^3} = 7,18 \text{ mca}$$

Remplazando los valores se tiene:

$$NPSH)_D = 7,18 - 1,00 - 0,0192 = 6,16 \text{ m}$$



**8.3.4. Selección de la bomba.** La bomba que utilizaremos será una bomba recíproca, que son las más utilizadas en el turbobombeo, debido a su alto rendimiento, son sencillas de instalar, alcanzan velocidades elevadas, por lo que es conveniente que vayan acopladas directamente.

La bomba seleccionada tiene las siguientes características, (ver Tabla 54) (ANEXO K).

Tabla 54. Especificaciones de la bomba seleccionada

Selección de la bomba			
SERFILCO TIPO A08 - 4			
Especificaciones	Caudal:	5,80	GPM
	Rpm:	250	RPM
	Presión:	200	PSI
	Potencia:	0,85	HP

Fuente: Serfilco, Catálogo de bombas recíprocas

**8.3.5. Comprobación del  $NPSH)_D > NPSH)_R$ .** La “Altura Neta Positiva de Aspiración requerida”  $NPSH)_R$  está limitada por el valor de la presión en el cilindro durante la fase de aspiración, si este es menor que la presión de vapor de agua el sistema sufrirá separaciones de la vena líquida y la excesiva cavitación.

Por lo tanto, para evitar la cavitación se deberá cumplir siempre que  $NPSH)_D > NPSH)_R$ , con lo cual tendremos una presión de aspiración superior a la presión de vapor obteniendo satisfactoriamente una buena eficiencia volumétrica y además evitamos la cavitación.

## CAPÍTULO IX

### 9. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

En el caso del turbobombear se produce una conversión de energía hidráulica en energía mecánica en la turbina, y de energía mecánica en potencia transmitida a la bomba. La velocidad de giro de la turbina esta relacionada con la caída neta, el caudal y las dimensiones del rodete, en muchos casos se construye rodetes de turbinas con dimensiones que permitan garantizar una velocidad de giro igual a la del generador y permitir así su acoplamiento directo. En nuestro caso se emplea rodetes con dimensiones estándares de los fabricantes, en consecuencia, la velocidad de operación para las condiciones de caída neta y caudal disponible, rara vez coinciden con la de bomba, por esta razón debe emplearse sistemas de transmisión de movimiento y potencia mecánica entre la turbina y la bomba.

#### 9.1 Tipos de transmisiones [10]

Para la transmisión de potencia a distancias pequeñas o grandes se emplean los elementos de máquina flexibles. Indicaremos las más importantes:

##### 9.1.1 *Transmisión por bandas planas*

Figura 60. Bandas Planas



Fuente: Oleostatic. Correas trapeziales convencionales

**9.1.1.1 *Funcionamiento.*** Trasmiten la potencia entre dos ejes paralelos, tales ejes deben estar situados a cierta distancia mínima para trabajar con mayor eficiencia.

##### 9.1.1.2 *Ventajas*

Tiene una eficiencia aproximadamente 98% comparada con las bandas V.

Son más silenciosas y absorben más vibraciones.

No tienen límite alguno para las distancias entre los ejes.

### 9.1.1.3 Desventajas

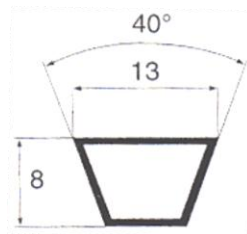
Se produce mucho deslizamiento entre banda y polea.

Estas bandas tienden a producir estiramiento debido a una mala tensión.

Las velocidades angulares no son constantes.

### 9.1.2 Transmisión por bandas trapeciales

Figura 61. Banda Trapecial (sección transversal)



Fuente: Oleostatic. Correas trapeciales convencionales

**9.1.2.1 Funcionamiento.** Tienen el mismo funcionamiento que las bandas planas, descritas anteriormente.

### 9.1.2.2 Ventajas

Permiten mayores velocidades.

Costo es reducido en comparación con las correas comunes de sección trapecial.

Los motores de impulsión son más eficientes

### 9.1.2.3 Desventajas

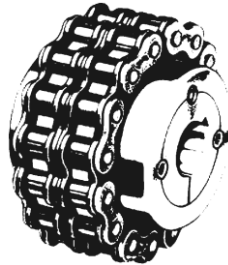
Operan con poleas de pequeño diámetro.

La fricción que existe entre banda y polea hace que se desgaste los ángulos de las ranuras.

Produce grandes vibraciones cuando existe grandes distancias entre centros de eje.

### **9.1.3** *Transmisión por Cadena de rodillos*

Figura 62. Cadena de rodillos



Fuente: Oleostatic. Correas trapeciales convencionales

**9.1.3.1** *Funcionamiento.* Tiene una capacidad para impulsar un cierto número de ejes desde una sola fuente de potencia o fuerza motriz.

**9.1.3.2** *Ventajas.*

Tienen una relación constante de velocidad.

Posee una larga vida o duración.

Tiene la capacidad de impulsar cierto número de ejes desde una sola fuente de potencia o fuerza motriz.

**9.1.3.3** *Desventajas*

Producen demasiado ruido.

Son más costosas.

El mantenimiento debe ser constante.

**9.1.4** *Transmisión por engranajes*

Figura 63. Engranés



Fuente: Oleostatic. Correas trapeciales convencionales

**9.1.4.1 *Funcionamiento.*** Los engranes son empleados para transmitir un movimiento giratorio o alternativo desde una parte de una máquina a otra. Los engranajes se utilizan sobre todo para transmitir movimiento giratorio, pero usando engranajes apropiados y piezas dentadas planas pueden transformar movimiento alternativo en giratorio y viceversa.

**9.1.4.2 *Ventajas***

Poseen una relación de velocidad constante.

La velocidad del eje impulsado depende del número de dientes de cada engranaje.

Tiene la capacidad de impulsar cierto número de ejes desde una sola fuente de potencia o fuerza motriz.

Empleando un tren de varios engranajes puede variarse la relación de velocidades dentro de unos límites muy amplios.

**9.1.4.3 *Desventajas***

El mantenimiento debe ser constante.

La inexactitud en el contacto entre dientes aumenta la posibilidad de choques elevando el nivel de ruido.

Los engranes de gran tamaño son más costosos en su fabricación debido a que requieren de máquinas mayores para formar los dientes.

## 9.2 Criterios de Selección tipo de transmisión

Se tienen las siguientes alternativas:

A<sub>1</sub>: Bandas Planas

A<sub>2</sub>: Bandas V ó Trapezoidales

A<sub>3</sub>: Cadena de rodillos

A<sub>4</sub>: Engranajes.

En base a los datos obtenidos en el cuadro comparativo la mejor alternativa para este caso es la alternativa A<sub>2</sub>, con un porcentaje del 79,6% (ANEXO F).

## 9.3 Dimensionamiento de una correa trapezoidal [3] [6]

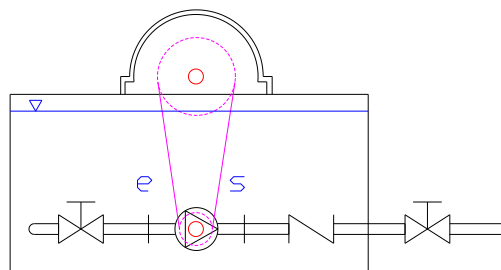
Datos:

P<sub>t</sub>= 0.9512 Hp

N<sub>m</sub>= 500 rpm

N<sub>c</sub>= 250 rpm

Figura 64. Sistema de transmisión (Vista frontal)



Fuente: Autor

### 9.3.1 Relación de transmisión

$$i = \frac{N_m}{N_c} \quad (130)$$

Donde:

N<sub>m</sub>= rpm de la rueda motriz.

N<sub>c</sub>= rpm de la rueda conducida.

$$i = \frac{500}{250} = 2$$

**9.3.2** *Potencia de diseño.* Se selecciona que la transmisión se realiza a partir de un motor eléctrico.

$$P_c = P * f_s \quad (131)$$

Donde:

$P_i$  = Potencia del motor eléctrico, en Hp.

$f_s$  = Factor de servicio igual a 1,2 (ver tabla 55)

$$P_c = 0,9512 * 1.2 = 1,1414 \text{ Hp}$$

Tabla 55. Factor de servicio normal

**TABLA 1**

FACTORES DE SERVICIO VALORES DE CC (COEFICIENTE DE CORRECCION) SEGUN LAS CONDICIONES DE TRABAJO Y EL TIPO DE CARGA.

Aplicaciones	Tipo de motor					
	Motores eléctricos de corriente alterna: de par normal, de jaula de ardilla, síncronos.			Motores eléctricos de corriente alterna: de par elevado, de deslizamiento elevado, monofásicos; rotor bobinado, por colector.		
	Motores eléctricos de corriente continua: excitación en paralelo; motores térmicos de varios cilindros; turbinas de gas o de vapor.			Motores eléctricos de corriente continua: excitación en serie y compuesta; motores térmicos de un cilindro con acoplamiento directo o con contra-árbol; máquinas de vapor.		
	Horas diarias de funcionamiento					
	0-8	8-16	16-24	0-8	8-16	16-24
Trabajos ligeros Bombas centrífugas y compresores, cintas transportadoras (materiales ligeros), ventiladores y bombas de hasta 7,5 kW.	1,1	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
Trabajos normales Cizallas para chapa, prensas, cintas transportadoras y de cadena, tamices (materiales pesados), grupos generadores, máquinas-herramienta, amasadoras, lavadoras industriales, prensas de tipografía, ventiladores y bombas de más de 7,5 kW.	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
Trabajos pesados Molino de martillos, compresores de pistón, cintas transportadoras para cargas muy pesadas, montacargas, máquinas para la industria textil, máquinas continuas para papeleras, bombas de pistón, bombas para dragar, sierras alternativas.	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
Trabajos particularmente pesados Molinos de potencia elevada, Trituradores de piedras, calandras, mezcladoras, grúas, excavadoras, dragas.	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8

Fuente: Catálogo de correas trapeciales Oleostatic Pirelli. Pag 22

### 9.3.3 Selección del tipo de banda requerida

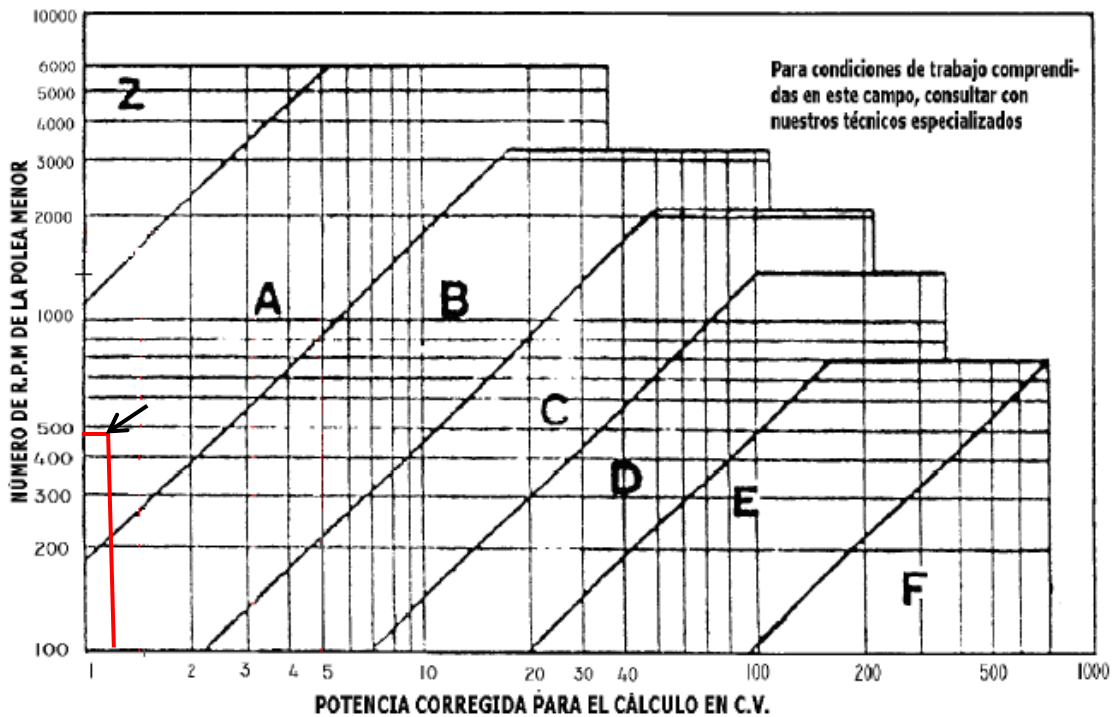
$$P_c = 1,1414 \text{ Hp} = 1,1573 \text{ CV}$$

$$N_m = 500 \text{ rpm}$$



Mediante lo cual se puede seleccionar: LA BANDA TIPO A. ver grafico de tabla 56.

