

## **I. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS**

### **1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL DEPARTAMENTO DE TARIJA**

#### **1.1.1 SUPERFICIE Y CARACTERÍSTICAS TERRITORIALES**

El Departamento de Tarija, se encuentra ubicada al Sur de Bolivia, se sitúa en la parte central de Sud América, entre los paralelos 21° 32' y 22° 55' de latitud sur y los meridianos 62° 15' y 65° 28' de longitud Oeste de la línea de Greenwich. Limita al Sud con la república Argentina y al Este con la república del Paraguay, al Oeste con los departamentos de Chuquisaca y Potosí, y al Norte con el Departamento de Chuquisaca.

El Departamento de Tarija tiene una superficie de 37.623 km<sup>2</sup>, cubriendo el 3,42% del territorio nacional, y con características geográficas variadas, con todo tipo de relieves que van desde los 4.000 m.s.n.m. en la zona alta como es el municipio de Yunchará hasta los 280 m.s.n.m. en el distrito 5 del municipio de Yacuiba, lo que determina la variabilidad de su clima, frío y seco en la zona alta, templado húmedo en los valles sub-andinos, y cálido seco y cálido húmedo en la llanura del chaco.

Hidrográficamente, el departamento parte de la cuenca de la plata por el curso de los ríos Pilcomayo y Bermejo, y cuenta con una cuenca cerrada, las lagunas de Tajzara está ubicada en la zona alta.

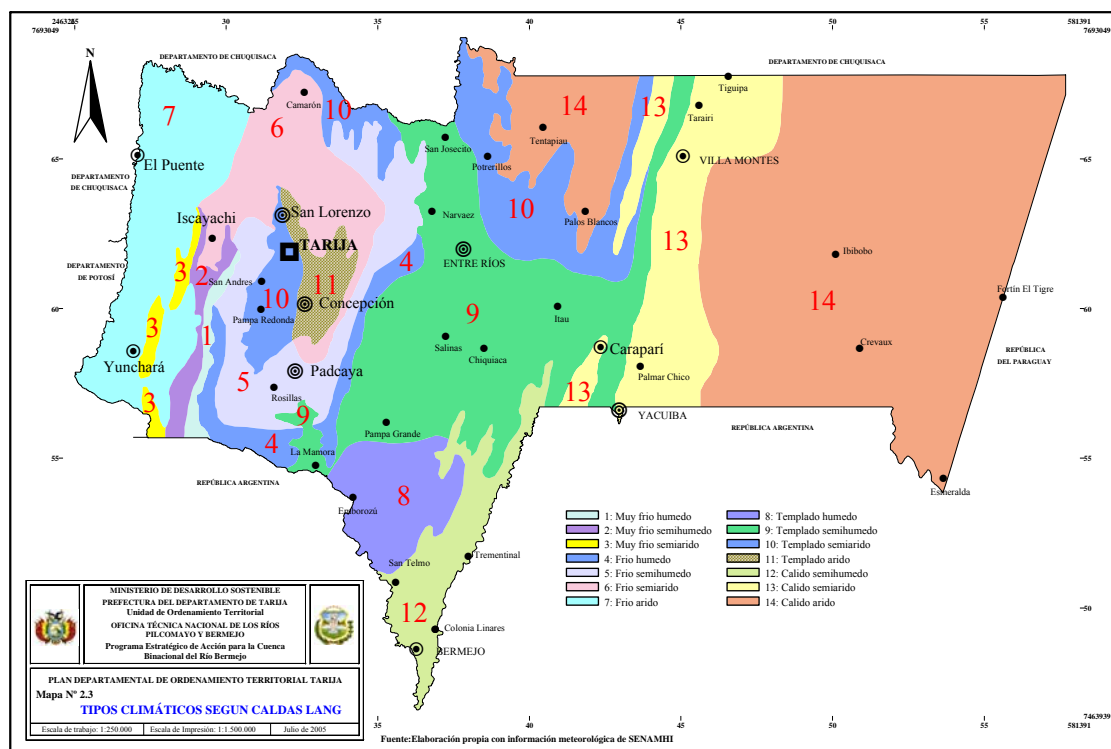
#### **1.1.2 ASPECTOS GEOGRÁFICOS Y CLIMATOLÓGICOS**

El departamento presenta paisajes claramente definidos y diferentes, en su constitución geológica, tectónica y en su aspecto morfológico, así como por su flora, fauna, sus características climáticas y variedad de suelos.

Por sus características fisiográficas se divide en cuatro grandes unidades: El altiplano que forma parte de la Cordillera Occidental o Volcánica, Los Valles Interandinos, El Valle Central y la región del Chaco.

En el Departamento de Tarija existe una variedad de climas que van desde los 4° centígrados en invierno hasta los 45 °C en la llanura chaqueña en época de verano. La existencia de variaciones en la altitud del territorio, y la presencia de frentes fríos y calientes que provienen del sur, generan la existencia de variados climas, no obstante que el departamento está dentro del área de influencia del Trópico de Capricornio; en este sentido, las variaciones climáticas son muy marcadas en las diversas regiones.

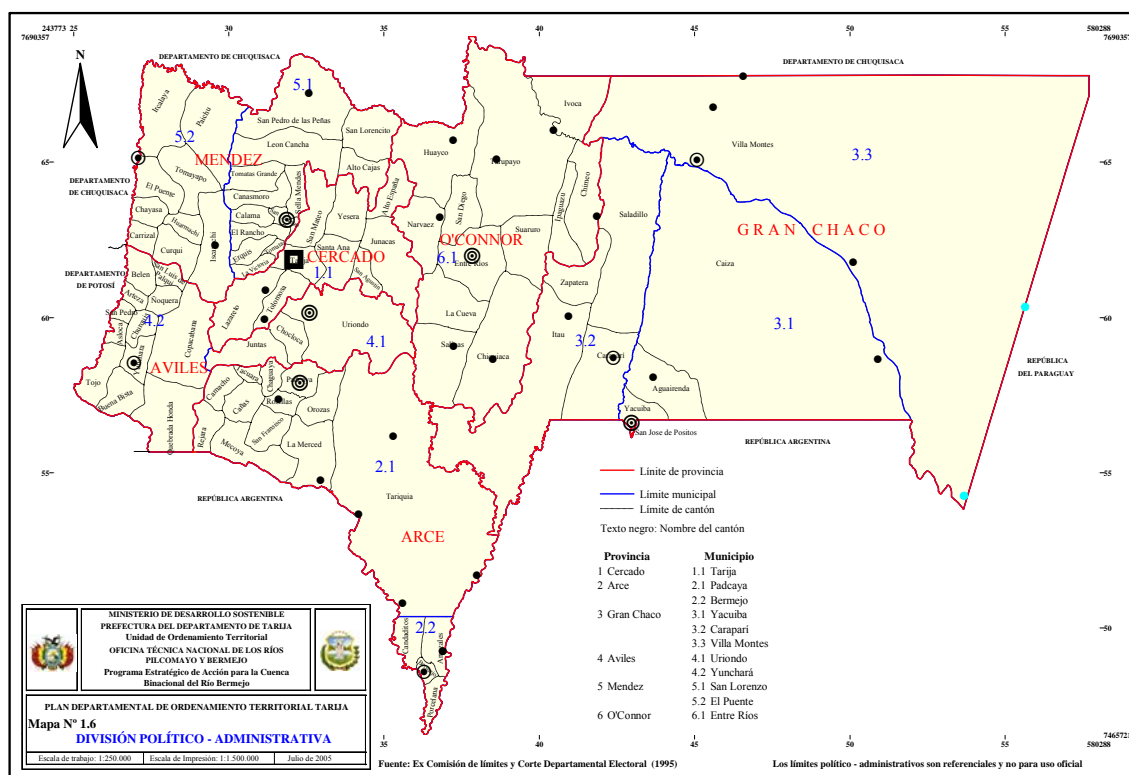
**Figura N° 1**  
**Mapa Climático del Departamento de Tarija**



Las precipitaciones pluviales en Tarija, varían de acuerdo a sus zonas, desde 50 mm anuales en la parte Suroeste o Chaco Seco, hasta 300 mm en la zona situada en la vertiente norte de la Cordillera Real o Valles Interandinos.

Las lluvias se presentan en su máxima intensidad en el verano, alcanzando al 85% de las previstas anualmente y el 15% se da en el resto del año, siendo la mínima en invierno.

**Figura N° 2**  
**Mapa División Política - Administrativa**



**Cuadro N° 1**  
**Tarija: Provincias, Capital de Provincia, Secciones Municipales y Capital de Sección Municipal.**

| Provincias | Capitales de Provincias | Sección Municipal | Capital de Sección |
|------------|-------------------------|-------------------|--------------------|
| Cercado    | Tarija                  | Única             | Tarija             |
| Arce       | Padcaya                 | 1° Sección        | Padcaya            |
|            |                         | 2° Sección        | Bermejo            |
| Gran Chaco | Yacuiba                 | 1° Sección        | Yacuiba            |
|            |                         | 2° Sección        | Caraparí           |
|            |                         | 3° Sección        | Villamontes        |
| Méndez     | San Lorenzo             | 1° Sección        | San Lorenzo        |
|            |                         | 2° Sección        | El Puente          |
| Aviles     | Concepción              | 1° Sección        | Concepción         |
|            |                         | 2° Sección        | Yunchará           |
| O'Connor   | Entre Ríos              | Única             | Entre Ríos         |

Elaboración: Propia

### 1.1.3 POBLACIÓN DEL DEPARTAMENTO

En el Cuadro presentado a continuación se aprecia los principales indicadores demográficos del departamento con respecto global nacional. Según la proyección realizada para el año 2009, el departamento de Tarija tiene *484.249 habitantes*, población que representa el 4,93% del total de nacional. La densidad poblacional proyectada para el año 2009 es de 12 habitantes por km<sup>2</sup>, mayor al promedio nacional que es de 9 habitantes por km<sup>2</sup>.

Respecto a la distribución por sexos, se puede decir que en el departamento de Tarija para el año 2009 tendría 243.480 hombres y 240.769 mujeres. La edad media de la población en el departamento alcanza a 21 años. En el mismo cuadro se aprecia tanto para los hombres como para las mujeres.

El índice de masculinidad para el año 2009 es de 102 en el departamento y 99 en el global del país.

Respecto al índice de masculinidad, este índice expresa la cantidad de hombres con relación a la cantidad de mujeres. La relación de dependencia demográfica, indicador teórico que, definidos rangos de edad convencionales, expresa la relación entre la población joven y la edad avanzada con respecto a la población mayor adulta. Es el cociente de la población menor de 15 años y la población mayor a 64 años sobre la población de 15 a 64 años.

**Cuadro N° 2**  
**Tarija: Indicadores Demográficos**

| Descripción   | Año         | Tarija  | Bolivia   |
|---|-------------|---------|-----------|
| Superficie (km2)                                    | 2007        | 37.623  | 1.098.581 |
| Población total                                     | 2007        | 484.249 | 9.827.522 |
| Densidad de habitantes (Habitantes por km2)         | 2007        | 12,87   | 8,95      |
| Porcentaje de población masculina                   | 2007        | 50,28   | 49,86     |
| Porcentaje de población femenina                    | 2007        | 49,72   | 50,14     |
| Tasa media anual de crecimiento (Porcentaje)        | 2005 - 2010 | 2,59    | 2,01      |
| Edad media de la fecundidad (Años)                  | 2005 - 2010 | 28,42   | 28,57     |
| Tasa de mortalidad infantil (Por mil nacidos vivos) | 2005 - 2010 | 37,20   | 45,60     |
| Esperanza de vida al nacer (Años)                   | 2005 - 2010 | 68,27   | 65,51     |

Fuente: INE, Estadísticas del Dpto. de Tarija, 2007

Elaboración: Propia

Para el departamento de Tarija, se estima una Tasa de Mortalidad Infantil de 37,20 muertes de menores de un año de edad por cada mil nacidos vivos, menor a la tasa estimada para el total nacional de 45,60. La Esperanza de Vida al Nacer es 68,27 años, superior a la nacional que alcanza a 65,51 años.