Tabla 56. Grafico elección de la sección de la correa



Fuente: Catálogo de correas trapeciales Oleostatic Pirelli. Pag 22

### 9.3.4 Selección del diámetro de la polea

ANGULO DE GARGANTA: 38° TIPO DE BANDA: A

Donde se puede seleccionar:  $D_p = 125 \text{ mm} ++$

Tabla 57. Diámetros primitivos mínimos en función del ángulo de garganta

Tabla 2. Diámetros primitivos mínimos en función del ángulo de las gargantas.

Z	A	B	C	D	E	F	Ángulo de gargantas
≥ 90	≥ 125	≥ 200	≥ 300	≥ 500	≥ 600	≥ 750	32°
—	—	—	de 260 a 280	de 365 a 475	de 500 a 600	de 670 a 710	30°
de 50 a 60	de 75 a 118	de 125 a 150					34°

Fuente: Catálogo de correas trapeciales Oleostatic Pirelli. Pag 23

### 9.3.5 Selección del diámetro de la conducida

#### TIPO DE BANDA A

$$\varnothing_c = D = i * \varnothing_m = 2 * 125 = 250 \text{ mm}$$

Mediante lo cual se puede seleccionar: D= 250 mm ++

Tabla 58. Diámetros primitivos en (mm)

SECCIONES					
Z	A	B	C	D	E
50 —	75 —	125 +	200 ++	355 +-	500 ++
53 —	80 —	132 +	212 +	375 +	530 +
58 —	85 —	140 ++	224 ++	400 +-	560 ++
60 +	90 ++	150 +	236 +	425 +	600 +
63 ++	95 +	160 +-	250 ++	450 +-	630 ++
67 +	100 ++	170 +	265 +	475 +	670 +
71 ++	106 +	180 ++	280 ++	500 +-	710 ++
75 +	112 ++	190 —	300 +	530 —	750 —
80 ++	118 +	200 ++	315 ++	560 +	800 ++
90 +	125 ++	224 +	355 +	600 +	900 +
100 ++	132 +	250 ++	375 +	630 +-	1000 ++
112 +	140 ++	280 +	400 ++	710 +	1120 +
125 ++	150 +	300 +	450 +	750 -	1250 ++
140 +	180 ++	315 ++	500 ++	800 +-	1400 +
150 +	170 —	355 +	530 —	900 +	1500 +
160 ++	180 ++	375 +	560 +	1000 +-	1600 ++
180 +	190 —	400 ++	600 +	1080 +	1800 +
200 ++	200 ++	450 +	630 ++	1120 +	1900 +
221 +	224 +	500 ++	710 +	1250 ++	2000 ++
250 +	250 ++	530 —	750 +	1400 +	2240 +
	280 +	560 +	800 ++	1500 +	2500 ++
	300 +	600 +	900 +	1600 ++	
	315 +-	630 +-	1000 ++	1800 +	
	355 +	710 +	1120 +	2000 ++	
	400 ++	750 +	1250 ++		
	450 +	800 ++	1400 +		
	500 ++	900 +	1600 ++		
	560 +	1000 ++			
	630 ++	1120 —			
	800 —				
	1000 ++				

++ Especialmente recomendados

Fuente: Catálogo de correas trapeciales Oleostatic Pirelli. Pag 23

### 9.3.6 Cálculo de la distancia entre centros

Como:  $1 \leq i \leq 3$

$$I = \frac{(1+i)}{2} d + d \quad (132)$$

$$I = \frac{(1+2)}{2} 125 + 125$$

$$I = 312,5 \text{ mm}$$

### 9.3.7 *Cálculo de la longitud de banda*

$$L = 2 I + 1,57 (D + d) + \frac{(D-d)^2}{4I} \quad (133)$$

$$L = 2(312,5) + 1,57(250 + 125) + \frac{(250-125)^2}{4 \cdot 312,5}$$

$$L = 1226,25 \text{ mm} \approx 12263 \text{ mm}$$

### 9.3.8 *Longitud nominal recomendada*

TIPO DE BANDA A 48

Tabla 59. Correas trapeciales Oleostatic Pirelli serie A

SECCION	TIPO	Longitud nominal		
		Interior	primitiva	
<b>A (mm 13x3)</b>	A 24	610	643	
	A 25 1/4	641	674	
	A 26	660	693	
	A 27 1/2	698	731	
	A 28 3/4	718	751	
	A 29	737	770	
	A 30	(2-A)	762	795
	A 33		838	871
	A 35	(3-A)	889	922
	A 36 1/4		933	966
	A 38	(3-A-1)	965	998
	A 42	(4-A)	1.067	1.100
	A 42 1/2		1.079	1.112
	A 43 3/4		1.111	1.144
	A 44 1/2	(4-A-2)	1.130	1.163
	A 46	(5-A)	1.168	1.201
	A 48	(5-A-2)	1.219	1.252
	A 51	(6-A)	1.295	1.328
	A 53		1.346	1.379
	A 55	(7-A)	1.397	1.430
	A 57		1.448	1.481
	A 60	(8-A)	1.524	1.557
	A 63	(8-A-2)	1.600	1.633
	A 65	(9-A)	1.651	1.684
	A 68		1.727	1.760
	A 70	(10-A)	1.778	1.811
A 75	(11-A)	1.905	1.938	
A 80	(12-A)	2.032	2.065	
A 84	(12-A-2)	2.133	2.166	
A 85	(13-A)	2.159	2.192	
A 87	(13-A-1)	2.210	2.243	
A 90	(14-A)	2.286	2.319	
A 96	(14-A-2)	2.438	2.471	
A 105	(15-A)	2.667	2.700	
A 112	(15-A-2)	2.845	2.878	
A 120	(15-A)	3.048	3.081	
A 126	(16-A-2)	3.251	3.284	
A 136	(16-A-3)	3.454	3.487	

Fuente: Catálogo de correas trapeciales Oleostatic Pirelli. Pag 24

Donde la longitud nominal es igual a:

$$L' = 1252 \text{ mm}$$

### 9.3.9 Corrección de la distancia entre centros

$$I_{real} = I \pm \frac{L-L'}{2} \quad (134)$$

Como:  $L' > L$  (+)

$$I_{real} = 312,5 + \frac{1226,25-1252}{2}$$

$$I_{\text{real}} = 299,625 \text{ mm}$$

### 9.3.10 *Angulo de contacto*

$$\gamma = 180 - 57 \left( \frac{D-d}{I_{\text{real}}} \right) \quad (135)$$

Donde:  $\gamma > 120^\circ$

$$\gamma = 180 - 57 \left( \frac{250-125}{299,6} \right)$$

$$\gamma = 156,21^\circ$$

**9.3.11 *Potencia de transmisión por banda.*** La potencia transmitida por la banda se puede calcular por:

$$Pa = (Pb + Pd) * C_j * C_L \quad (136)$$

Datos:

$D_p = 125 \text{ mm}$  (Diámetro de polea menor)

$i = 2$  (Relación de transmisión)

$N_m = 500 \text{ rpm}$  (Revoluciones de la rueda motriz)

$P_b$  y  $P_d$ .

$$P_b = 1,085 \text{ Hp}$$

$$P_d = 0,085 \text{ Hp}$$

Tabla 60. Prestaciones de las correas trapeciales Oleostatic Pirelli

Tabla 5 (continuación) — Prestaciones de las Correas Trapeciales OLEOSTATIC PIRELLI Sección A

Voloc. lin. m/seg.	Nº Rev. Pol. Men	PRESTACION BASE															Prestaciones adicionales para relaciones de transm de																
		Diámetros primitivos de la puela menor															1.02	1.06	1.12	1.19	1.27	1.39	1.58	1.95	3.39								
		65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	a	a	a	a	a	a	a	a	y	otras				
		1.05	1.11	1.18	1.26	1.38	1.57	1.91	3.38																								
200	0.15	0.18	0.21	0.23	0.26	0.29	0.32	0.35	0.38	0.41	0.44	0.47	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04					
400	0.24	0.30	0.36	0.41	0.47	0.52	0.58	0.63	0.68	0.74	0.79	0.85	0.90	0.95	1.00	1.06	1.11	1.16	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.09				
600	0.32	0.41	0.49	0.57	0.65	0.73	0.80	0.88	0.96	1.04	1.12	1.19	1.27	1.34	1.42	1.50	1.57	1.65	0.01	0.03	0.05	0.06	0.07	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.12				
800	0.39	0.50	0.60	0.71	0.81	0.91	1.01	1.12	1.22	1.32	1.42	1.52	1.61	1.71	1.81	1.91	2.00	2.10	0.02	0.04	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.14	0.15	0.15	0.16				
950	0.44	0.56	0.68	0.81	0.93	1.04	1.16	1.28	1.40	1.52	1.63	1.75	1.86	1.97	2.09	2.20	2.31	2.42	0.02	0.05	0.08	0.10	0.12	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19				
1000	0.45	0.58	0.71	0.84	0.98	1.09	1.21	1.33	1.46	1.58	1.70	1.82	1.94	2.06	2.13	2.29	2.41	2.53	0.02	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.18	0.20	0.21				
1160	0.50	0.64	0.79	0.93	1.08	1.22	1.36	1.50	1.64	1.78	1.92	2.05	2.19	2.32	2.46	2.59	2.72	2.85	0.02	0.08	0.10	0.12	0.14	0.17	0.18	0.20	0.21	0.21	0.22				
1200	0.51	0.66	0.81	0.96	1.10	1.25	1.40	1.54	1.68	1.83	1.97	2.11	2.25	2.39	2.52	2.66	2.79	2.93	0.02	0.07	0.10	0.12	0.15	0.17	0.19	0.21	0.23	0.23	0.24				
1400	0.55	0.73	0.90	1.07	1.24	1.41	1.57	1.74	1.90	2.06	2.22	2.38	2.54	2.69	2.85	3.00	3.16	3.31	0.03	0.08	0.12	0.14	0.17	0.20	0.22	0.24	0.26	0.26	0.27				
1425	0.56	0.74	0.91	1.08	1.25	1.42	1.59	1.76	1.93	2.09	2.25	2.41	2.57	2.73	2.89	3.04	3.20	3.35	0.03	0.09	0.13	0.17	0.20	0.23	0.25	0.27	0.29	0.29	0.30				
1500	0.59	0.79	0.98	1.17	1.36	1.55	1.74	1.92	2.10	2.28	2.46	2.64	2.81	2.98	3.16	3.32	3.49	3.66	0.04	0.10	0.14	0.18	0.22	0.25	0.27	0.30	0.32	0.32	0.33				
1750	0.62	0.83	1.04	1.25	1.45	1.65	1.85	2.05	2.24	2.44	2.63	2.82	3.00	3.19	3.37	3.55	3.73	3.90	0.04	0.10	0.15	0.19	0.22	0.26	0.28	0.31	0.33	0.34	0.35				
1800	0.63	0.85	1.08	1.27	1.48	1.69	1.89	2.09	2.29	2.49	2.68	2.89	3.10	3.30	3.50	3.70	3.90	4.09	0.04	0.11	0.17	0.21	0.25	0.29	0.31	0.34	0.37	0.38	0.39				
2000	0.68	0.90	1.13	1.36	1.59	1.81	2.03	2.25	2.47	2.68	2.89	3.10	3.30	3.50	3.70	3.90	4.09	4.28	0.05	0.12	0.18	0.23	0.27	0.31	0.34	0.38	0.41	0.41	0.42				
2200	0.69	0.94	1.20	1.44	1.59	1.93	2.17	2.40	2.63	2.86	3.08	3.30	3.52	3.73	3.94	4.14	4.35	4.54	0.05	0.13	0.20	0.25	0.30	0.34	0.37	0.41	0.44	0.44	0.45				
2400	0.71	0.99	1.25	1.52	1.78	2.04	2.29	2.54	2.78	3.02	3.26	3.49	3.72	3.94	4.16	4.37	4.57	4.77	0.05	0.14	0.22	0.27	0.32	0.37	0.40	0.45	0.48	0.48	0.49				
2600	0.73	1.02	1.31	1.59	1.86	2.14	2.40	2.67	2.92	3.17	3.42	3.66	3.89	4.12	4.34	4.56	4.77	4.97	0.06	0.15	0.23	0.29	0.35	0.40	0.44	0.48	0.51	0.51	0.52				
2800	0.74	1.03	1.35	1.65	1.94	2.23	2.51	2.78	3.03	3.31	3.56	3.81	4.05	4.28	4.51	4.72	4.93	5.13	0.06	0.16	0.24	0.29	0.36	0.41	0.44	0.49	0.52	0.52	0.53				
3000	0.74	1.05	1.36	1.66	1.96	2.25	2.53	2.81	3.07	3.34	3.59	3.84	4.09	4.32	4.54	4.76	4.97	5.17	0.07	0.18	0.26	0.33	0.40	0.46	0.50	0.55	0.59	0.59	0.60				
3200	0.75	1.07	1.39	1.70	2.01	2.30	2.60	2.88	3.16	3.42	3.68	3.94	4.18	4.41	4.64	4.86	5.06	5.26	0.07	0.19	0.26	0.35	0.43	0.49	0.53	0.58	0.63	0.63	0.64				
3400	0.75	1.09	1.42	1.75	2.06	2.37	2.69	2.97	3.25	3.52	3.79	4.04	4.29	4.52	4.74	4.95	5.15	5.34	0.07	0.19	0.28	0.35	0.43	0.49	0.54	0.59	0.64	0.64	0.65				
3600	0.75	1.10	1.45	1.79	2.11	2.43	2.74	3.04	3.33	3.60	3.87	4.12	4.37	4.60	4.81	5.02	5.21	5.39	0.07	0.20	0.29	0.36	0.43	0.49	0.54	0.58	0.64	0.64	0.65				
3800	0.75	1.10	1.45	1.79	2.12	2.44	2.76	3.05	3.34	3.62	3.89	4.14	4.38	4.61	4.83	5.03	5.22	5.39	0.07	0.20	0.29	0.36	0.43	0.49	0.54	0.58	0.64	0.64	0.65				
4000	0.74	1.11	1.47	1.81	2.15	2.48	2.79	3.10	3.39	3.67	3.93	4.18	4.42	4.64	4.86	5.06	5.22	5.38	0.08	0.21	0.31	0.39	0.47	0.54	0.59	0.65	0.70	0.70	0.71				
4200	0.73	1.11	1.48	1.84	2.18	2.51	2.83	3.14	3.43	3.71	3.97	4.22	4.45	4.66	4.86	5.03	5.19		0.08	0.22	0.33	0.41	0.50	0.57	0.62	0.69	0.73	0.73	0.74				
4400	0.71	1.12	1.49	1.85	2.20	2.54	2.86	3.17	3.46	3.73	3.99	4.23	4.44	4.64	4.82	4.98			0.09	0.23	0.35	0.43	0.52	0.60	0.65	0.72	0.76	0.76	0.77				
4600	0.69	1.09	1.48	1.85	2.21	2.55	2.87	3.18	3.47	3.73	3.98	4.21	4.41	4.59					0.09	0.24	0.36	0.46	0.55	0.63	0.68	0.75	0.80	0.80	0.81				
4800	0.66	1.07	1.47	1.85	2.21	2.55	2.87	3.17	3.45	3.71	3.95	4.16	4.35						0.09	0.25	0.38	0.48	0.57	0.66	0.71	0.79	0.84	0.84	0.85				
5000	0.63	1.05	1.45	1.83	2.19	2.53	2.85	3.15	3.42	3.67	3.89	4.08							0.10	0.26	0.40	0.50	0.60	0.69	0.74	0.82	0.88	0.88	0.89				
5200	0.59	1.01	1.42	1.81	2.17	2.51	2.82	3.11	3.37	3.60	3.80								0.10	0.28	0.41	0.52	0.62	0.71	0.78	0.86	0.93	0.93	0.94				
5400	0.54	0.97	1.38	1.77	2.13	2.47	2.77	3.05	3.29	3.51									0.11	0.29	0.43	0.54	0.65	0.74	0.81	0.89	0.97	0.97	0.98				
5600	0.49	0.93	1.34	1.73	2.08	2.41	2.70	2.97	3.20	3.39									0.11	0.30	0.45	0.56	0.67	0.77	0.84	0.92	1.00	1.00	1.01				
5800	0.43	0.87	1.29	1.67	2.02	2.34	2.62	2.87	3.08										0.12	0.31	0.46	0.58	0.70	0.80	0.87	0.96	1.04	1.04	1.05				
6000	0.37	0.81	1.22	1.60	1.94	2.25	2.52	2.75											0.12	0.32	0.48	0.60	0.72	0.83	0.90	0.99	1.07	1.07	1.08				
6200	0.30	0.74	1.15	1.52	1.86	2.15	2.40												0.12	0.33	0.50	0.63	0.75	0.86	0.93	1.03	1.10	1.10	1.11				
6400	0.22	0.66	1.07	1.43	1.75	2.03	2.26																										

Para las transmisiones indicadas en la parte coloreada es aconsejable el uso de la sección inferior.

NOTA: Para valores de transmisión inferiores a 1.02 la prestación adicional es nula.

Fuente: Catálogo de correas trapeciales Oleostatic Pirelli. Pag 24

$C_j$  y  $C_L$ .

Tabla 61. Facto de corrección  $C_j$  para arcos de contacto inferiores a  $180^\circ$

Tabla 6. — Factores de corrección  $C_j$  para arcos de contacto inferiores a  $180^\circ$ .

Arco de contacto sobre la polea menor	180°	175°	170°	165°	160°	155°	150°	145°	140°	135°	130°	125°	120°	115°	110°	105°	100°	90°
Transmisión trap / trap.	1	0,99	0,98	0,96	0,95	0,93	0,92	0,90	0,89	0,87	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,69
Transmisión trap plana	0,75	0,78	0,77	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,69

Fuente: Catálogo de correas trapeciales Oleostatic Pirelli. Pag 24

$$C_j = 0,93484$$

Tabla 62. Factor de corrección  $C_L$  en función del tipo de correa

Tabla 7. — Factores de corrección  $C_L$  en función del tipo de correa.

	16	24	28	35	42	48	53	66	75	81	90	105	128	144	180	240	330	420	540	720	
Z	0,80	0,83	0,88	0,92	0,95	0,98	1,00														
A			0,82	0,87	0,90	0,93	0,95	1,00	1,02	1,04	1,06	1,10	1,14	1,17	1,23						
B				0,81	0,85	0,88	0,90	0,94	0,97	0,98	1,00	1,04	1,08	1,11	1,16	1,22	1,28				
C						0,80	0,84	0,87	0,89	0,91	0,94	0,98	1,03	1,05	1,11	1,19	1,24				
D													0,87	0,83	0,94	1,00	1,07	1,12	1,18	1,24	
E															0,91	0,96	1,03	1,09	1,14	1,21	
F																0,87	0,97	1,03	1,06	1,09	

Fuente: Catálogo de correas trapeciales Oleostatic Pirelli. Pág 24

$$C_L = 0,93$$

Finalmente remplazando tenemos:

$$P_a = (1,085 + 0,085) * 0,934 * 0,93$$

$$P_a = 1,017 \text{ Hp}$$

### 9.3.12 Determinación del número de bandas requeridas

$$N_b = \frac{P_c}{P_a} \quad (137)$$

$$N_b = \frac{1,1414}{1,017} = 1,122 \approx 2$$

**9.3.13 Selección de poleas.** La selección se lo realiza mediante catálogos del fabricante en este caso seleccionaremos con el catalogo de la empresa BIRN.

Tabla 63. Características técnicas poleas

	D <sub>m</sub> (mm)	Sección	Numero de ranuras	CODIGO
Motriz.	250	SPA-2	2	62.0250.02
Conducido.	125	SPA-2	2	62.0125.02

Fuente: Catálogo de poleas Birn

**9.3.14 Factor de seguridad**

$$F_s = \frac{P_a * N_b}{P_t * k_s} \quad (138)$$

Donde:

$K_s$  = Factor de servicio.

Tabla 64. Factor de servicio  $K_s$

Driven Machinery	Source of Power	
	Normal Torque Characteristic	High or Nonuniform Torque
Uniform	1.0 to 1.2	1.1 to 1.3
Light shock	1.1 to 1.3	1.2 to 1.4
Medium shock	1.2 to 1.4	1.4 to 1.6
Heavy shock	1.3 to 1.5	1.5 to 1.8

Fuente: Shigley's Mechanical Engineering, eighth edition. Pág 882

Siendo:  $K_s = 1,2$  Impacto ligero; Par de torsión normal.

$$F_s = \frac{1,017 * 2}{0,9512 * 1,2} = 1,7819$$

**9.3.15 Durabilidad de la banda**

$$V = \frac{0,052}{1000} * d * N \quad (139)$$



$$V = \frac{0,052}{1000} * 125 \text{ mm} * 500 \text{ rpm}$$

$$V = 3,25 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 639,6 \text{ rpm}$$

$$F_c = K_c * \left(\frac{V}{1000}\right)^2 \quad (140)$$

Donde:

$K_c$ = Factor de servicio.