#### **1.1.4 ESTABLECIMIENTOS DE SALUD**

Según datos preliminares del Ministerio de Salud y Previsión Social, el año 2006, el departamento de Tarija contaba con 187 establecimientos de salud, cinco establecimientos más que en el año 2005. El número de establecimientos de Tarija representaba 6,27% del total de establecimientos de salud en el territorio nacional. El

número de camas hospitalarias en el departamento de Tarija era de 824, correspondiente a 5,71% del total nacional.

En el departamento de Tarija, de acuerdo a datos preliminares del año 2006, el número de consultas prenatales nuevas registradas en este periodo fue de 13.532 de las 364.182 registradas en el ámbito nacional; en el departamento de Tarija, 8.652 correspondían a las consultas prenatales realizadas antes del 5to mes de embarazo y 4.880 a consultas realizadas después del 5to mes de embarazo. Por otra parte, destaca en el departamento de Tarija la atención de 6.872 mujeres en la 4ta consulta prenatal.

De un total de 169.940 partos atendidos en el ámbito nacional, 8.034 fueron atendidos en el departamento de Tarija y 420 de estos fueron en domicilio por personal capacitado en salud; 4.739 mujeres asistieron a su primer control post parto. En el año 2006 se registraron en Tarija 352 nacimientos con bajo peso, es decir, peso menor a 2.500 gramos, este número es menor al registrado en el año 2005 (383).

**Cuadro N° 3**  
**Tarija: Estadísticas e Indicadores en Salud**

| ESTADÍSTICAS E INDICADORES                             | TARIJA |         | BOLIVIA |         |
|--|--------|---------|---------|---------|
|  | 2005   | 2006(p) | 2005    | 2006(p) |
| Establecimientos de Salud                              | 182    | 187     | 2.870   | 2.983   |
| Camas Hospitalarias                                    | 845    | 824     | 14.404  | 14.440  |
| Consultas Prenatales Nuevas                            | 13.240 | 13.532  | 355.260 | 364.182 |
| Consultas Prenatales Antes del 5º Mes de Embarazo      | 8.271  | 8.652   | 187.330 | 201.538 |
| Consultas Prenatales Después del 5º Mes de Embarazo    | 4.969  | 4.880   | 167.930 | 162.644 |
| Mujeres con 4ª Consulta Prenatal                       | 6.525  | 6.872   | 140.309 | 146.536 |
| Total Partos Atendidos                                 | 7.736  | 8.034   | 170.689 | 169.940 |
| Partos Domiciliarios Atendidos por Personal de Salud   | 398    | 420     | 14.529  | 14.966  |
| Número de Mujeres con 1er Control Post Parto           | 5.592  | 4.739   | 132.010 | 130.270 |
| Mujeres con Muestra de Citología Cérvico Vaginal (PAP) | 16.927 | 12.350  | 252.075 | 246.073 |
| Número de Nacidos con Bajo Peso al Nacer               | 383    | 352     | 8.209   | 7.973   |

Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA  
MINISTERIO DE SALUD Y PREVISIÓN SOCIAL  
(p): Información preliminar

## 1.2 CARACTERISTICAS GENERALES DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

### 1.2.1 DIVISION POLITICA Y ADMINISTRATIVA

La población de El Puente es la Segunda Sección de la provincia Eustaquio Méndez, del departamento de Tarija; fue creada mediante Decreto Supremo del 25 de Noviembre de 1945.

Está situada al Noreste de Tarija y al Oeste del territorio de la provincia; política y administrativamente se divide en 9 cantones, 6 distritos municipales, 62 comunidades. El detalle se presenta en el cuadro N° 4. La capital del municipio (localidad El Puente) se encuentra a 130 km. de la ciudad de Tarija.

**Cuadro N° 4**  
**División Político – Administrativo del Municipio**

| No. | Distrito         | No. Cantones | No. Comunidades | N° Distrito |
|-----|------------------|--------------|-----------------|-------------|
| 1   | De El Puente     | 2            | 6               | 1           |
| 2   | San Juan del Oro | 2            | 10              | 2           |
| 3   | Paicho           | 1            | 12              | 3           |
| 4   | Tomayapo         | 1            | 9               | 4           |
| 5   | Curqui           | 2            | 6               | 5           |
| 6   | Iscaiyachi       | 1            | 19              | 6           |
|     | Total            | 9            | 62              | 6           |

Fuente: Elaboración propia en base a la ordenanza municipal No. 003/97.

La comunidad de El Puente se encuentra en el distrito N° 1, el cual se compone por dos cantones, El Puente, Ircalaya. El detalle se presenta en el cuadro N° 5.

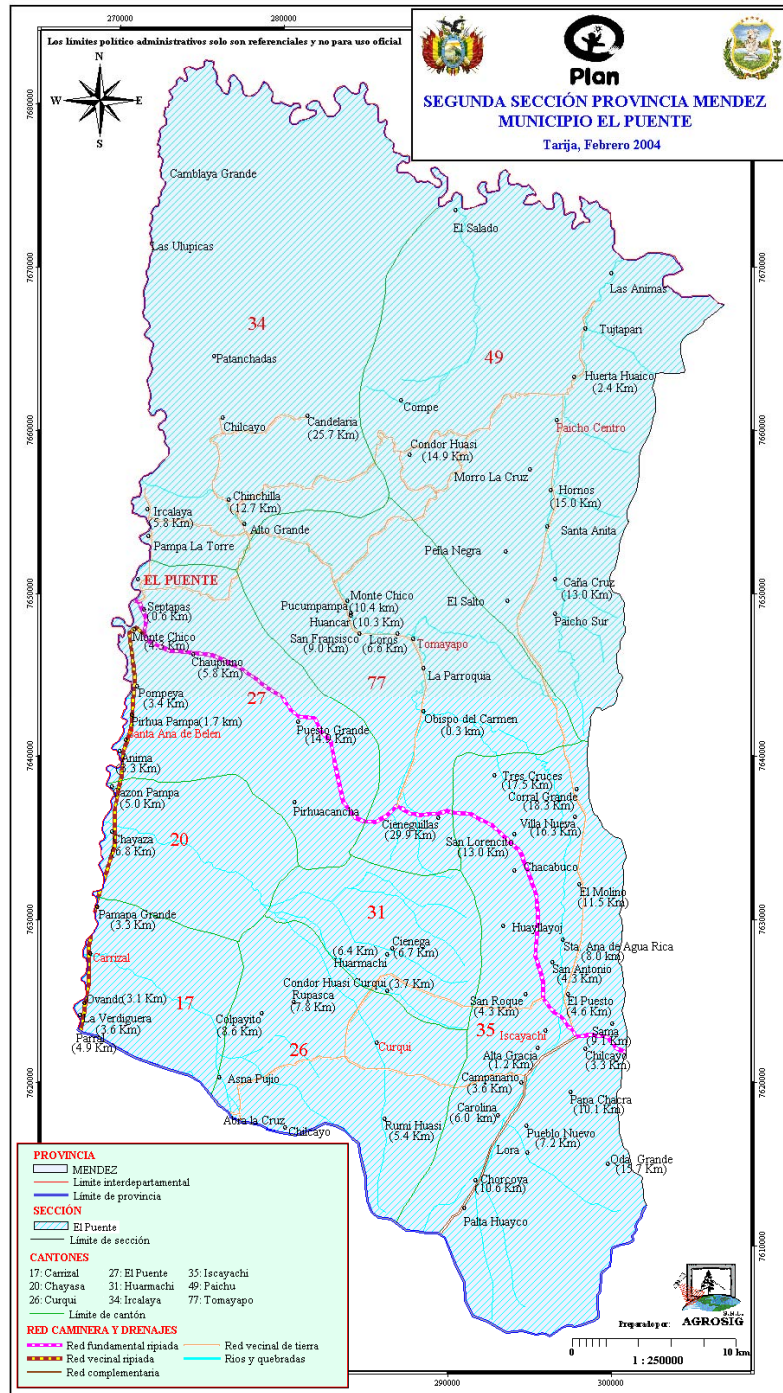
**Cuadro N° 5**  
**Distrito – Cantones**

| DISTRITO 1<br>EL PUENTE | CANTON    | SUP. Km2 | COMUNIDAD   | ALTURA m.s.m |
|-------------------------|-----------|----------|-------------|--------------|
|                         | EL PUENTE | 431.25   | El Puente   | 2310.00      |
|                         |           |          | Monte Chico | 2320.00      |
|                         |           |          | Chinchilla  | 2560.00      |
|                         |           |          | Chaupiuno   | 2655.00      |
|                         |           |          | Septapas    | 2320.00      |
|                         | IRCALAYA  |          | Ircalaya    | 2290.00      |

FUENTE: Cartas IGM 2005. Elaboracion propia en base a ordenanza 003/97-diagnostico 1997

Es la sección municipal donde se encuentra la mayor infraestructura de servicios, área urbana del municipio, eje central de las actividades Administrativas Municipales y el Corregimiento Mayor de la Segunda Sección, y concentra a solamente el 9% la población. La mayor concentración poblacional se encuentra en el distrito 6 del municipio con el 54% respecto al total de la población de la sección municipal. El detalle de la ubicación de los distritos se presenta en la figura N° 3

### Figura N° 3 Mapa Segunda Sección Provincia Méndez Municipio El Puente



A la localidad de El Puente se puede acceder a través de la ruta nacional Tarija – Potosí durante todo el año; la carrera se encuentra pavimentada una parte y el resto es ripiado.

## **1.2.2 CARACTERISTICAS ATMOSFERICAS**

### **1.2.2.1 CLIMA**

La segunda sección de El Puente y su territorio comprende tres zonas ecológicas con climas y humedad distintas; zona andina, cabecera de valle y valles, en esta última se encuentra ubicado el área del proyecto.

Según la clasificación de las unidades climáticas MODELO CALDAS LANG, la segunda sección de la provincia Méndez se caracteriza por tener cinco unidades climáticas, Frío Árido, Frío Semiárido, Muy Frío Semiárido, Muy Frío Semihúmedo, Muy Frío Húmedo, donde le corresponde un clima Frío Árido.

### **1.2.2.2 TEMPERATURA**

La temperatura media anual en la sección municipal de El Puente fluctúa entre 7 °C – 16 °C. En el área del proyecto (la localidad de El Puente) la temperatura promedio anual es de 15 °C, (ver anexo, resumen climatológico).

### **1.2.2.3 PLUVIOMETRIA**

El área de influencia de nuestro estudio, la segunda sección de la provincia Méndez, cuenta con una densidad muy baja de estaciones pluviométricas y termopluviométricas con solamente diez estaciones para 62 comunidades, siendo las diferencias muy marcadas entre las zonas con precipitaciones que varían 200 mm. –

700 mm., teniendo una precipitación media anual de 320 mm., y una altitud de 2.310 msnm.

#### **1.2.2.4 TIPO DE SUELO**

El asentamiento de la población de El Puente, está casi en su totalidad, en una franja de terreno de origen coluvioaluvial predominantemente, constituida por material limoarenoso; conteniendo su parte basal, un conglomerado y areniscas calcáreas conglomeradas de tonalidades morado grisáceas a rosado, violáceas de grano medio a grueso, porosos, duros y con estratificación cruzada con clastos de cuarzo pedernal, areniscas cuarcíticas, calcáreas y olítica gris verdosa; ubicada entre el pie del cerro “Rojo” y el curso del “Río San Juan del Oro”, sector que presenta fallas por la discontinuidad de la serranía que dan lugar a un estrecho valle.