Tabla 65. Factor de servicio  $K_c$

Belt Section	$K_b$	$K_c$
A	220	0.561
B	576	0.965
C	1 600	1.716
D	5 680	3.498
E	10 850	5.041
3V	230	0.425
5V	1098	1.217
8V	4830	3.288

Fuente: Shigley's Mechanical Engineering, eighth edition. Pág 883

Siendo:  $K_c = 0,561$

$$F_c = 0,561 * \left(\frac{639,66}{1000}\right)^2 = 0,229 \text{ lbf}$$

$$\Delta_F = \frac{63024 * \left(\frac{P_c}{N_b}\right)}{N * \left(\frac{d}{2}\right)} \quad (141)$$

$$\Delta_F = \frac{63024 * \left(\frac{1,1414}{2}\right)}{500 * \left(\frac{125}{50,8}\right)} = 29,234 \text{ lbf}$$

$$F_1 = F_c + \frac{\Delta_F * e^{\mu\beta}}{e^{\mu\beta} - 1} \quad (142)$$

Donde:

$\mu$ = Coeficiente de rozamiento,  $\mu = 0,25$ .

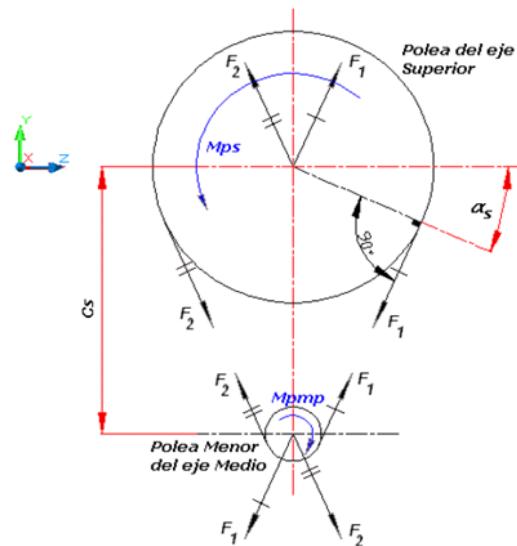
$\beta$ = Angulo de abrazamiento,  $\beta = 156,21^\circ = 2,72 \text{ rad}$

$$F_1 = 0,229 + \frac{29,234 * e^{0,25 * 2,72}}{e^{0,25 * 2,72} - 1} = 59,481 \text{ lbf}$$

$$\Delta_F = F_1 - F_2 \quad (143)$$

$$F_2 = F_1 - \Delta_F = 30,247 \text{ lbf}$$

Figura 65. Fuerzas y ángulos de contacto de bandas en disposición normal



Fuente: Shigley's Mechanical Engineering, eighth edition.

$$T_1 = F_1 + \frac{K_b}{d} \quad (lbf) \quad (144)$$

$$T_2 = F_1 + \frac{K_b}{D} \quad (lbf) \quad (145)$$

Donde:

$K_b$  = Esfuerzo de tensión máxima, Tabla 65, Shigley.

$$K_b = 220$$

$$T_1 = 59,481 + \frac{220}{\left(\frac{125}{25,4}\right)} = 106,047 \text{ lbf}$$

$$T_2 = 59,481 + \frac{220}{\left(\frac{250}{25,4}\right)} = 81,833 \text{ lbf}$$

### 9.3.16 Cálculo del número de pasadas

$$N_p = \left[ \left( \frac{k}{T_1} \right)^{-b} + \left( \frac{k}{T_2} \right)^{-b} \right]^{-1} \quad (\text{pasadas}) \quad (146)$$

Donde:

$K$  y  $b$  = Parámetros de durabilidad.

Tabla 66. Parámetros de durabilidad  $K$ ,  $b$

Belt Section	$10^8$ to $10^9$ Force Peaks		$10^9$ to $10^{10}$ Force Peaks		Minimum Sheave Diameter, in
	$K$	$b$	$K$	$b$	
A	674	11.089			3.0
B	1193	10.926			5.0
C	2038	11.173			8.5
D	4208	11.105			13.0
E	6061	11.100			21.6
3V	728	12.464	1062	10.153	2.65
5V	1654	12.593	2394	10.283	7.1
8V	3638	12.629	5253	10.319	12.5

Fuente: Shigley's Mechanical Engineering, eighth edition. Pág 884

Siendo:  $K= 674$   $b= 11,089$

$$N_p = \left[ \left( \frac{674}{106,047} \right)^{-11,089} + \left( \frac{674}{81,833} \right)^{-11,089} \right]^{-1} = 7,62792564 * 10^8 \text{ Pasadas}$$

### 9.3.17 Vida de la banda

$$t = \frac{N_p * L_p}{720 * V} \quad (147)$$

$$t = \frac{7,62792564 * 10^8 \text{ Pasadas} * \left( \frac{1226}{25,4} \right)}{720 * 639,6 \text{ fpm}} = 79950,69 \text{ horas}$$

## CAPÍTULO X

### 10. PROCEDIMIENTOS Y ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

En el presente capítulo se desarrollara y resaltara la importancia de las acciones de mantenimiento más comunes en función de cada parte del sistema y se describirá con algún detalle aquellas que requieran cierto conocimiento técnico para su ejecución. Asimismo se, se darán recomendaciones practicas para el efectivo cumplimiento de los programas de mantenimiento en base a experiencias acumuladas. [12]

#### 10.1 Medidas y acciones de mantenimiento

Las consecuencias de una inadecuada operación y la desatención del mantenimiento devienen en una serie problemas relacionados directamente con el estado del equipo mecánico y también en pérdidas económicas, por energía dejada de producir y por costos imprevistos de reposición o reparación de piezas.

Por lo tanto los procedimientos y actividades de mantenimiento deben especificarse a manera de “secuencia de acciones” que se repiten periódicamente y encargarse a una persona que debe estar capacitado para ejecutar, registrar y programar estas acciones.

**10.1.1** *Acciones de mantenimiento en bocatomas.* Las acciones de mantenimiento en la bocatoma deben estar orientadas generalmente en:

Épocas de avenidas, los ríos traen consigo grandes piedras, vegetación y arena que se deposita en la parte previa a la presa; estos materiales podrían ocasionalmente bloquear la entrada del agua al canal, por lo que será necesario retirarlos.

La existencia de rajaduras o filtraciones en la presa se pueden observar mejor en épocas de estiaje. Durante esta temporada se deben realizar trabajos de resane.

La ventana de captación es el punto donde el agua deja el río para irse por el canal. Es necesario inspeccionar esta ventana diariamente en época de avenida; es probable que algunos materiales flotantes queden atrapados en las rejas y bloqueen el paso de agua.

**10.1.2 Acciones de mantenimiento en canales.** La mayoría de las micro centrales hidroeléctricas (M.C.H.) tienen alguna forma de canal para llevar el agua.

Una de las consideraciones importantes que se deben tener en cuenta es la velocidad con la que el agua circula, si el agua se traslada a una velocidad mayor designada, el canal podría erosionarse, y si el agua se traslada a una velocidad menor el canal tiende a sedimentar, en general cualquiera que sea el material del que están fabricados.

Por tanto, es conveniente intentar mantener la velocidad entre los límites designados. Esta consideración debe tomarse en cuenta cuando se reparan canales sin revestimiento.

Tabla 67. Velocidad máxima permisible en canales de tierra

Tipo de suelo	Velocidad (m/s)
Arena fina	0.3 - 0.4
Arena + arcilla	0.4 - 0.6
Arcilla	0.6 - 0.8
Arcilla compacta	0.8 - 2.0

Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

Las acciones de mantenimiento en canales deben estar orientadas a prevenir:

Fugas y repararlas tan pronto como ellas aparezcan.

El canal debe ser inspeccionado periódicamente, cuidando remover piedras, vegetación y sedimentos.

**10.1.3 Acciones de mantenimiento en desarenadores.** El desarenador es una parte importante del sistema, pues determina el deterioro por erosión del rodete de la turbina, en el la velocidad del agua es disminuida permitiendo que las partículas en suspensión caigan a la base del desarenador.

Los sedimentos recolectados deben ser expulsados con una periodicidad que depende de cada caso mediante la apertura de la compuerta de purga; de lo contrario se seguirán acumulando hasta que algún exceso pase a la turbina.

Durante la temporada de lluvia la frecuencia de vaciado del desarenador debe ser mayor.

Aparte de la limpieza de sedimentos, el desarenador requiere poco mantenimiento, como la ocasional reparación de la mampostería que podría ejecutarse durante los periodos secos del año.

Las guías y accesorios de la compuerta de purga podrían requerir lubricación cada cierto tiempo, dependiendo de su diseño.

**10.1.4 Acciones de mantenimiento en tuberías.** Las acciones de mantenimiento en la tubería deben estar orientadas a prevenir:

Las tuberías son de material plástico PVC no deben ser expuestas a los rayos solares debido al prematuro envejecimiento que los rayos ultravioleta ocasionan al PVC.

Es recomendable que las tuberías se instalen en zanjas y sean totalmente cubiertas con tierra, lo que también las protege de ocasionales golpes que podrían fracturarla con relativa facilidad.

Es sumamente importante inspeccionar el estado de los anclajes y soportes considerando la presencia de drenajes laterales para conducir aguas de lluvia que de otro modo podrían socavar el terreno provocando inestabilidad y, en casos extremos, deformación y hasta rotura de la tubería.

**10.1.5 Acciones de mantenimiento en válvulas.** Para las válvulas, no hay mantenimiento ni engrasado particular que prever, simplemente tener en cuenta algunas recomendaciones:

Las válvulas tienden a presentar fugas de agua por la prensaestopa, la cual no es mayor problema porque bastara ajustar el sello o cambiar la empaquetadura del mismo.

Estas válvulas están diseñadas para trabajar en una determinada posición, es decir cerrada o abierta, nunca en una posición intermedia debido al desgaste prematuro del elemento obturador y las fuertes perdidas de carga que producen en esta posición.

**10.1.6 Acciones de mantenimiento en la turbina hidráulica.** En nuestro caso el tipo de turbina que utilizaremos es Michell-Banki.

La turbina necesitara poco mantenimiento en la medida en que el agua se mantenga limpia. De ocurrir que algún objeto se incruste en el interior de la turbina, será necesario retirar la tapa de inspección de la turbina y extraer el objeto con lo cual se recupera la potencia de la turbina.

Otro punto de especial cuidado son los rodamientos o apoyos del eje; se debe estar alerta ante la ocurrencia de ruidos extraños o sobrecalentamientos, pues estos son indicadores que algo esta mal.

El desgaste de rodets y elementos directrices del agua ocurren a lo largo del tiempo, por lo que será necesario realizar una inspección anual rigurosa que proporcione información acerca de cual es el avance del desgaste.

Esta es la forma más adecuada de controlar el desgaste y tener suficientes criterios para programar una reparación general, como muestra la tabla 68.

Tabla 68. Programa de mantenimiento de la turbina

TURBINA HIDRÁULICA.			
Operación	Diario	Mensual	Anual
- Revisar la cámara de la turbina, las válvulas de admisión y las tuberías en busca de deterioro o fugas.	X	X	X
- Inspeccionar los sellos en busca de fugas en los cojinetes de la turbina (Pelton)	X	X	X
- Examinar las paletas guías, paletas directrices e interior de la cámara espiral.			X
- Examinar rodets y carcasa.			X
- Examinar el aparato de las aletas guías en busca de holguras, cojinetes gastados y de la geometría apropiada.			X

Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

Los rodamientos al ser uno de los elementos importantes, deben ser evaluados acerca de su estado, las acciones a tener en cuenta son:

**10.1.7 Acciones de mantenimiento en rodamientos.** Los rodamientos requieren de poca atención, su control esta orientado realizar:

Periódicamente habrá que realizar un engrase, y proceder a su recambio cuando hayan completado el número de horas de trabajo que el fabricante lo especifique.

El tiempo que un rodamiento engrasado funciona satisfactoriamente sin engrase, depende del tipo de rodamiento, tamaño, velocidad y temperatura de funcionamiento, del ambiente y tipo de grasa.

**10.1.8 Acciones de mantenimiento en la bomba.** El principal problema de mantenimiento de la bomba reciprocante está en la empaquetadura. Aunque la duración de una empaquetadura estándar de una bomba es de unas 2500 h, en instalaciones se han logrado más de 18000 h, donde su control a lo largo del tiempo, proporciona información acerca estado de las mismas, tomando los debidos controles esta se alarga.

Las acciones de mantenimiento en la bomba deben estar orientadas a prevenir:

Una lubricación insuficiente.

Desalineación del émbolo o la biela con el prensaestopas.

Alta velocidad o alta presión.

Sólidos en el líquido bombeado, cuerpos extraños o lubricante.

Las condiciones anteriores pueden indicar problemas en otro lugar en la bomba o en el sistema.

**10.1.9 Acciones de mantenimiento en bandas de transmisión.** Debido a la presencia de vibración en la operación de la turbina o por la ocurrencia de cargas bruscas, embalamientos frecuentes y desgaste de las partes rotativas de la turbina se debe corregir periódicamente:

El alineamiento y anclaje, reajustando los tensadores y pernos.

Si las fajas han perdido consistencia, o una o más fajas no se tensan o están muy gastadas deben cambiarse.



**10.1.10 Acciones de mantenimiento en el reservorio de almacenamiento.** Los tanques de almacenamiento requieren un mantenimiento adecuado, con el fin de aumentar la vida útil y la calidad de agua, las actividades de limpieza se deben realizar periódicamente y revisar las siguientes condiciones:

Limpieza de la tubería de desfogue del tanque de almacenamiento.

Revisar que las trincheras se encuentren llenas de tierra del tanque de almacenamiento.

Revisar que no existan fugas ni fisuras en la geomembrana (aislante) del tanque en caso de existir.

Todas estas medidas y acciones de mantenimiento la empresa debe documentar esta información y mantenerla actualizada, ver (ANEXO M).

**10.2 Operaciones de mantenimiento.** Es importante mencionar que el sistema tendrá un régimen de funcionamiento de 24 horas al día, por lo tanto el tiempo de parada que se debe tomar en cuenta al momento de programar una acción de mantenimiento que requiera hacerse con el sistema fuera de servicio.

Preferentemente de acuerdo a los criterios de tabla 69.

Tabla 69. Paralizaciones por mantenimiento

Épocas	Paralizar durante
DURANTE EL AÑO.	- Meses de estiaje
DURANTE LA SEMANA.	- Días de fin de semana
DURANTE EL DÍA.	- Horas nocturnas. - De madrugada. - En horas de paralización por poca demanda.

Fuente: ITDG. Manual de Mini y Microcentrales

La empresa debe asegurarse de que los aspectos operacionales significativos se tengan en cuenta en el establecimiento, implementación de un sistema de gestión y mantenimiento.

## CAPÍTULO XI

### 11. ANÁLISIS FINANCIERO

El análisis financiero del proyecto se realiza para identificar los costos y beneficios atribuidos al mismo, y medirlos (valorarlos) con el objetivo de orientar la toma de decisiones en torno a si es conveniente o no su ejecución.

#### 11.1 Costos

Para cuantificar los costos es necesario, hacer una descripción de los rubros tomados en cuenta para el diseño del proyecto.

Costos de Inversión.

Costos de Materiales.

Costos de Maquinaria y Equipos.

Costos de Mano de Obra.

Costos de Ingeniería Básica.

Costos por Imprevistos.

Costos de Operación y Mantenimiento.

Una vez que se tienen los rubros detallados, se suman sus respectivos valores y se obtiene el costo total del proyecto.

**11.1.1 Costos de Inversión.** Son los cargos por concepto de maquinaria, materiales, mano de obra y de gastos, correspondientes directamente a la construcción, adquisición de equipos, accesorios y puesta en marcha del sistema. [14]

Además de aquellos gastos de tipo general que intervienen para que el proyecto sea ejecutado de manera correcta, siendo estos:

**11.1.1.1 Costos de Materiales.** Está dado por el valor de los materiales necesarios para la construcción del proyecto, en esta lista están incluidos los materiales necesarios para la obra civil, e hidráulica.

Tabla 70. Costos de materiales

<b>MATERIALES ESTIMADOS PARA EJECUCIÓN DEL PROYECTO.</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PRECIO UNIT (USD \$)</b>	<b>PRECIO TOTL (USD \$)</b>
Codo unión E/C 45° x 40 mm L/R	2	u	1,39	2,78
Codo unión E/C 45° x 50 mm L/R	2	u	1,93	3,86
Codo unión E/C 45° x 200 mm L/R	2	mm	88,86	177,72
Kalipega, (PLASTIGAMA)	1	3.785 cc	34,42	34,42
Varilla corrugada antisísmica A-42S. D=8mm, Adelca	4	qq	49,57	198,28
Cemento Selva Alegre, (Lafarge)	20	50 kg	6,83	136,60
Arena no lavada (0-5mm) en cantera (1.43 Ton/m3)	5	m <sup>3</sup>	5,64	28,20
Arena cribada (para hormigones)	5	m <sup>3</sup>	7,00	35,00
Piedra homogenizada # 57(5-25mm).En cantera 1.23Ton/m3)	7	m <sup>3</sup>	10,04	70,28
Piedra (para cimientos y/o empedrado)	0,5	m <sup>3</sup>	8,40	4,20
Encofrado de muro (el m <sup>2</sup> )	10	mes	8,61	86,10
Tablón chanul 2.4mx4cmx27cm	10	u	1,21	12,10
Eurolit (2.44 x 0.92) 5 ondas perfil 7	8	u	13,63	109,04
Compuerta de limpieza	1	u	64,85	64,85
Ángulo 40x6mm, peso=20.91kg	6	6 m	23,96	143,76
Clavos 2; 2 1/2; 3; 3 1/2"	3	kg	1,73	5,19
<b>COSTO TOTAL:</b>				<b>1112,38</b>

Fuente: Autor

#### **11.1.1.2 Costo de Maquinaria y Equipos**

*Costo de la Maquinaria.* El costo de la maquinaria está dado por el valor de cada uno de los componentes principales de la instalación hidráulica fuera de fábrica, es decir, que para obtener el precio de los equipos en la planta hay que determinar el valor del embalaje, transportación, seguro, impuestos y gastos aduaneros.

Este rubro es aproximadamente un 25% del valor inicial de la maquinaria.

Tabla 71. Costos de la maquinaria

<b>MAQUINARIA ESTIMADA PARA EJECUCIÓN DEL PROYECTO.</b>				
<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PRECIO UNIT (USD \$)</b>	<b>PRECIO TOTL (USD \$)</b>
Turbina Michell Banki MODELO: R125	1	u	1620,00	1620,00
Bomba hidráulica SERFILCO TIPO A 08 – 4	1	u	850,00	850,00
Sub-total (maquinaria)				<b>2470,00</b>
Embalaje, flete, IVA, gastos aduaneros (25%)				<b>617,50</b>
<b>COSTO TOTAL:</b>				<b>3087,50</b>

Fuente: Autor

*Costo de Equipos.* El costo de los equipos está dado por el valor de cada uno de los dispositivos de control y anexos de la instalación.

Estos valores figuran con impuestos, por lo que no es necesario aumentarle el IVA para obtener el precio total de los equipos.

Tabla 72. Costos de los equipos

<b>EQUIPOS ESTIMADOS PARA EJECUCIÓN DEL PROYECTO.</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PRECIO UNIT (USD \$)</b>	<b>PRECIO TOTL (USD \$)</b>
Tub.presión E/C 200 mm.x 6m.x116 PSI, (PLASTIGAMA)	22	6m	121,11	2664,42
Tub.presión E/C 50 mm.x 6m.x145 PSI, (PLASTIGAMA)	1	6m	11,90	11,90
Tub.presión E/C 40 mm.x 6m.x145 PSI, (PLASTIGAMA)	14	6m	8,18	114,52
Válvula de compuerta, (SOMEPAL)	1	u	885,76	885,76
Válvula antirretorno, (HIDROTEN S.A)	1	u	12,89	12,89
Válvula de aire V.net D/E 2" (PP), (HIDROTEN S.A)	1	u	119,13	119,13
Volante, (SOMEPAL)	1	u	40,56	40,56
Correas trapeciales OLEOSTATIC A48	2	u	14,80	29,60
125X2SPA (1610) - SPA poleas Taper Lock Bush	1	u	17,46	17,46
250X2SPA (2517) - SPA poleas Taper Lock Bush	1	u	51,48	51,48
<b>COSTO TOTAL:</b>				<b>3947,72</b>

Fuente: Autor

**11.1.1.3 Costos de Mano de obra.** En los costos de Mano de Obra, se toma en cuenta los precios por mano de obra empleada. Estos se detallan en tabla 73.

Tabla 73. Costos de mano de obra

<b>MANO DE OBRA PARA EJECUCIÓN DEL PROYECTO.</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PRECIO UNIT (USD \$)</b>	<b>PRECIO TOTL (USD \$)</b>
Peón.	80	Hora	2,56	204,80
Albañil.	150	Hora	2,58	387,00
Maestro de obra.	50	Hora	2,58	129,00
Topógrafo.	5	Hora	2,71	13,55
Soldador.	8	Hora	2,58	20,64
<b>COSTO TOTAL:</b>				<b>754,99</b>

Fuente: Autor

**11.1.1.4 Costo de Ingeniería básica y de detalle.** Es necesario considerar dentro de los costos del proyecto el trabajo de los técnicos como: ingenieros, proyectistas a cargo de los planos de detalle y todos los profesionales que intervienen en el proyecto.

Además se debe tomar en cuenta rubros generales como gastos de oficina y demás.