Los cerros Rojos están conformados por sedimentos del terciario, con estratos de rocas areniscas y pizarras formando farallones verticales de hasta 150 m de altura que caracterizan la topografía del lugar.

En el valle se presenta la conformación de tres promontorios conformados de residuos de material aluvial, uno en la parte central y los otros dos de mayor magnitud en la parte sur y norte.

El drenaje superficial tiene dirección Norte-oeste hacia el colector principal que es el cauce del Río San Juan del Oro.

#### **1.2.2.5 RECURSOS HIDRICOS**

Respecto a los recursos hídricos superficiales, la Cuenca del Río Pilaya está conformado por una parte del río San Juan del Oro, con dirección de flujo Norte a Sur, cercanas a la Población de Carreras y El Puente donde está ubicado el proyecto.

### 1.2.3 POBLACIÓN

El Puente tiene una población actual estimada de 526 habitantes de los cuales el 47% son hombres y el 53% mujeres. La población económicamente activa es del 49,49%, entre hombres y mujeres.

La tasa de crecimiento promedio anual de la población (1992 -2001) calculado por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) es de (-0,63%).

**Cuadro N° 6**  
**Población área de influencia del proyecto**

| Comunidad    | Niños       |           | Adolescentes |           | Adultos    |            |             |           | Totales    |            | Total General | N° Flías.  |
|--------------|-------------|-----------|--------------|-----------|------------|------------|-------------|-----------|------------|------------|---------------|------------|
|              | 0 - 13 años |           | 14-17 años   |           | Alfabetos  |            | Analfabetos |           | H          | M          |               |            |
|              | H           | M         | H            | M         | H          | M          | H           | M         |            |            |               |            |
| El Puente    | 79          | 97        | 26           | 24        | 138        | 131        | 5           | 26        | 248        | 278        | 526           | 142        |
| <b>Total</b> | <b>79</b>   | <b>97</b> | <b>26</b>    | <b>24</b> | <b>138</b> | <b>131</b> | <b>5</b>    | <b>26</b> | <b>248</b> | <b>278</b> | <b>526</b>    | <b>142</b> |

Fuente: PDM (2007 - 2011)

Elaboración: Propia

Según este enfoque las poblaciones que sobrepasen los 2000 habitantes serán consideradas como poblaciones urbanas. Las poblaciones menores a 2000 habitantes serán consideradas como poblaciones rurales.

La tasa de crecimiento para la proyección de la población de proyecto, se asumirá a una tasa mayor a lo establecido por el INE debido a que el estimado para el 2001 es negativo; por lo tanto se asumirá un crecimiento poblacional del 1 %

### 1.2.4 BASE CULTURAL DE LA POBLACIÓN

La población de El Puente muestra la presencia de una población multiétnica, situación que no ha permitido la perdurabilidad y/o la consolidación de ningún grupo indígena único, dando lugar al desplazamiento de lo autóctono y permitiendo la implantación de la cultura española; así, en la actualidad, la gran mayoría de los habitantes hablan el castellano y un porcentaje mínimo otros idiomas.

En El Puente la mayoría de la población profesa la religión católica (85%), el resto profesa otra religión o es considerado “*evangélicos*”.

Las principales fechas festivas, costumbres y ritualidades son: Carnaval, Navidad (adoración al Niño Jesús), Todos Santos, Pascua Florida, Fiesta de la Cruz y otras.

### 1.2.5 EDUCACIÓN

La educación formal dependiente del Distrito de Educación de El Puente atiende una población de 333 alumnos(as) matriculados en el año 2007. Se imparte en el nivel urbano y en dos Unidades Educativas, una sólo el nivel inicial y primario y la otra sólo el nivel secundario.

La evolución del número de matriculados en los últimos tres años se presenta a continuación.

**Cuadro N° 7**  
**Evolución de Matriculados en Educación Formal**

| <i>Años</i> | <i>Matriculados</i> |                 |                   |
|-------------|---------------------|-----------------|-------------------|
|             | <i>Inicial</i>      | <i>Primaria</i> | <i>Secundaria</i> |
| 2005        | 21                  | 199             | 122               |
| 2006        | 18                  | 198             | 119               |
| 2007        | 25                  | 191             | 117               |

Fuente: SEDUCA, 2007

Elaboración: Propia

En relación a la cobertura de servicios básicos, estos establecimientos educativos cuentan con agua potable, servicio de alcantarillado y de energía eléctrica.

### 1.2.6 IDIOMA

En El Puente, el 95% de la población es monolingüe (castellano), el 5% es bilingüe (habla el castellano/quechua u otros). El idioma predominante es el castellano, es

decir, en su totalidad la población de El Puente utiliza este idioma como el principal medio de comunicación.

### 1.2.7 SALUD

Respecto a la existencia de establecimientos de Salud en el área de influencia, en El Puente existe un Establecimiento de Salud categorizado como Centro de Salud por las características que se presenta en el cuadro siguiente.

El área de influencia de este Centro de Salud, son las comunidades aledañas a El Puente y también derivan de otros Puestos de Salud, ya que en este centro de Salud existe un médico y un odontólogo.

**Cuadro N° 8**  
**Establecimiento de Salud**

| LOCALIDAD | TIPO            | INFRAESTRUCTURA |         | PERSONAL |      |           | DISTANCIA (Km)  |
|-----------|-----------------|-----------------|---------|----------|------|-----------|-----------------|
|           | ESTABLECIMIENTO | N° AMBIENTES    | N° CAMA | MEDICOS  | ENF. | AUX. ENF. | DESDE ISCAYACHI |
| EL PUENTE | Centro de salud | 6               | 6       | 2        | 2    | 2         | 56              |

*Fuente: Gerencia de Red*

*Elaboración: Propia*

### 1.2.8 VIVIENDA Y SERVICIOS BÁSICOS

Respecto al acceso a la vivienda, el 85% de los pobladores de El Puente cuentan con vivienda propia, en cambio el 5% viven en alquiler y el 7% en viviendas cedidas o en calidad de cuidadores y en contrato anticrético el 3%.

En El Puente existen alrededor de 142 hogares de los cuales el 75% tiene viviendas de adobe, y el 25% son construcciones de ladrillo. En los últimos años el ladrillo se ha incrementado como material principal en la construcción de las paredes de las viviendas del área de influencia del proyecto.

Respecto a la cobertura de servicios básicos del área de influencia del proyecto, se presenta el cuadro que sigue.

**Cuadro N° 9**  
**Cobertura de Servicios Básicos**

| Comunidad | AGUA POTABLE  |               | LETRINAS      |                        | ENERGIA ELECTRICA   |               |
|-----------|---------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|---------------|
|           | Cobertura (%) | Estado Actual | Cobertura (%) | Eliminación de sólidos | Fuente              | Cobertura (%) |
| El Puente | 80            | malo          | 85            | Alcantarillado         | Generador El Puente | 95            |

Fuente: PDM (2007 - 2011)

Elaboración: Propia

Además, cabe aclarar que la cobertura de los servicios básicos en el área de influencia del proyecto, es de aproximadamente 80% de los servicios de agua por cañería y el servicio de energía eléctrica (95%); y una cobertura del 85% de sistema de alcantarillado sanitario. Según definición por Mapa de Pobreza de Bolivia, existen tres estratos sociales, es decir, pobres indigentes, pobres moderados y con necesidades básicas satisfechas; que están asociados a la condición de pobreza o no pobreza según el documento. Por pobres indigentes se entiende a las familias que no cuenta con ningún servicio básico (agua, energía eléctrica y alcantarillado). Los pobres moderados, serían las familias que cuentan con 1 ó 2 servicios básicos. Entonces, el área de influencia estaría clasificada dentro de este último rango de clasificación; pues los servicios son muy deficientes y por tanto no satisfacen a los usuarios de los mismos. Con la implementación del proyecto esto es lo que se pretende solucionar.

### **1.2.9 ACCESO Y MEDIOS DE COMUNICACIÓN**

Al área del proyecto se puede acceder por la carretera de categoría nacional Tarija – Potosí, camino transitable durante todo el año. Existe servicio de transporte público diario desde la ciudad de Tarija a El Puente y también existe servicio de taxis expresos.

En relación a los servicios de comunicación (teléfono, radio) en El Puente existe el servicio de Telefonía Rural y también servicio de internet.

Respecto al costo de pasaje en transporte público es el siguiente: en flota y/o micro desde la ciudad de Tarija es de Bs. 20 y en taxi puede variar desde Bs. 100 hasta 200 Bs el servicio de expreso.

### **1.2.10 ACTIVIDAD ECONÓMICA Y PRODUCTIVA**

En el área de influencia del proyecto la gran mayoría de la población se dedica a la actividad agrícola y pecuaria. Los principales productos de la zona son:

#### **→ Cebolla**

Con las principales variedades de: Manzana rosada y colorada; respecto a los rendimientos qq/ha, en el área de influencia varía desde los 600 qq/ha hasta 800 qq/ha por cosecha.

Las principales plagas son el gusano y Trps sp. y la enfermedad que afecta a la producción de cebolla es la ceniza (*Alternaria purri*).

La producción es destinada a su comercialización principalmente y en mínimas cantidades al consumo familiar.

#### **→ Zanahoria**

La principal variedad cultivada es la punta bola, con un rendimiento aproximado de 400 qq. por hectárea.

Las principales plagas que afectan a la producción son la: polilla (*Symmetrischema Tangolias*) y la liebre (*Lepus granatensis*); la enfermedad, la mancha negra (*Cercospora carotae*).

La producción es destinada a su comercialización principalmente y en mínimas cantidades al autoconsumo.

→ **Papa**

Se cultiva la colorada y runa, con una producción aproximada de 180 qq por hectárea. Las principales plagas son: la polilla (*Epitrix ssp*) y el gusano (*Rigopsidius tucumanos*); las enfermedades son: seca-seca (*Pseudomonas solanacearum*) y pasmo (*Phitophtora Infestans*).

El destino de la producción es principalmente para el consumo familiar y en proporciones mínimas es destinado para la semilla.

Los principales mercados para la comercialización de la producción agrícola como ser la zanahoria y cebolla son los mercados de la ciudad de La Paz y Santa Cruz; sin embargo, cabe aclarar que la mayor cantidad de productos se comercializa en la misma finca, puesto que los intermediarios (rescatistas) vienen hasta esta localidad a adquirir la producción en los meses de noviembre a marzo y por tanto los precios de los productos en su mayoría son fijados por éstos.

Por otra parte, también se comercializan productos en el mercado de la ciudad de Tarija como el tomate, zanahoria y otros en menor proporción.

Aproximadamente el 75% de la superficie cultivada está bajo riego.

Respecto a la producción ganadera en el área de influencia, es el ganado vacuno utilizado en su mayoría para el trabajo agrícola.

Los principales subproductos que se obtienen de la ganadería son el cuero y lana de los ovinos, el cuero de la cabra y vacuno; los mismos se transforman en lazos, phullos, marca, caronas, costales y otros que son utilizados por las mismas familias.

Los caprinos, que son principalmente para el consumo familiar así como los ovinos.

Las formas de trabajo, se relacionan principalmente con la utilización de herramientas manuales y el arado de yunta; en la zona muy poco se utiliza alguna maquinaria agrícola como los tractores y otros; esto explica la poca extensión de la frontera agrícola de la zona.

Los principales productos que se elaboran en el municipio son: singanis y vinos “pateros”; tejidos y bordados; elaboración de conservas caseras, producción de miel de abeja. También existe microempresas de servicio de hoteles, talleres mecánicos y tiendas de abarrotes. En el municipio se encuentran importantes yacimientos de minerales metálicos y no metálicos; los de mayor importancia por su explotación son: piedra caliza, plomo y oro. Existe la fábrica de cemento *El Puente (FACEP)*, del grupo *SOBOCE*.

## **II. DESCRIPCION DEL PROYECTO**

### **2.1 INTRODUCCIÓN**

Una aspiración del progreso y bienestar a nivel de las comunidades del país, es sin duda, contar con redes de alcantarillado y agua potable, porque permiten mejorar la salud al reducir el índice de morbilidad y mortalidad infantil causado por sustancias contaminantes. Por ello la importancia de la elaboración de diseños de sistemas de alcantarillado sanitario.

El recojo y el transporte del agua residual desde los diversos puntos en que se origina constituye el primer paso de la gestión efectiva del saneamiento de una población. Los conductos que transportan y recogen el agua residual se denominan alcantarillas y el conjunto de las mismas constituyen la Red de Alcantarillado.

Por lo que, en el presente trabajo, se pretende presentar los aspectos sociales y las actividades económicas de la zona; con los resultados estimados de los datos socioeconómicos se procederá a realizar la evaluación del proyecto.

La ejecución del proyecto dependerá de la factibilidad del mismo, con lo que se solucionaría el problema de la zona, que es la falta de una adecuada cobertura del sistema de alcantarillado Sanitario en la localidad de El Puente.

En el presente trabajo, primeramente, se presenta los aspectos socioeconómicos del área de influencia del proyecto donde se tiene las características generales, de la población, para luego hacer un análisis detallado de la ventajas de implementarse el proyecto y los beneficios que reportará para la población de El Puente.

## 2.2 NOMBRE DEL PROYECTO

El proyecto se viene a denominar, de acuerdo a la disposición que se le quiere implementar, **Diseño del Sistema de Alcantarillado Sanitario “El Puente”**. La comunidad cuenta con una red de alcantarillado sanitario, pero con grandes deficiencias en sus componentes, y la cobertura del sistema actual favorece a pocas viviendas. Por esta razón se tiene la necesidad de implementar un nuevo sistema que tenga una cobertura del 100%, prestando un servicio eficiente para el beneficio de los pobladores.

## 2.3 TIPO DE PROYECTO

- Diseño del Sistema de Alcantarillado Sanitario “El Puente”.
- Saneamiento Básico.

## 2.4 LOCALIZACION DEL PROYECTO

El área del proyecto se encuentra ubicado en la localidad de *El Puente*, 2<sup>da</sup> sección de la provincia Méndez del Departamento de Tarija, jurisdicción del Municipio de El Puente a una distancia de 130 kms., desde la ciudad de Tarija.

Se clasifica como una localidad rural el área de influencia del proyecto.

### 2.4.1 MAPAS DE UBICACIÓN

De acuerdo a la geografía del país tenemos la ubicación del departamento de Tarija como también la localización de la segunda sección de la Provincia Méndez en la figura N° 4; también tenemos la ubicación del municipio de El Puente en el mapa de la segunda sección de la Provincia Méndez el cual se observar en la figura N° 5.

Figura N° 4

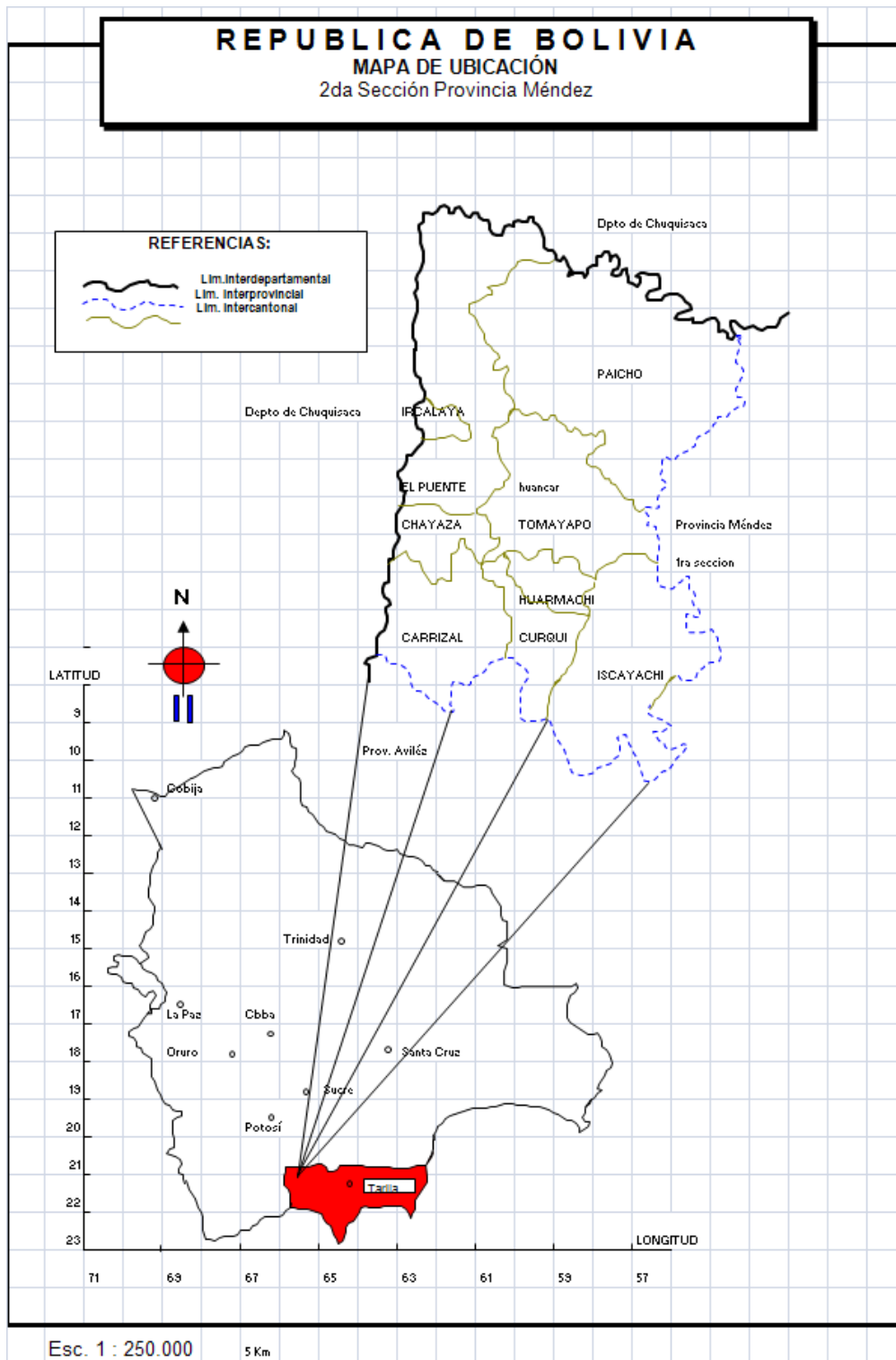
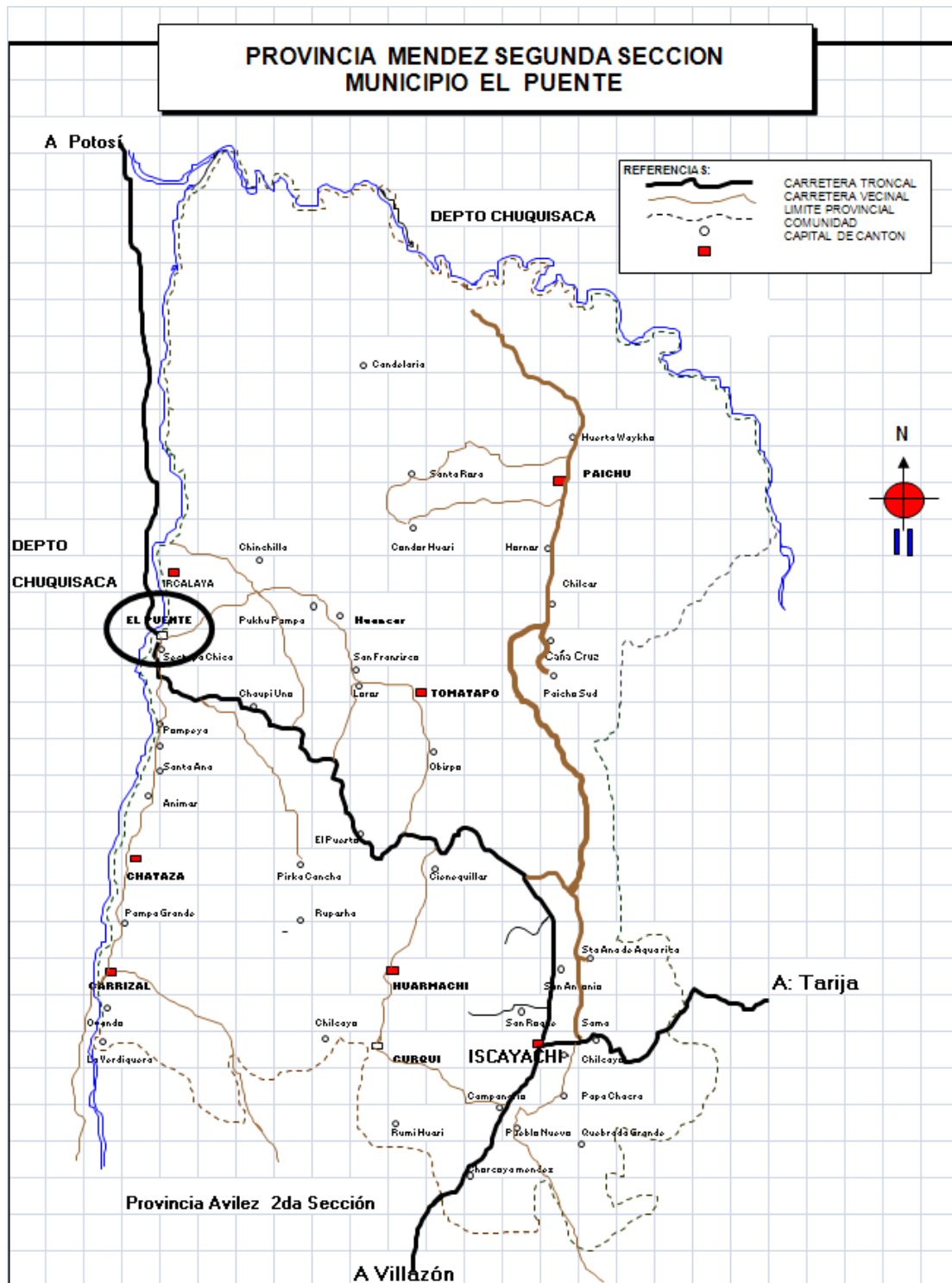


Figura N° 5

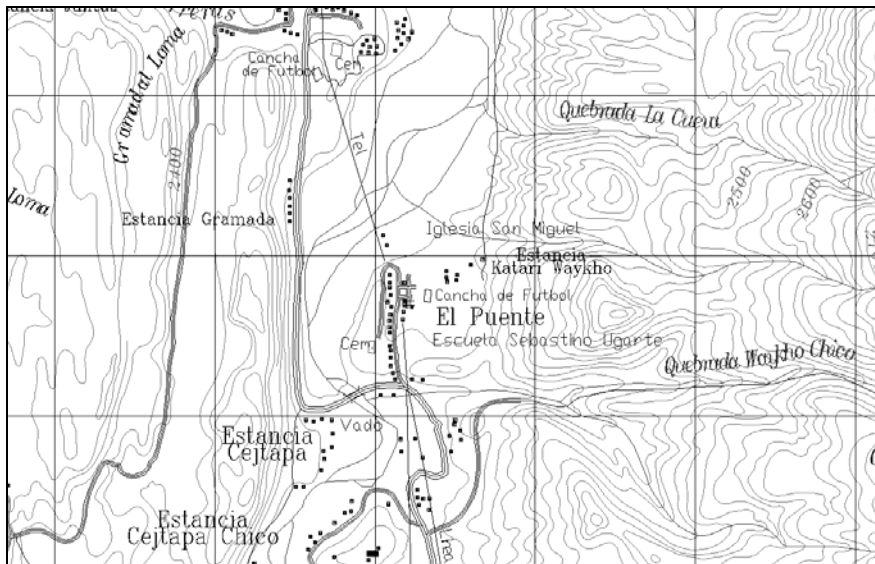


## 2.4.2 UBICACIÓN GEOGRAFICA

### 2.4.2.1 LATITUD Y LONGITUD

El municipio de “El Puente”, segunda sección de la provincia Méndez está ubicado en la parte Oeste de la provincia, entre los meridianos  $34^{\circ} 32' 14''$  de latitud Sur y el paralelo  $59^{\circ} 04' 39''$  de longitud Oeste. La Segunda Sección Municipal de la Provincia Méndez del Departamento de Tarija, se encuentra a una altitud de 2.310 m.s.n.m., como también podemos observar las coordenadas UTM de ubicación en la siguiente figura N°6.