Tabla 74. Costos de ingeniería y de detalle

<b>COSTOS DE INGENIERÍA Y DE DETALLE PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO.</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PRECIO UNIT (USD \$)</b>	<b>PRECIO TOTL (USD \$)</b>
Internet.	200	Hora	0,75	150,00
Gastos movilización, combustible entre otros.	2	Día	20,00	40,00
Impresiones documentos.	800	u	0,05	40,00
Planos generales y en detalle.	100	Hora	2,66	266,00
Dirección del proyecto y personal técnico.	20	Hora	5,00	100,00
Gastos de oficina.	4	u	2,00	8,00
<b>COSTO TOTAL:</b>				<b>604,00</b>

Fuente: Autor

El responsable del proyecto está a cargo de los costos de Ingeniería y de Detalle, es decir, si restamos este rubro del total de los costos, determinamos que este aportaría con la cantidad de 634,00 USD

**11.1.1.5 Costos por Imprevistos.** Para los imprevistos que se puedan generar durante la construcción, como la posibilidad de variación de precios de materiales, mano de obra, equipos y servicios, ya que no se sabe con certeza la fecha de iniciación en la ejecución del proyecto.

Se adiciona un 10% del costo directo total.

Tabla 75. Costos por imprevistos

<b>COSTOS DE IMPREVISTOS.</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PRECIO UNIT (USD \$)</b>	<b>PRECIO TOTL (USD \$)</b>
Imprevistos (10% Costos de Inversión)	1	---	890,26	890,26
<b>COSTO TOTAL:</b>				<b>890,26</b>

Fuente: Autor

**11.1.1.6 Costo total de inversión.** Una vez, obtenidos los valores por cada uno de los rubros a se obtienen el costo total de inversión del proyecto.

Para esto en tabla 76, se detallan los costos totales de inversión.

Tabla 76. Costo total de inversión

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD (USD)</b>
Costo de Materiales.	1112,38
Costo de Maquinaria y Equipos.	7035,22
Costo de Mano de Obra.	754,99
Costo de Mano de Ingeniería Básica y de Detalle.	0,00
Costo de Imprevistos.	890,26
<b>TOTAL COSTOS DE INVERSIÓN.</b>	<b>\$ 9792,85</b>

Fuente: Autor

## **11.1.2 Costos de Operación y Mantenimiento**

**11.1.2.1 Costos de Operación.** Los costos de operación de la instalación, están determinados por los siguientes aspectos:

Tabla 77. Costos de operación

<b>COSTOS DE OPERACIÓN DE LA INSTALACIÓN.</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PRECIO UNIT (USD \$)</b>	<b>PRECIO TOTL (USD \$)</b>
Equipo e implementos de seguridad.	4	---	10,00	40,00
<b>COSTO TOTAL:</b>				<b>40,00</b>

Fuente: Autor

**11.1.2.2 Costos de Mantenimiento.** Una vez funciona el sistema, el costo de mantenimiento se calcula a partir del año de inicio de operaciones, es decir, del año 1 hasta el final del proyecto año 15.

Para detallar estos costos se consideran:

Tabla 78. Costos de mantenimiento variables

<b>GASTOS DE MANTENIMIENTO VARIABLES</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR UNIT. (USD \$)</b>	<b>CANTIDAD ANUAL</b>	<b>VALOR ANUL (USD \$)</b>
Cambio de rodamientos.	33,50	2	67,00
Limpieza.	20,00	3	60,00
Imprevistos.	---	---	50,00
<b>COSTO TOTAL:</b>			<b>177,00</b>

Fuente: Autor

Tabla 79. Costos de mantenimiento fijos

<b>GASTOS DE MANTENIMIENTO FIJOS</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR UNIT. (USD \$)</b>	<b>CANTIDAD ANUAL</b>	<b>VALOR ANUL (USD \$)</b>
Mantenimiento de Bomba y Turbina.	20,00	4	80,00
Costos de mantenimiento de las obras civiles.	20,00	4	80,00
Costo de mantenimiento del Sistema Mecánico.	12,50	4	50,00
Lubricación.	15,00	3	45,00
<b>COSTO TOTAL:</b>			<b>255,00</b>

Fuente: Autor

El valor promedio de los costos de operación y de mantenimiento del proyecto es de 472,00 USD

## 11.2 Beneficios

Para evaluar los beneficios del proyecto, se consideran los siguientes ítems:

1. Ahorro por el no pago de energía utilizada para el funcionamiento de la bomba.
2. No pago de energía por la salida de funcionamiento del sistema actual de bombeo.
3. Valor residual.

Determinando así el monto de beneficios.

**11.2.1** *Ahorro por el no pago de energía para el funcionamiento de la bomba hidráulica.* Es un ahorro anual que se produce por el no pago de energía, desde la entrada en servicio del proyecto hasta el fin de su vida útil.

**11.2.1.1** *Rubros de las planillas de pago de energía eléctrica.* De acuerdo a datos proporcionados por el CONELEC. El pliego tarifario para la planilla de pago mensual de la empresa que factura con EMELNORTE S.A, contempla los siguientes rubros:

Categoría:	General
Nivel de tensión:	Media tensión
Demanda facturable:	USD\$ 4,79 por cada kw
Comercialización:	USD\$ 1,414
Consumo de energía:	USD\$ 0,061 por cada kw.h
Concepto de alumbrado público:	El 11% del subtotal de servicio eléctrico.
Impuesto para el Benemérito Cuerpo de Bomberos:	USD\$ 10,20
Concepto de FERUM (Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal):	El 10% del subtotal de servicio eléctrico.
Concepto de tasa de recolección de basura:	El 10% del subtotal de servicio eléctrico.

La planilla de pago mensual está desglosada de la siguiente manera:



Tabla 80. Elementos de la facturación eléctrica, EMELNORTE S.A

CONCEPTO.	UNIDAD.
Demanda.	Kw
Comercialización.	USD
Consumo (Energía Activa)	Kw.h
<b>SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO.</b>	USD
Alumbrado público.	USD
Contribución bomberos.	USD
Tasa recolección de basura.	USD
F.E.R.U.M.	USD
<b>SUBTOTAL VALORES DE TERCEROS.</b>	USD
<b>TOTAL A PAGAR.</b>	USD

Fuente: EMELNORTE S.A

El total a pagar se determina con la suma de los rubros mencionados.

**11.2.1.2 Consumo y Facturación de energía eléctrica mensual.** En base a la información recopilada, para determinar el monto de los ingresos, se asume el costo por Kw.h de referencia (ANEXO N).

Tabla 81. Costos de demanda de energía eléctrica mensual

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR MENSL (USD)
Potencia Total.	HP	0,85	
Potencia Total.	kw	0,6338	
Tiempo de utilización, (Diario).	hr/día	24	
Tiempo de utilización, (Mensual).	hr/mes	730	
Costo eléctrico, Según el pliego tarifario de EMELNORTE S.A	USD/kw-hr	0.061	
Consumo (Energía Activa).	USD	28,22	
Comercialización.	USD	3,035	
Demanda.	USD	1,414	
<b>SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO :</b>			<b>\$ 32,669</b>

Fuente: Autor

En base a la información recopilada, para determinar el monto de los ingresos, se asume el costo por Kw.h de referencia.

Tabla 82. Costos de energía eléctrica

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL (USD)
Costo de la demanda.	0,6338 kw	4,79 USD/kw	3,035
Costo del consumo.	462,672 kw.h	0,061USD/kw.h	28,22
Valor comercial a pagar.	1	1,414 USD	1,414
Alumbrado público.	1	3,593 USD	3,593
Contribución bomberos.	1	10,20 USD	10,20
Tasa recolección de basura.	1	3,266 USD	3,266
F.E.R.U.M.	1	3,266 USD	3,266
<b>COSTO TOTAL MENSUAL DE CONSUMO:</b>			<b>\$ 52,994</b>
<b>COSTO TOTAL ANUAL DE CONSUMO:</b>			<b>\$ 635,928</b>

Fuente: Autor

Este monto sería lo que el proyecto estaría aportando a la empresa a manera de ahorro económico, por consumo de energía.

**11.2.2** *No pago de energía por la salida de funcionamiento del sistema actual de bombeo.* Ahorro que se produce por el no pago de energía, desde la salida de servicio del sistema hidroneumático.

**11.2.2.1** *Principio de Funcionamiento.* Los sistemas hidroneumáticos se basan en el principio de compresibilidad del aire cuando es sometido a presión.

El agua que es suministrada desde una fuente, es retenida en un tanque de almacenamiento; de donde, a través de un sistema de bombas, será impulsada a un recipiente a presión, que posee volúmenes variables de agua y aire. Cuando el agua entra al recipiente aumenta el nivel de agua, se comprime el aire y aumenta la presión, cuando se llega a un nivel de agua y presión determinados, se produce la señal de parada de la bomba y el tanque queda en la capacidad de abastecer la red, cuando los niveles de presión bajan, a los mínimos preestablecidos, se acciona el mando de encendido de la bomba nuevamente.

Este sistema esta constituido y dotado de componentes tales, tanque de presión, bombas, manómetros, válvulas, dispositivos de control automático, etc.

**11.2.2.2 Cálculo de consumo de energía del sistema.** Al estar constituido de bombas acorde con las exigencias de la red, que esta determinado por los ciclos de bombeo (número de arranques de una bomba en una hora). Se usa una frecuencia de 4 ciclos por hora, que determinan el consumo energía. Siendo esta una bomba industrial pequeña de 2 hp, 1800 rpm que opera a tiempo parcial, con un funcionamiento aproximado de 4000 horas anuales, además consta de dos bombas de 1,5 hp de 1500 rpm que opera a tiempo parcial, con un funcionamiento de 5000 horas anuales para la distribución del agua.

En base a la información recopilada para la empresa, los valores de demanda de energía eléctrica consumida y costo promedios se muestran en las siguientes tablas 83 y 84.

Tabla 83. Ejemplo de ahorro en bomba

DESCRIPCIÓN	DEMANDA (kw)	ENERGÍA (kw.h)	COSTO (USD)
Demanda de energía.	1,491 kw	4,79 USD/kw	7,14
Costo del consumo.	497,00 kw.h	0,061USD/kw.h	30,31
<b>COSTO TOTAL MENSUAL DE CONSUMO:</b>			<b>\$ 37,45</b>
<b>COSTO TOTAL ANUAL DE CONSUMO:</b>			<b>\$ 449,48</b>

Fuente: Autor

Tabla 84. Ejemplo de ahorro en bomba

DESCRIPCIÓN	DEMANDA (kw)	ENERGÍA (kw.h)	COSTO (USD)
Demanda de energía.	1,491 kw	4,79 USD/kw	7,14
Costo del consumo.	621,25 kw.h	0,061USD/kw.h	37,89
<b>COSTO TOTAL MENSUAL DE CONSUMO:</b>			<b>\$ 45,04</b>
<b>COSTO TOTAL ANUAL DE CONSUMO:</b>			<b>\$ 540,44</b>

Fuente: Autor

El cálculo del beneficio económico se encuentra expresado en el mismo período para el cual se ha efectuado el cálculo del ahorro económico (mensual o anual).

**11.2.3 Valor residual.** Es el valor de los bienes en el último año de vida útil del proyecto.

**11.2.3.1 Cálculo del valor residual.** Para calcular este valor se debe tener en cuenta la depreciación de los bienes durante el uso en el proyecto, considerando su tiempo de vida útil, para nuestro caso se tiene: Obra civil, Maquinaria y equipos (20 años).