**Figura N° 6**  
**Ubicación Geográfica**



COORDENADAS UTM DE UBICACIÓN

X=271176.59 Y=76473774.26

#### **2.4.2.2 LIMITES**

El Municipio de El Puente presenta los siguientes límites: al Norte y Oeste limita con la provincia Sud Cinti del departamento de Chuquisaca con el cual los límites naturales son por el Oeste el río San Juan del Oro y por el Norte el Río Pilaya, al Sud limita con las Provincias Avilés y Cercado; al Este limita con la Primera Sección de la provincia Méndez, cuya capital es San Lorenzo.

La localidad de El Puente colinda, al norte con Ircalaya, al sur con Septapas, al este con Monte Grande y al oeste con la comunidad de Las Carreras que pertenece al Departamento de Chuquisaca.

El clima predominante de la localidad es templado.

#### **2.4.2.3 EXTENSION**

La Sección Municipal tiene una superficie aproximada de 2106,25 Km<sup>2</sup>, que representa el 5,60% de la superficie Departamental de Tarija; a su vez, representa el 0,19% de la superficie Nacional.

### **2.5 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

#### **2.5.1 OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO**

El objetivo es mejorar las condiciones de vida de los habitantes de la población de El Puente, mediante la implementación de un sistema de alcantarillado sanitario eficiente, de manera que se puedan resolver los graves problemas ocasionados por las aguas residuales, reduciendo las morbilidad y mortalidad de origen hídrico (diarreas agudas y endémicas) de la población, y de esta manera mejorar la calidad de vida de la comunidad.

### **2.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Implementar un nuevo sistema de alcantarillado sanitario adecuado a las actuales necesidades de la población.
- Disminuir la tasa de morbilidad y mortalidad infantil por enfermedades infecciosas esencialmente.
- Elevar el nivel de educación sanitaria e higiene de la población.
- Eliminar la construcción de pozos sépticos y ciegos que si no son desechados adecuadamente se convierten focos de infección.
- Lograr un tratamiento adecuado de las aguas residuales con la implementación de una planta de tratamiento.
- Disminuir el impacto ambiental que ocasionan las aguas residuales.

### **2.5.3 RESULTADO Y/O META**

- El proyecto beneficiará de manera directa a toda la población de El Puente y por tanto mejorará sus condiciones de salubridad.
- Diseñar el Sistema de Alcantarillado Sanitario y la Planta de Tratamiento para las aguas servidas de la localidad de El Puente.
- Construcción de la red de alcantarillado sanitario que atraviesa toda el área urbana, y las nuevas urbanizaciones de la localidad de El Puente.
- Construcción de las plantas de tratamiento.
- Bajar la remoción de D.B.O., que contiene las aguas del sistema de alcantarillado sanitario.
- Contar con un sistema eficiente del servicio de alcantarillado sanitario que cumpla con los parámetros de la N.B-688.

#### **2.5.4 MATRIZ DE PLANIFICACIÓN “MARCO LÓGICO”**

A manera de estructurar los resultados y permitiendo presentar de forma sistemática los objetivos del presente proyecto y su relación de causalidad, se presenta un detalle de los fines y propósitos que se persigue con la elaboración del presente estudio y así mismo un detalle de la justificación para la posterior ejecución del presente estudio.

| <b>MATRIZ DE PLANIFICACIÓN</b>   |   |  |   |
|--|---|--|---|
| <b><i>1.- OBJETIVO GLOBAL</i></b>  | <b><i>INDICADORES</i></b>   | <b><i>FUENTES DE VERIFICACIÓN</i></b>  | <b><i>FACTORES EXTERNOS</i></b>                                   |
| Reducir enfermedades infecto contagiosas, y de tipo gastrointestinal en la localidad de “ <i>El Puente</i> ”; por lo tanto, mejorar la calidad de vida de los pobladores.                                  | El número de pacientes en el Centro de Salud de El Puente por enfermedades infecto contagiosas y de tipo gastrointestinales disminuyeron en un 90%. | Registro de pacientes atendidos en el Centro de Salud de El Puente.                                      |   |
| <b><i>2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</i></b><br>Se eliminaron los pozos sépticos y/o pozos ciegos.<br><br>El 100% de las familias de El Puente, cuentan con el servicio de Alcantarillado Sanitario eficiente. | Existe el servicio de Alcantarillado Sanitario beneficiando a todas las familias de la localidad de El Puente.                                      | Número de conexiones domiciliarias del Sistema de Alcantarillado Sanitario de la localidad de El Puente. | Existen buenas prácticas en el aspecto higiénico de la comunidad. |

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <b>3.- RESULTADOS:</b>  |  |   |  |
| <p>Sistema de alcantarillado sanitario mejorado y ampliado, con una nueva red y planta de tratamiento.</p> <p>Los beneficiarios de la comunidad de El Puente participan en el ciclo del proyecto.</p>   | <p>El Puente cuenta con un adecuado sistema de eliminación de aguas servidas, y el tratamiento respectivo de estas para su posterior evacuación.</p> | <p>Registro de conexiones al sistema de alcantarillado sanitario y la ejecución del presupuesto para el mantenimiento de la obra.</p>       |  |
| <b>4.- ACTIVIDADES:</b>   |  |   |  |
| <p>Realizar el replanteo topográfico. Realizar la construcción de la red de alcantarillado sanitario, y la planta de tratamiento de aguas residuales. Para la sostenibilidad del proyecto realizar el mantenimiento respectivo de la infraestructura.</p> | <p>Todas las familias comprendidas en el proyecto cuentan con el servicio de alcantarillado sanitario.</p>   | <p>Se realizaron entrevistas sobre la construcción del sistema de alcantarillado sanitario, existen informes del supervisor de la obra.</p> | <p>Decremento en la mortalidad infantil y se reduce el malestar social de El Puente.</p> |

### **III. JUSTIFICACION DEL PROYECTO**

#### **3.1 GENERALIDADES**

La disposición de un buen sistema de alcantarillado sanitario y el tratamiento correspondiente de sus aguas residuales, es un componente de las acciones de Saneamiento Básico, tendientes a coadyuvar en su conjunto al control de enfermedades transmisibles atribuibles a la deficiencia del saneamiento básico, el control y la disposición de sus aguas negras, las cuales son factores que permiten la proliferación de los agentes patógenos causantes de las misma.

A consecuencia de la carencia de algunos de los componentes de saneamiento básico, como la eliminación de las aguas residuales, la disposición de basuras, es el cuadro que contribuye al alto índice de morbi-mortalidad, lo que se puede constatar que se refleja mayormente en la población infantil y dentro de todo el entorno social.

La implementación de un sistema de agua potable; y la construcción de un buen sistema de alcantarillado sanitario, son incompletas en tanto que no se implemente un sistema de tratamiento y disposición de aguas residuales.

En el ciclo epidemiológico de las enfermedades gastrointestinales o las denominadas de origen hídrico, contribuyen principalmente el agua de mala calidad y la disposición de las aguas servidas.

Desde esta perspectiva epidemiológica, una población en la cual el abastecimiento de agua potable, no garantice agua segura y no cuente con un sistema sanitario de disposición de excretas o de aguas servidas, tiene un impacto reducido en los indicadores de salud es decir, muchas veces su impacto es negativo ya que al haber agua y no contar con un sistema de disposición de aguas servidas, hace que la

población vierta sus aguas usadas a la calle o al patio de sus viviendas creándose aún peores condiciones de salubridad que coadyuvan a la transmisión de enfermedades.

El sistema de recolección de aguas servidas a través de un sistema de alcantarillado y su tratamiento antes de su disposición final, garantizan también desde el punto de vista epidemiológico ambiental, el control de todo agente extraño al medio ambiente.

## **3.2 SITUACION ACTUAL**

### **3.2.1 ANTECEDENTES**

La carencia de un buen sistema de alcantarillado sanitario, y un buen tratamiento de sus aguas residuales en la población de El Puente, ha sido desde hace varios años una de las principales preocupaciones de sus autoridades municipales, dirigentes y pobladores. Estas influyen negativamente en la vida cotidiana de los pobladores, quienes se ven perjudicados por los aspectos de salud, contaminación, y otros factores que influyen en el proceso y calidad de vida de la población.

Los habitantes de la comunidad de El Puente carecen de un servicio de alcantarillado sanitario eficiente siendo una necesidad básica la evacuación y tratamiento de las aguas residuales, ya que éstas contienen numerosos organismos patógenos, causantes de enfermedades, los cuales habitan en el aparato intestinal humano, o bien pueden encontrarse en los vertidos de las pequeñas industrias. Por estas razones, en una sociedad organizada no es sólo deseable, sino necesaria, la eliminación inmediata y sin molestias de las aguas residuales de sus lugares de generación, seguida de su tratamiento y evacuación. El diseño realizará el planeamiento de un proyecto de alcantarillado sanitario, incluyendo un análisis y selección de las soluciones para las diferentes obras y cuantificar los recursos para su construcción.

Por ser una zona densamente poblada y en franco crecimiento, el contar con el servicio de alcantarillado sanitario, permitirá dotar de la necesaria infraestructura urbana que requiere mínimamente una comunidad de estas características. El no contar con este servicio con un funcionamiento eficiente incide en el nivel de vida de sus habitantes ya que se originan enfermedades infecto contagiosas y de tipo gastrointestinal, que afectan principalmente a la población infantil; además, conlleva a la contaminación de fuentes de aguas, suelo, subsuelo y el aire, principalmente porque las aguas usadas que son vertidas directamente en quebradas, ríos o en último caso en la vía pública.

### 3.2.2 EVALUACION DE LA SITUACION ACTUAL

#### 3.2.2.1 DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE

La población de El Puente cuenta con un sistema de agua potable deficiente, ya que la dotación no cubre la demanda mínima, la cual es otro factor que influye en el ineficiente servicio, por lo que es necesario plantear la implementación de un sistema adecuado de agua potable para la comunidad.

**Cuadro N° 10**  
**Cobertura de agua potable**

| Comunidad | AGUA POTABLE  |               |
|-----------|---------------|---------------|
|           | Cobertura (%) | Estado Actual |
| El Puente | 80            | malo          |

Fuente: PDM (2007 - 2011)

Elaboración: Propia

### 3.2.2.2 ESTADO DEL SERVICIO DE ALCANTARILLADO

Actualmente existe un sistema antiguo de alcantarillado sanitario, que tiene una cobertura parcial, que no llega a cubrir toda el área poblada; por lo tanto, no llega a beneficiar a la totalidad de la población.

Este sistema se encuentra en malas condiciones de funcionamiento por no realizarse operaciones de mantenimiento rutinario en los colectores y cámaras de inspección, como también el haber cumplido su vida útil.

También pudimos observar el taponamiento en algunos colectores en la red, y el mal estado de las actuales plantas de tratamiento, debido a una falta total de mantenimiento, provocando un colapso total en el sistema.

**Cuadro N° 11**  
**Cobertura de alcantarillado sanitario**

| Comunidad | Letrinas      |                        |
|-----------|---------------|------------------------|
|           | Cobertura (%) | Eliminación de sólidos |
| El Puente | 85            | Alcantarillado         |

Fuente: PDM (2007 -2011)

Elaboración: Propia

El actual sistema no cumple con los parámetros de la norma N.B. 688, como el diámetro mínimo que se debe emplear en la red de tuberías de un sistema de alcantarillado sanitario, como también en las profundidades mínimas en algunos tramos de los colectores y cámaras de inspección.

Debido al actual estado del sistema, y una cobertura parcial que no beneficia a la totalidad de la población, el sistema de alcantarillado sanitario no proporciona un servicio eficiente que satisfaga las necesidades de la población de El Puente.

Hemos podido observar las siguientes deficiencias del sistema actual:

- ✓ El inadecuado uso del sistema de agua potable.
- ✓ El inadecuado uso del sistema actual de alcantarillado sanitario.
- ✓ Las pendientes y alturas de las cámaras no cumplen con las normas mínimas que se requiere para el buen funcionamiento de éstas.
- ✓ La red de tuberías no cumple con el diámetro mínimo de acuerdo a la norma NB 688.
- ✓ La falta de mantenimiento y limpieza en las respectivas cámaras.
- ✓ El inadecuado sello en las tapas de las cámaras, lo que dificulta la apertura para poder llevar a cabo la inspección técnica y luego el correspondiente mantenimiento.
- ✓ El mal funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales debido a la falta de mantenimiento.

### **3.2.2.3 BENEFICIOS EN LA SITUACIÓN ACTUAL**

Con las apreciaciones anteriores, no es posible estimar ningún beneficio actual en el área de influencia, puesto que los servicios tanto de agua potable como del alcantarillado sanitario no cubren al 100% de las familias y a los usuarios actuales

no se satisface con el servicio actual, pues el servicio de agua es por horas y en algunos casos no llega el agua; es así solo existe la conexión domiciliaria.

#### **3.2.2.4 COSTOS EN LA SITUACIÓN ACTUAL**

Los costos por el mal funcionamiento del servicio de agua y sistema de alcantarillado, son sociales que se les asigna a las familias de la localidad El Puente, por la no disposición inmediata de agua por cañería; los malos olores y/o incomodidades que ocasiona la fosas sépticas en los patios de las viviendas son los costos en la situación actual; por otra, la planta de tratamiento actual no funciona lo que desemboca directamente las aguas servidas al río San Juan del Oro.

La tarifa mensual por familias es de Bs. 7 por 5000 litros de consumo y además existe otro sistema de agua por cañería que beneficia a algunas familias que usan para riego de jardines y otros, agua que no es apta para el consumo humano.

## **IV. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS**

### **4.1 INTRODUCCION**

El objetivo de este capítulo es exponer el conjunto de alternativas que se han barajado durante el estudio de campo y la redacción de este proyecto, en lo referente a los diferentes aspectos que conciernen al proyecto y que se pueden observar en el índice.

En la selección de las alternativas se ha procurado tener en cuenta la realidad social y económica del país, por lo que se han priorizado los aspectos de funcionalidad, eficiencia, durabilidad y la reducción de costos, relegando a un segundo término los aspectos estéticos. También es un tema de gran importancia, la minimización del impacto ambiental de las obras, sobre todo en una zona donde la naturaleza tiene tanta presencia y representa el principal potencial para el desarrollo de la zona, y que por lo tanto debe ser respetado al máximo.

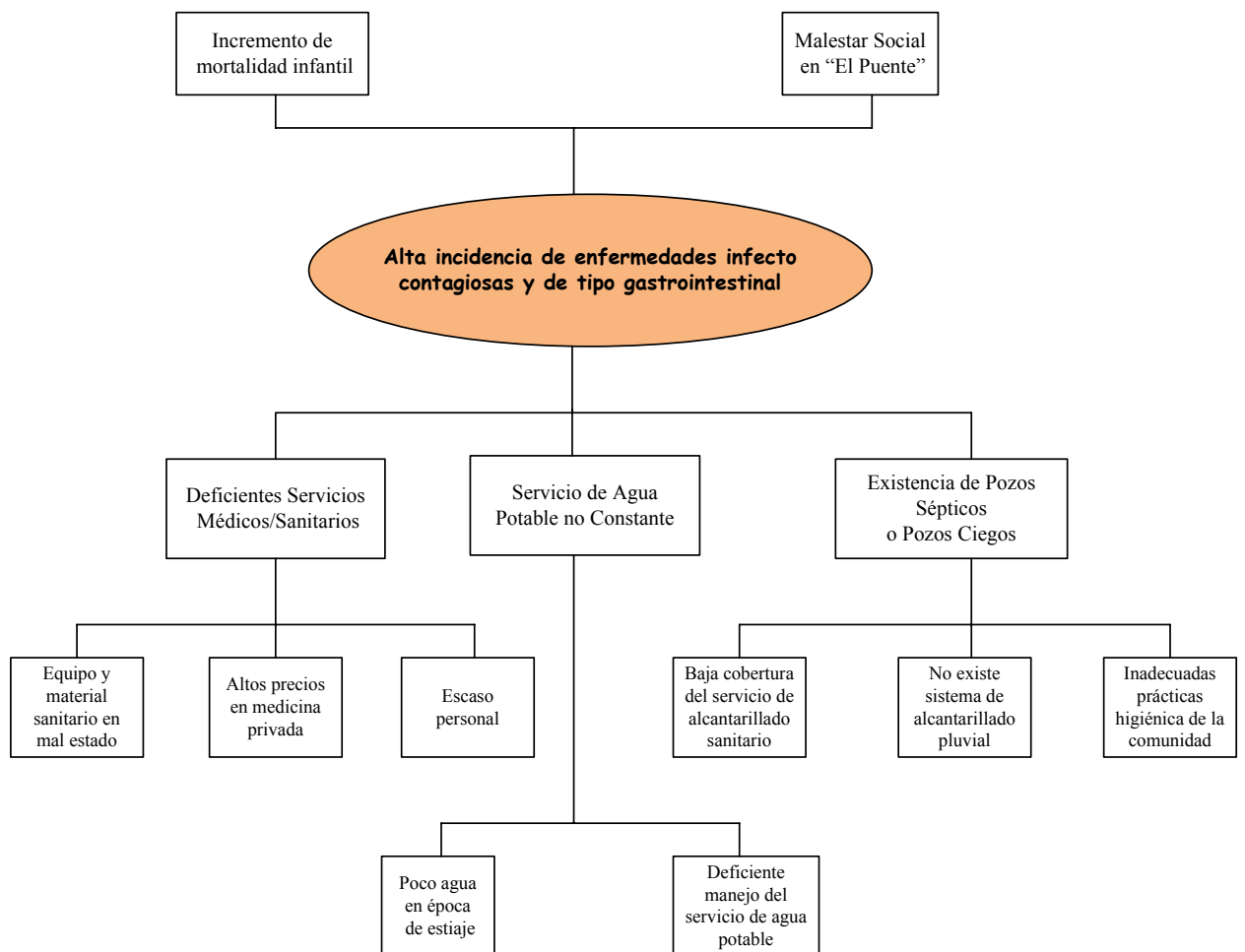
### **4.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA O NECESIDAD**

Al no contar con un sistema de Alcantarillado Sanitario que cumpla con todas las normas y especificaciones técnicas, además, que logre cubrir la totalidad de la población beneficiaria, genera un proceso de proliferación de focos de infección en los alrededores de las viviendas, retroalimentado aún más por la temperatura que normalmente hace en la época de verano en esta zona, situación que acelera el proceso de infecciones digestivas y respiratorias especialmente en los niños, como también de adultos.

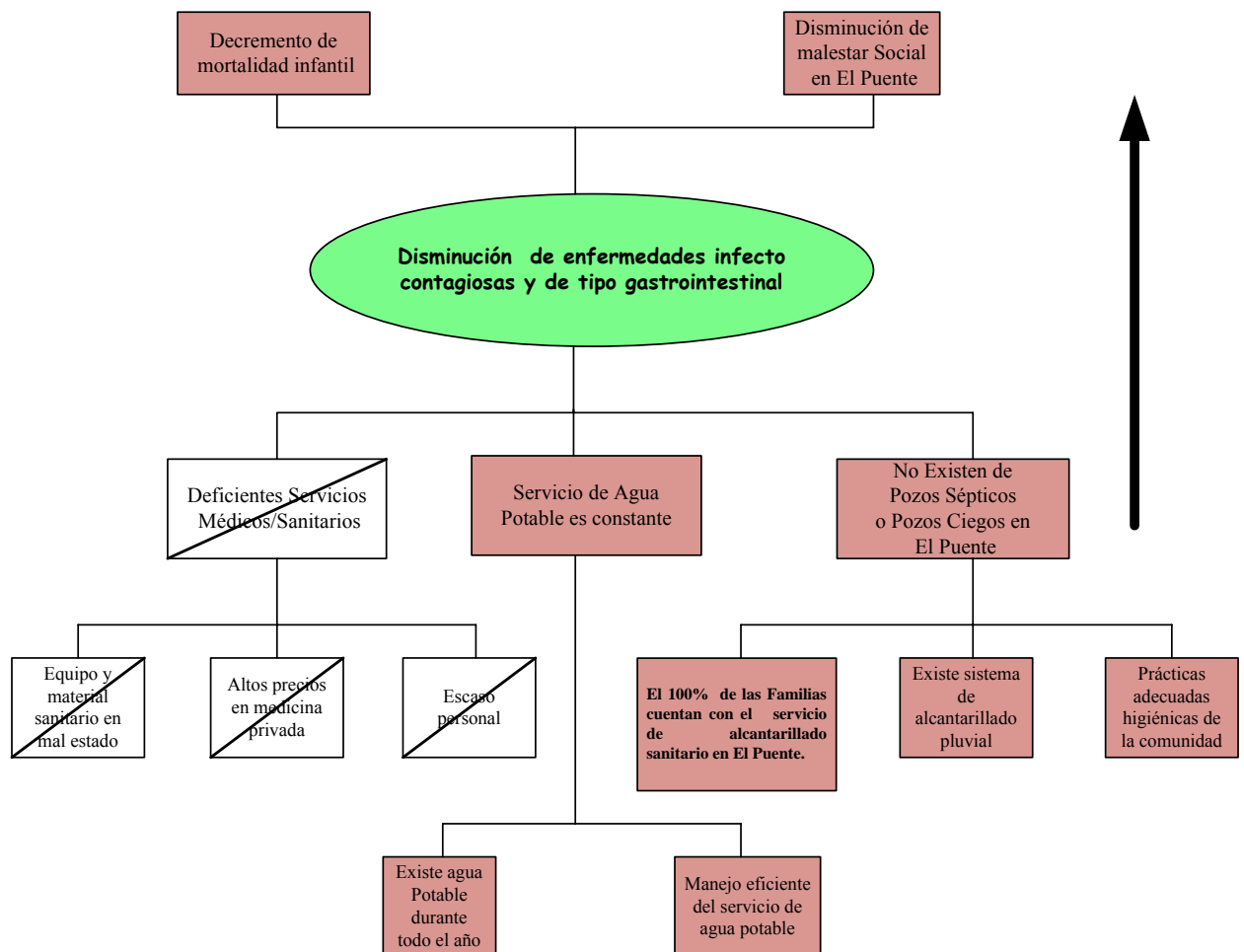
En general, el problema principal o global del proyecto se plantea de la siguiente manera: “Alta incidencia de enfermedades infecto contagiosas y de tipo gastrointestinal” afectan a la población de El Puente; este planteamiento de problema

se puede observar en el árbol de problemas y su posible solución a través de árbol de objetivos.