El valor residual se puede calcular de la siguiente manera:

$$V_{Rn} = V_i - (V_i * [\frac{n}{N}]) \quad (148)$$

Donde:

$V_{Rn}$ = Valor residual en el año “n”, en USD.

$V_i$ = Valor inicial del bien, en el año de su instalación en, en USD.

$n$ = Año en que se calcula el valor residual, en años.

$N$ = Vida útil del bien, en años.

Se considera un horizonte de vida útil para el proyecto de 15 años.

### **11.2.3.2 Valor residual de obras civiles**

Valor inicial:  $V_i = 2686,29$  USD

Vida útil:  $N = 20$  años

Tiempo de uso de proyecto:  $n = 15$  años

El valor residual, de las obras civiles que forma parte del proyecto, es:

$$V_{R15c} = 2757,63 - (2757,63 * [\frac{15}{20}])$$

$$V_{R15c} = 689,40 \text{ USD}$$

### **11.2.3.3 Valor residual de la maquinaria, equipos y otros**

Valor inicial:  $V_i = 7035,22$  USD

Vida útil:  $N = 20$  años

Tiempo de uso de proyecto:  $n = 15$  años

El valor residual para de la maquinaria y equipos es:

$$V_{R15e} = 7035,22 - (7035,22 * [\frac{15}{20}])$$

$$V_{R15e} = 1758,80 \text{ USD}$$

El valor total residual para el año “n” será la suma de cada uno de los valores obtenidos:

$$V_{Rn} = V_{R15c} + V_{R15e} \quad (149)$$

$$V_{Rn} = 689,40 + 1758,80 = 2448,20 \text{ USD}$$

Se debe considerar que el ahorro es permanente, ya que una vez superada la inversión, el ahorro es continúa durante toda la vida útil del proyecto.

### **11.3 Flujo de caja interno**

Conocidos los valores de inversión, egresos e ingresos del proyecto se desarrolla el flujo de caja del cual se obtienen los indicadores económicos:

Tabla 85. Flujo de caja interno.

<b>FLUJO DE CAJA</b>											
	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>
<b>BENEFICIOS.</b>											
Valor de Salvamento.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ahorro Anual.	604,0	1625,84	1625,84	1625,84	1625,84	1625,84	1625,84	1625,84	1625,84	1625,84	1625,84
Beneficio Total.	604,0	1625,84	1625,84	1625,84	1625,84	1625,84	1625,84	1625,84	1625,84	1625,84	1625,84
<b>COSTOS.</b>											
Inversion.	9792,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operación y Mantenimiento.	0	472,0	472,0	472,0	472,0	472,0	472,0	472,0	472,0	472,0	472,0
Costo Total.	9792,85	472,0	472,0	472,0	472,0	472,0	472,0	472,0	472,0	472,0	472,0
<b>FLUJO DE CAJA.</b>	<b>\$ -9188,8</b>	<b>\$ 1153,8</b>	<b>\$ 1153,8</b>	<b>\$ 1153,8</b>	<b>\$ 1153,8</b>	<b>\$ 1153,8</b>	<b>\$ 1153,8</b>	<b>\$ 1153,8</b>	<b>\$ 1153,8</b>	<b>\$ 1153,8</b>	<b>\$ 1153,8</b>

Fuente: Autor

Tabla 85. (Continuación)

	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
<b>BENEFICIOS.</b>					
Valor de Salvamento.	0	0	0	0	2448,20
Ahorro Anual.	1625,84	1625,84	1625,84	1625,84	1625,84
Beneficio Total.	1625,84	1625,84	1625,84	1625,84	4074,04
<b>COSTOS.</b>					
Inversion.	0	0	0	0	0
Operación y Mantenimiento.	472	472	472	472	472
Costo Total.	472	472	472	472	472
<b>FLUJO DE CAJA.</b>	<b>\$ 1153,8</b>	<b>\$ 1153,8</b>	<b>\$ 1153,8</b>	<b>\$ 1153,8</b>	<b>\$ 3602,0</b>

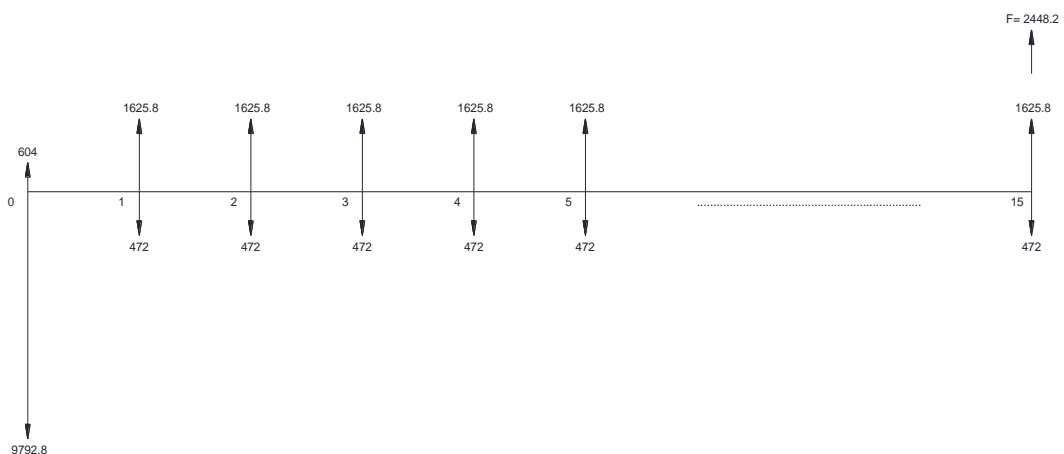
Fuente: Autor

### 11.4 Evaluación económica de proyecto

La evaluación económica del proyecto esta determinada por el análisis de los indicadores económicos: el valor actual neto (VAN), la relación beneficio/costo (B/C) y la tasa interna de retorno (TIR).

**11.4.1** *El Valor Actual Neto, VAN.* Es un indicador que mide los flujos de los ingresos y egresos que tendrá el proyecto, para determinar si luego de descotar la inversión inicial, nos queda ganancia, si el resultado es positivo el proyecto es viable. El diagrama de flujo de caja se muestra en la figura 66.

Figura 66. Diagrama de flujo de caja



Fuente: Autor

**11.4.1.1 Cálculo del VAN.** La tasa de interés que se utiliza para el cálculo del VAN es del 10%, según la tasa activa de interés, (ANEXO O).

La fórmula del VAN es:

$$VAN = VAI - VAE \quad (150)$$

VAI (Ingresos):

$$VAI = 604,0 + A (P/A; i; 15) + F (P/F; i; 15)$$

$$VAI = 604,0 + 1625,84 (P/A; 10\%; 15) + 2448,20(P/F; 10\%; 15)$$

Donde:

$$A = 1625,84 \text{ USD}$$

$$VAI = 604,0 + 1625,84 (7,6061) + 2448,20 (0,2394)$$

$$VAI = 604,0 + 12366,30 + 586,09 = 13556,40 \text{ USD}$$

VAE (Egresos):

$$VAE = 9721,51 + A (P/A; i; 15)$$

Donde:

$$A = 472,00 \text{ USD}$$

$$VAE = 9792,85 + 472,0 (P/A, 10\%, 15)$$

$$VAE = 9792,85 + 472,0 (7,6061)$$

$$VAE = 9792,85 + 3590,07 = 13382,92 \text{ USD}$$

El valor del VAN será la diferencia de cada uno de los valores obtenidos:

$$VAN = 13556,40 - 13382,92 = 173,48 \text{ USD}$$

Como el VAN es positivo se concluye que el proyecto es rentable.



**11.4.2** *Cálculo de la relación Beneficio–Costo, (B/C).* Es el cociente de la suma total de los beneficios actualizados dividido entre la suma total de los costos actualizados, a una misma tasa de descuento  $i$ .

Si este cociente es mayor que 1, significa que para la tasa de descuento  $i$ , los beneficios son mayores que los costos, y si es menor que 1, los costos son mayores que los beneficios. La regla señala que debe realizarse el proyecto solo si la relación de beneficios a costos es mayor que la unidad.

La tasa de descuento que se utilizó para el cálculo del VAN es del 10 %. El cálculo de la relación beneficio/costo está dada por:

$$\frac{B}{C} = \frac{13556,40}{13382,92} = 1.029$$

Como la relación B/C es mayor que la unidad se concluye que el proyecto se puede realizar.

**11.4.3** *La Tasa Interna de Retorno, TIR.* Es la tasa de actualización que hace que el valor actual neto del proyecto sea igual a cero. Esta tasa trata de considerar un número en particular que resume los méritos de un proyecto, dicho número no depende de la tasa de interés que rige el mercado de capitales, por eso se llama tasa interna de rentabilidad, el número es interno o inherente al proyecto y no depende de nada excepto de los flujos de caja del proyecto.

Los factores de valor actual se encuentran en, (ANEXO O).

**11.4.3.1** *Cálculo del TIR.* La TIR se calcula de la siguiente manera:

$$TIR = i\% + \Delta\% * \frac{VPN^+}{VPN^+ + VPN^-} \quad (151)$$

Si:  $i = 10\%$

$$VPN = [604,0 + A_1 (P/A_1; i; 15) + F (P/F; i; 15)] - [9792,85 + A (P/A; i; 15)]$$

$$VPN = [604,0 + 1625,84 (7,6061) + 2448,20 (0,2394)] - [9792,85 + 472,0 (7,6061)]$$

$$VPN = [604,0 + 12366,30 + 586,09] - [9792,85 + 3590,07]$$

$$VPN = 173,48$$

Si:  $i = 12\%$

$$VPN = [604,0 + A_1 (P/A_1; i; 15) + F (P/F; i; 15)] - [9792,85 + A (P/A; i; 15)]$$

$$VPN = [604,0 + 1625,84 (6,8109) + 2448,20 (0,1827)] - [9792,85 + 472,0 (6,8109)]$$

$$VPN = [604,0 + 11072,07 + 447,28] - [9792,85 + 3214,74]$$

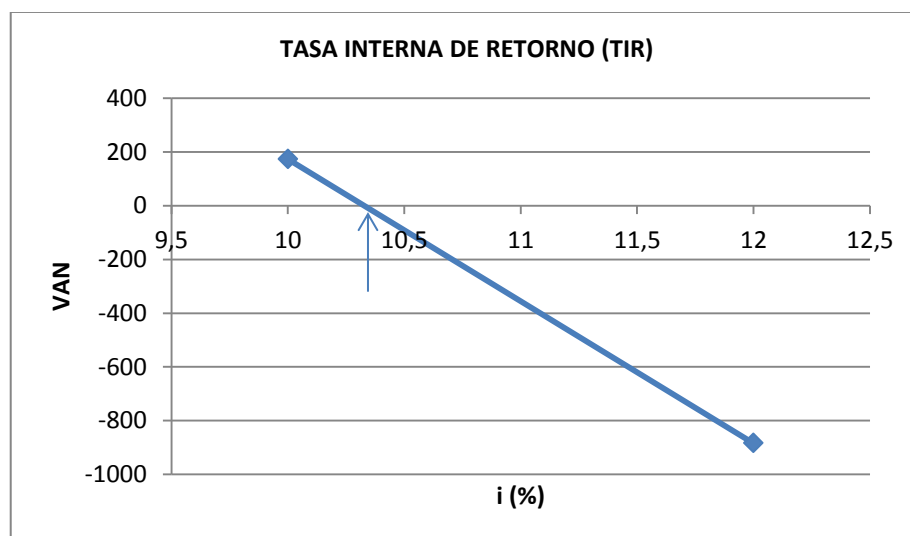
$$VPN = -884,23$$

$$TIR = 10\% + 2\% * \frac{173,48}{173,48 + 884,23} \quad (\%)$$

$$TIR = 10,328\%$$

Este cálculo se lo puede determinar gráficamente tal como se indica en la figura 67. Donde se ubica en el eje de las abscisas la tasa de interés  $i$ , y en las ordenadas el VAN correspondiente. La tasa de interés correspondiente al punto de intersección será el TIR.