**Gráfico N° 1**  
**Árbol de Problemas**



**Gráfico N° 2**  
**Árbol de Objetivos**



En el árbol de objetivos se puede observar las posibles soluciones con la intervención del proyecto, es decir, las áreas donde interviene y/o incide principalmente la ejecución del proyecto; los cuadros de colores son las posibles soluciones una vez puesta en marcha el proyecto de Alcantarillado Sanitario en El Puente.

### **4.3 ALTERNATIVAS PARA EL PROBLEMA DEL ALCANTARILLADO SANITARIO**

En la fase de estudio de alternativas se identificó las siguientes alternativas:

Las alternativas planteadas para la realización del presente estudio, se han basado fundamentalmente en el diseño técnico, considerando su ubicación, su funcionalidad, su orientación, etc. Aspectos que se definen para la elección de la mejor alternativa tanto técnica como económica.

Actualmente las aguas residuales son evacuadas en un sistema de alcantarillado sanitario existente, el cual no beneficia la totalidad de la población de El Puente, y este se encuentra en unas condiciones muy deficientes dado que fue construido hace unos 20 años. Asimismo no parece que los problemas sean de índole puntual sino que el mal estado parece ser generalizado.

Además, cabe hacer notar que por la disposición de la población y por la capacidad de la fuente el proyecto abarcará y beneficiará al 100% de la población. Se consideró las características climáticas y los hábitos de consumo de la población para establecer la dotación de agua potable, pero sobre todo el caudal ofrecido por la fuente que es suficiente y ha sido el factor preponderante para adoptar una dotación de 80 lt/hab/día.

Por este motivo se ha decidido realizar un nuevo sistema partiendo de cero, sin pretender aprovechar infraestructuras ya existentes que han demostrado estar obsoletas.

Las alternativas propuestas para el sistema de alcantarillado sanitario de El Puente, se consideran, de trazado geométrico y el alcance de este para el beneficio de toda la población, como también en la utilización de materiales para la red de colectores

(tuberías, cámaras), la implementación del tipo de planta de tratamiento para las aguas residuales. A continuación se exponen las alternativas que se han planteado en este aspecto.

#### **4.3.1 RED SEPARATIVA**

La evacuación por separado de las aguas residuales domésticas y las aguas de lluvia representa una ventaja desde el punto de vista ambiental, ya que posibilita el tratamiento por separado de las aguas domésticas antes de ser devueltas al río.

La evacuación por separado hace que las dos tuberías puedan adaptar mejor el tamaño a su función, de forma que las conducciones destinadas a la evacuación de aguas domésticas tendrán un diámetro mucho menor que las que se empleen para recoger aguas de lluvia.

Por otro lado, la construcción de dos tuberías paralelas supone una desventaja desde el punto de vista económico en comparación con la red unitaria que se plantea a continuación.

#### **4.3.2 RED UNITARIA**

La principal ventaja de esta alternativa es la referente al punto de vista económico. Evidentemente es mucho más barato construir una sola conducción que dos, como se plantea en la red separativa.

Por otro lado, esta alternativa presenta un problema desde el punto de vista funcional, ya que la conducción única estará dimensionada para recoger los caudales asociados a los sucesos de lluvia, que son mucho mayores que los de las aguas residuales domésticas. Eso hace que las velocidades del agua en días secos sean muy bajas y aparezcan problemas de sedimentación, que hagan disminuir la sección de la tubería

con el tiempo. Teniendo en cuenta los importantes episodios de lluvia que se dan en la zona, la diferencia entre los caudales pluviales y de aguas residuales domésticas sería muy importante.

Además, la red unitaria hace que en días de lluvia sea imposible tratar toda el agua mediante el sistema de tratamiento, a menos que éste se haya dimensionado para ello, hecho que encarecería de forma importante dicho sistema. Por tanto, en días de lluvia sería imposible tratar el agua, con lo que todos los contaminantes irían a parar al río. Dada la frecuencia con que se dan episodios de lluvia importantes, esta situación se daría en numerosas ocasiones, por lo que la red unitaria representa un problema desde el punto de vista ambiental.

#### **4.3.3 SOLUCIONES GLOBALES ADOPTADAS**

A continuación se exponen las opciones escogidas en lo referente a los dos puntos anteriores.

#### **4.3.4 SOLUCIÓN PARA EL ALCANTARILLADO SANITARIO**

Dado que se ha decidido no aprovechar el alcantarillado existente y que, por tanto, se ha de construir una nueva infraestructura, la opción escogida ha sido la de realizar la red de forma separativa. A pesar de que económicamente suponga una inversión mayor, la red separativa se adapta mejor a las condiciones climatológicas y demográficas de la población.

Por otro lado esta opción es también positiva desde el punto de vista ambiental, ya que hace posible el tratamiento de la totalidad de las aguas residuales domésticas.

Por último, desde un punto de vista funcional, la red separativa posibilita el dimensionamiento, por separado, de unas tuberías asociadas a los caudales bajos de

las aguas residuales domésticas, y otras para caudales mayores destinadas a la evacuación de aguas pluviales.

#### **4.4 ALTERNATIVAS PARA EL TRAZADO DE LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO**

El trazado de esta red será en forma ramificada, de forma que se minimice la longitud total de tuberías y se tenga una mayor facilidad de construcción. El trazado se realizará aprovechando las calles de la población y se hará de forma que el agua pueda circular por gravedad hasta desaguar por la parte baja del pueblo. Las aguas residuales domésticas serán conducidas hasta la ubicación del sistema de tratamiento.

De acuerdo al terreno del lugar, el lado sur de la ciudad se encuentra en contrapendiente con el lado norte; por tal motivo, el realizar un solo sistema de red de alcantarillado sanitario de aguas residuales domesticas que evacuen en una planta de tratamiento de manera que beneficie a toda el área urbana de la capital, implica, realizar una estación de bombeo el cual es económicamente caro tanto en operación como en el mantenimiento del sistema.

Las estaciones de bombeo son instalaciones, construidas y equipadas para transportar el agua residual del nivel de succión o de llegada a las unidades de tratamiento, al nivel superior o de salida de la misma.

Las estaciones de bombeo de aguas residuales son necesarias para elevar y/o transportar, cuando la disposición final del flujo por gravedad ya no es posible. En terrenos que no cumplan con las condiciones de flujo por gravedad, los colectores que transportan el agua residual hacia la estación de tratamiento se pueden profundizar de tal modo que se tornaría impracticable la disposición final sólo por gravedad.

Por tal motivo el realizar un solo sistema donde evacuen las aguas residuales en una sola planta de tratamiento es antieconómico, debido a lo expuesto anteriormente, como también debemos tener en cuenta la economía de la población, ya que este es relativamente bajo, y debido a estos factores debemos optar por la alternativa más económica.

Por estas razones se opta por realizar dos sistemas independientes con dos plantas de tratamiento (Sistema Norte y Sur).

Para ello se plantean dos alternativas de trazado de la red:

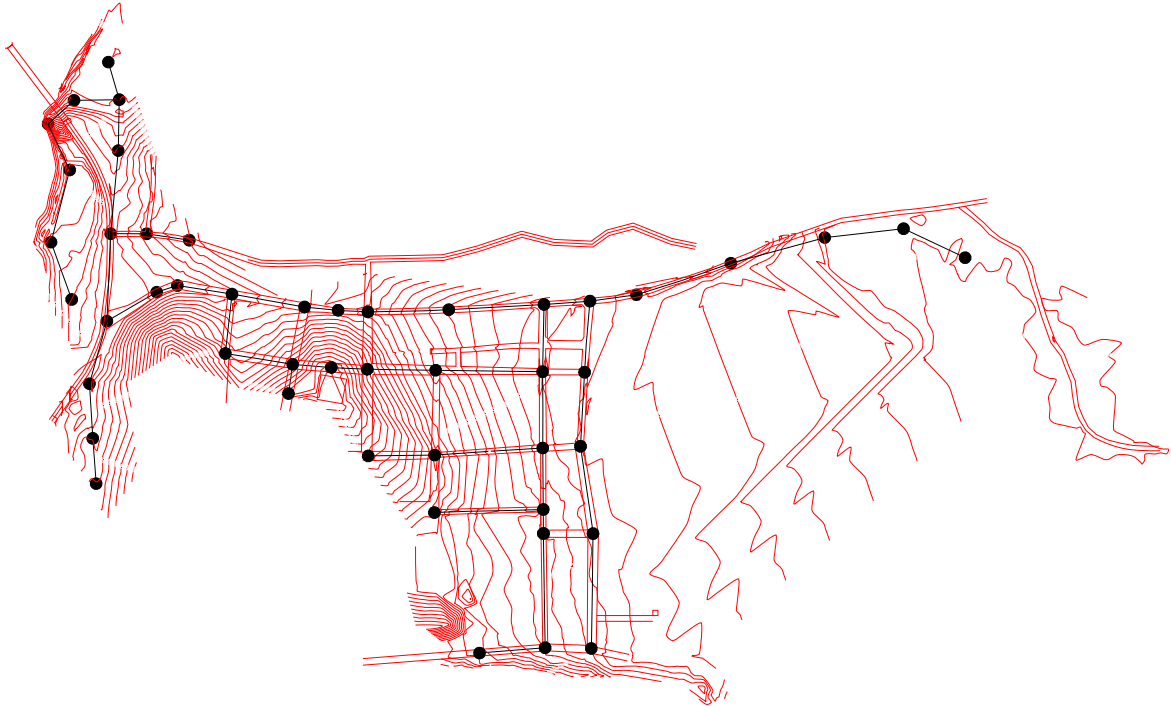
#### **4.4.1 COLECTORES PRINCIPALES SIGUIENDO LAS CALLES LONGITUDINALES**

Esta alternativa utiliza las calles para recoger el agua doméstica y canalizarla por la calle 7 de Mayo y finalmente unirse con la calle 29 de Septiembre para expulsarla al río o hacia la planta de tratamiento para el sistema norte.

De la misma manera, para el sistema sur se utilizan las calles para recoger las aguas residuales domésticas y evacuarlas por la calle 29 de Septiembre y parte de la carretera Tarija – Potosí, para expulsarla finalmente en la planta de tratamiento del sistema sur.

Esta opción se adapta bien a la orografía del terreno, ya que el agua podría ser recogida por gravedad hacia estas arterias principales. También resulta una opción positiva desde el punto de vista económico, ya que representa una longitud total de tuberías menor, con respecto a la alternativa siguiente.