Figura 67. Cálculo del TIR



Fuente: Autor

La tasa interna de retorno (TIR) obtenida de la grafica es del 10,32 %. La TIR es la medida más adecuada para determinar la rentabilidad de un proyecto, se determina que un proyecto es económicamente rentable cuando la tasa interna de retorno (TIR) es mayor a la tasa mínima aceptable de retorno (TMAR), siendo esta del 5 % ver (ANEXO P).

Como  $TIR (10,32) > TMAR (5)$ , se concluye que el proyecto es factible por lo tanto puede llevarse a cabo.

## CAPÍTULO XII

### 12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se hace un resumen del trabajo de investigación realizado en esta tesis, se exponen los resultados, las conclusiones y recomendaciones y se proponen trabajos futuros como continuación de la línea de investigación seguida.

#### 12.1 Conclusiones

De acuerdo a lo expuesto anteriormente se puede concluir lo siguiente:

El Ecuador es un País dotado de grandes recursos naturales y particularmente de agua que puede ser aprovechada convenientemente en hidrogenación en base de micro centrales hidroeléctricas (M.C.H.)

La implementación de estos proyectos ofrecen ventajas y beneficios al sector industrial, y al usuario final, ya que mejoran la competitividad y la participación en mercados extranjeros para los industriales, y los usuarios finales obtienen ahorros económicos en el pago de facturas de consumo.

El sistema de turbobombeo es una solución a la necesidad que actualmente tiene la industria de contar con un sistema de hidrobombeo, pudiendo realizar sus actividades productivas con seguridad, en los lugares que se disponga de agua de forma permanente.

La alternativa seleccionada para el sistema de hidrobombeo consiste en instalar una turbina Michell Banki acoplada a una bomba de desplazamiento positivo que bombea un caudal de 0,4 l/s.

Desde el punto de vista técnico habría que simplificar al máximo máquinas e instalaciones como una forma de hacer más accesible esta tecnología.

Con la instalación de este sistema la Industria lechera Floralp S.A ahorrara 135,48 USD mensuales, por el no pago de energía utilizada para el funcionamiento de la bomba.

Adicionalmente a los costos evitados del proyecto por la compra de energía eléctrica, al remplazarse la generación eléctrica por la hidráulica, se añaden los beneficios generados por la reducción de emisiones de 2,3 tm/año de CO<sub>2</sub>. [13]

Con la participación de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en el diseño del proyecto la empresa se ahorraría por concepto de ingeniería y dirección de obra la cantidad de 733 USD que corresponde al 7% de los costos de inversión en la instalación del sistema.

La Operación y Mantenimiento del sistema será de absoluta responsabilidad de los beneficiarios, que deben seguir los procedimientos y actividades de mantenimiento.

Además concluir que, por mantenimiento, la central debe paralizarse preferiblemente solo en meses de estiaje.

### **12.1. Recomendaciones**

Tratando de lograr una mayor productividad en consideración se podría recomendar lo siguiente:

Asegurarse que la Tubería de presión de PVC se encuentre completamente enterrada cuando esta se instale, para evitar el deterioro por los rayos ultravioleta.

Hacer un chequeo a la captación y canal con regularidad que permita establecer si hay obstrucciones debido a caída de rocas, o si existe la presencia de vegetación, cuidando de removerlas.

Las medidas y acciones de mantenimiento en equipos y obras civiles que forman parte del sistema están orientadas a garantizar el buen estado de las mismas. Se recomienda seguir los procedimientos y actividades de mantenimiento a fin de prevenir daños en equipos, para así evitar costos de reparación posteriores y paralizaciones imprevistas.

Organizar un plan de capacitación para los trabajadores en el manejo, operación y mantenimiento del sistema, para que puedan mantener en buen estado las instalaciones.

Se recomienda que la organización y planificación al momento de la ejecución del proyecto sigan cada uno de los lineamientos descritos en su diseño, con el fin de garantizar su correcto funcionamiento.

Finalmente, se espera que las experiencias adquiridas en el desarrollo de este proyecto se aprovechen en otros proyectos hidráulicos en distintas regiones del país.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] COSTA, César. Estudio de Prefactibilidad del Aprovechamiento Múltiple del río Huarhuallá, provincia de Chimborazo. Quito: EPN, 2009 (tesis). Pág. 43-45
- [18] BLANK, Leland. Ingeniería Económica. 4<sup>ta</sup>.ed. Colombia: McGraw-Hill, 2000. Pág. 702-703
- [2] CRANE. Flujo de Fluidos en Válvulas, accesorios y tuberías. México: McGraw-Hill, 1988. Pág 3-10
- [17] GPC: Gobierno de la Provincia del Carchi. Ecuador: División de Cultura y Planificación, 2012. Pág. 23-25
- [10] ITDG. Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas. Una guía para desarrollo de proyectos. Perú-Lima, 1995. Pág. 36-50
- [11] ITDG. Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas. Una guía para desarrollo de proyectos. Perú-Lima, 1995. Pág. 71-73
- [12] ITDG. Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas. Una guía para desarrollo de proyectos. Perú-Lima, 1995. Pág. 239-256
- [3] JOSEPH, Shigley. Mechanical Engineering Design. 8<sup>va</sup>.ed. Estados Unidos: McGraw-Hill, 2008. Pág. 882-884.
- [4] MELGUIZO, Samuel. Fundamentos de Hidráulica e Instalaciones de Abasto en las Edificaciones. Centro de Publicaciones Universidad Nacional Medellín 1994. Pág. 318-326
- [5] OLADE. Apuntes para un manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos centrales hidroeléctricos. Pág. 11-23
- [6] OLEOSTATIC. Pirelli, Correas Trapeciales Convencionales (doc). Pág. 22-26
- [7] ORTIZ, Ramiro. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Bogotá: McGraw-Hill, 2001

- [8] QUINTERO, Karen. Metodologías de Diseño de Obras Hidráulicas en Estudios de Pre Factibilidad de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2009 (tesis)
- [9] RIOFRIO, José. Apuntes del profesor. Riobamba: ESPOCH, 1998 (doc)
- [13] SANTILLAN, Rodolfo. Energías Renovables. Riobamba: ESPOCH, 2009 (doc)
- [14] TARQUIN, Anthony. Ingeniería Económica. 6<sup>ta</sup>.ed. México: McGraw-Hill, 2006. Pág. 226-311
- [15] TELLO, Fernando & VASCONEZ, Daniela. Estudio de Factibilidad Técnico-Económica del Sistema de Turbobombeo Para la Comunidad Cananvalle. Riobamba: ESPOCH, 2011 (tesis). Pág. 22-26
- [16] ULRICH, T. Diseño y Desarrollo de Productos. 3<sup>era</sup>.ed. México: McGraw-Hill, 2004. Pág. 33-38



## BIBLIOGRAFÍA

- BALAIRÓN, L. Instalación de tubería. Salamanca: Ávila, 2002
- BLANK, Leland. Ingeniería Económica. 4<sup>ta</sup>.ed. Colombia-Bogota: McGraw-Hill, 2000
- COSTA, César. Estudio de Prefactibilidad del Aprovechamiento Múltiple del río Huarhuallá, provincia de Chimborazo. Quito: EPN, 2009 (tesis)
- CRANE. Flujo de Fluidos en Válvulas, accesorios y tuberías. México: McGraw-Hill, 1988
- ITDG. Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas. Una guía para desarrollo de proyectos. Perú-Lima, 1995
- JARA, Jorge. Hidráulica de Tuberías. México: McGraw-Hill, 1990
- JOSEPH, Shigley. Mechanical Engineering Design. 8<sup>va</sup>.ed. Estados Unidos: McGraw-Hill, 2008
- OLADE. Organización Latinoamericana de Energía. Quito, 2007 (doc)
- OLEOSTATIC. Correas Trapeciales Convencionales (doc)
- ORTIZ, Ramiro. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Colombia-Bogotá: McGraw-Hill, 2001
- QUINTERO, Karen. Metodologías de Diseño de Obras Hidráulicas en Estudios de Prefactibilidad de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Colombia-Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2009 (tesis)
- RIOFRIO, José. Apuntes del profesor. Riobamba: ESPOCH, 1998 (doc)
- SANTILLAN, Rodolfo. Energías Renovables. Riobamba: ESPOCH, 2009 (doc)
- SERFILCO, Ltd. Catálogo de Bombas Reciprocantes. Estados Unidos: GouldsPumpsInc, 1995
- TARQUIN, Anthony. Ingeniería Económica. 6<sup>ta</sup>.ed. México: McGraw-Hill, 2006

TELLO, Fernando & VASCONEZ, Daniela. Estudio de Factibilidad Técnico-Económica del Sistema de Turbobombeo Para la Comunidad Cananvalle. Riobamba: ESPOCH, 2011 (tesis)

ULRICH, T. Diseño y Desarrollo de Productos. 3<sup>era</sup>.ed. México: McGraw-Hill, 2004

## **LINKOGRAFÍA**

### **CARTA GEOGRÁFICA DE LA ZONA DEL PROYECTO**

<http://www.zonu.com/America-del-Sur/Ecuador/Carchi/Carreteras.html>

2012-03-25

### **SELECCIÓN DE TUBERÍA**

Acero.

[http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca\\_codigo=3801](http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca_codigo=3801)

2012-03-28

PVC.

[http://www.plastigama.com.ec/pdfs/infraestructura/hoja%20volante\\_uz.pdf](http://www.plastigama.com.ec/pdfs/infraestructura/hoja%20volante_uz.pdf)

2012-03-28

### **DOTACIÓN DE AGUA PARA USOS INDUSTRIALES**

<http://www.hidritec.com/hidritec/tratamientos-de-agua-para-consumo-humano>

2012-03-29

### **SELECCIÓN DE LA TURBINA**

<http://www.turbinas3hc.com/turbinas.html>

2012-06-19

### **CARGOS INSTRUCTIVO DE SERVICIO EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL NORTE S.A.**

[http://www.conelec.gob.ec/pliegos\\_y\\_cargos\\_tarifarios](http://www.conelec.gob.ec/pliegos_y_cargos_tarifarios)

2012-04-17

### **TASAS DE INTERÉS VIGENTES DEL BANCO CENTRAL DEL ECUADOR PARA EL AÑO 2012**

[http://www.bce.fin.ec/tasas\\_de\\_interes\\_activas\\_efectivas\\_vigentes](http://www.bce.fin.ec/tasas_de_interes_activas_efectivas_vigentes)

2012-04-10