**Figura N° 7**  
**Opción N° 1 de la red de alcantarillado**



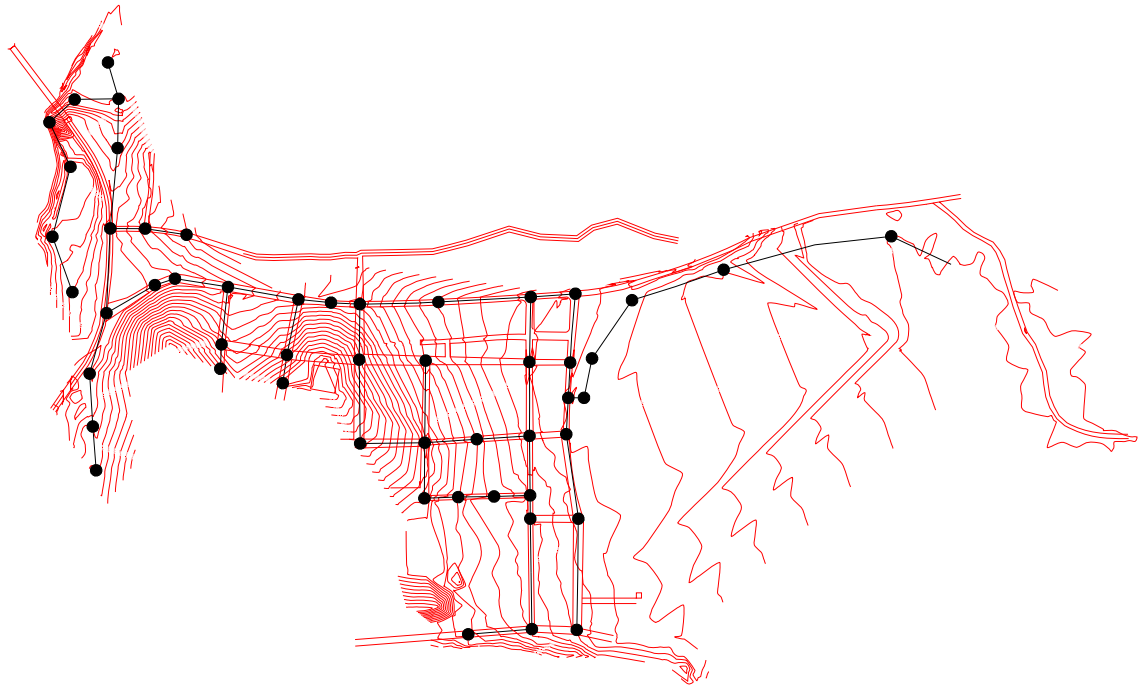
#### **4.4.2 COLECTORES PRINCIPALES SIGUIENDO LAS CALLES TRANSVERSALES**

Para el sistema norte esta alternativa utiliza la calle Bolívar y la 15 de Abril para recoger el agua y conducirla hasta el punto de intersección con el canal de riego de la zona, donde sería conducida mediante un conducto paralelo al canal de riego hacia la planta de tratamiento norte (aguas residuales domésticas).

Para el sistema sur donde el área de aporte es mucho menor que en el sistema norte no tenemos muchas opciones, para el trazado de la red ya que en esta sólo existe una calle principal que es la 29 de septiembre, y las transversales a esta son calles muy cortas, debido a esto sólo se tiene como colector principal la calle 29 de septiembre y

parte de la carretera Tarija – Potosí, como también tenemos otro colector que es paralelo al canal de riego y es para beneficiar a las casas que se encuentran en el lado izquierdo de la carretera Tarija – Potosí, ya que éstas se ubican en un nivel más bajo que la carretera, para expulsarla finalmente en la planta de tratamiento del sistema sur.

**Figura N° 8**  
**Opción N° 2 de la red de alcantarillado**



Esta opción resulta menos apropiada en lo referente a la adaptación al perfil del terreno. Por otro lado, las manzanas entre calles tienen mayor el lado paralelo al río por lo que es más difícil hacer que todas las casas desagüen hacia las calles transversales ya que algunas viviendas no tocan a dichas calles.

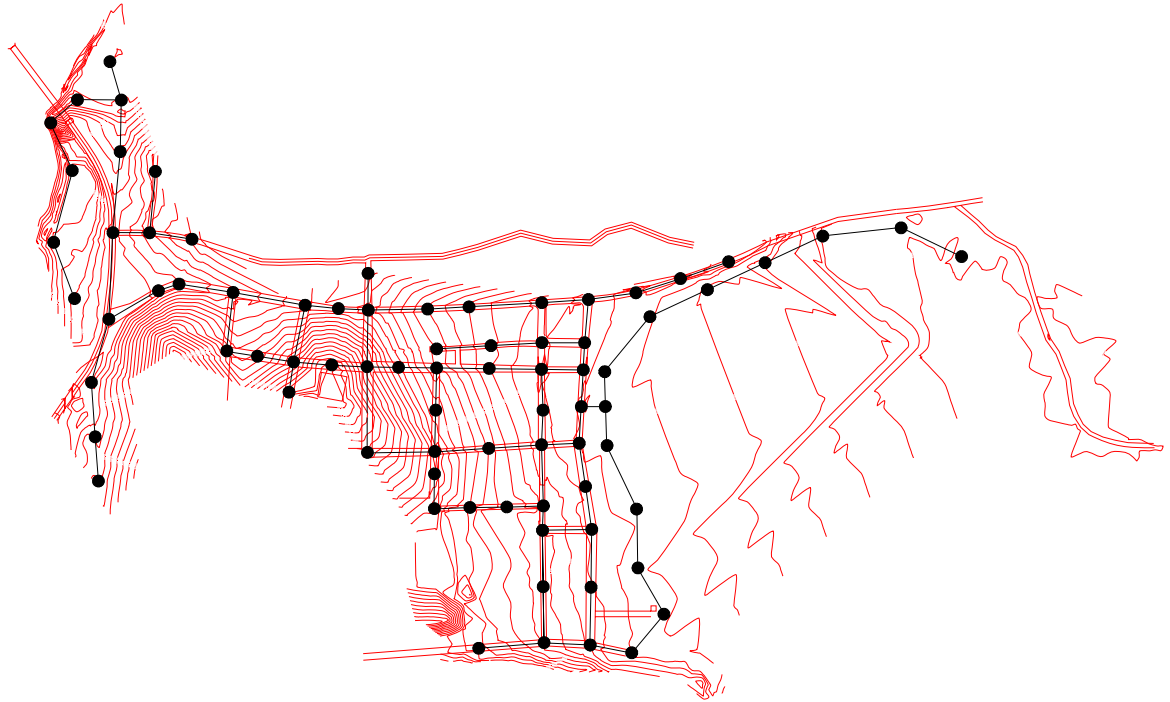
#### **4.4.3 SOLUCIÓN ADOPTADA**

A pesar de que previamente parecía más adecuada la opción de recoger el agua a través de las calles longitudinales, al realizar una inspección en el alcance de éste tenemos que no se beneficia a la mayoría de la población, pero este se adapta al relieve del terreno.

Al recoger las aguas transversalmente, se ha visto que el esquema planteado requería unas pendientes excesivas, y no se adaptaba de forma adecuada al relieve detallado del terreno. Por este motivo, después de realizar sucesivas pruebas con la planilla Excel se ha optado por una solución mixta, que divide la red en diferentes sectores, en cada uno de los cuales los colectores desaguan en dirección preferentemente longitudinal hacia un colector principal que discurre por la calle Bolívar; esto en el sistema norte, y para el sistema sur los colectores desaguan en la calle 29 de Septiembre y parte de la carretera Tarija - Potosí.

A pesar de que la orografía del terreno hace complicada la recogida de las aguas por gravedad hacia la ubicación del sistema de tratamiento, esta es la opción que mejor se adapta al problema.

**Figura N° 9**  
**Solución adoptada de la red de alcantarillado**

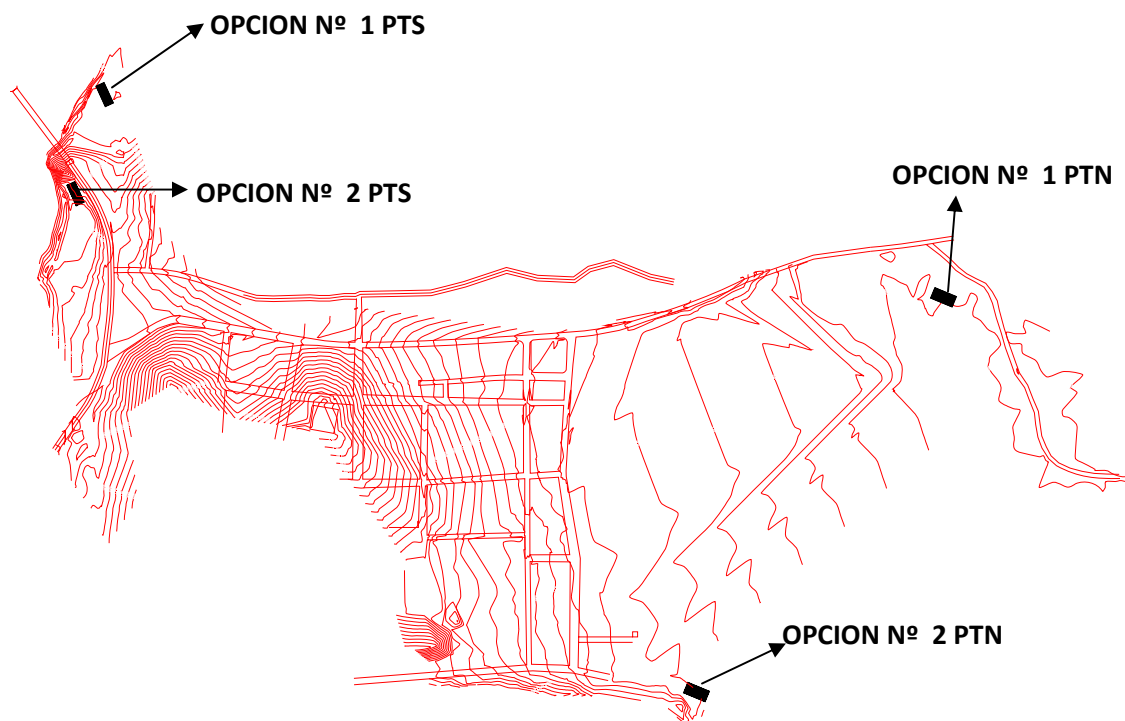


#### **4.5 ALTERNATIVAS PARA LA UBICACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO**

El principal requisito a cumplir por el lugar donde sea ubicado el sistema de tratamiento es que el agua residual que tenga que llegar hasta él pueda ser transportada por gravedad. Eso hace que las opciones que se han planteado se encuentren todas ellas en la zona del pueblo, es decir aguas abajo en el sentido del río. Por otra parte, se necesita también un mínimo de espacio para poder ubicar las instalaciones necesarias, aunque este espacio dependerá del tipo de sistema adoptado, tema que se discute en el siguiente apartado.

En el siguiente mapa aparecen las ubicaciones que se han planteado como alternativas para la ubicación del sistema de tratamiento de aguas residuales:

**Figura N° 10**  
**Alternativas de ubicación de la planta de tratamiento**



#### **4.5.1 ALTERNATIVA N° 1**

##### **Sistema Norte (1 PTN).**

Esta ubicación se encuentra en una explanada situada en la parte norte de El Puente próxima al río y áreas de cultivo.

Esta explanada se encuentra relativamente elevada respecto del nivel del río, por lo que éste no se encuentra a salvo de todo riesgo de avenidas.

El espacio disponible es amplio, por lo que no hay demasiadas restricciones en este aspecto sobre el tipo de sistema a emplear.

Por otra parte, el principal problema de esta opción reside en que se encuentra en un nivel donde existe riesgo de inundaciones por avenidas extraordinarias, como también porque se encuentran en las proximidades del río. Por este motivo sería necesario realizar muros de contención, hecho que aumentaría notablemente el coste de la ejecución.

#### **Sistema Sur (1 PTS).**

La planta de tratamiento del sistema sur se encuentra en una zona cercana a la población, en el lado derecho de la carretera Tarija – Potosí a orillas del río San Juan del Oro, el cual sería un factor que limita esta zona. El espacio disponible en este caso es bastante reducido, por lo que este emplazamiento no es apto para un sistema de lagunaje, aunque sí puede ser viable en caso de colocar un reactor.

Además, esto comportaría molestias de olores para los pobladores cercanos, con lo que tendrían que soportar esos problemas todo el día.

#### **4.5.2 ALTERNATIVA N° 2**

##### **Sistema Norte (2 PTN).**

Esta ubicación se encuentra en el lado nor-oeste contigua al camino El Puente – Ircalaya; este se encuentra al lado izquierdo de la carretera en una zona alejada de las áreas de cultivo como de la población.

El espacio disponible es mayor que en las opciones anteriores y se encuentra alejado de cualquier vivienda, por lo que no representaría una molestia directa sobre los habitantes.

Además, el hecho de que este punto se encuentre más alejado de la población que los de las alternativas anteriores, hace que sea necesaria una mayor longitud de tuberías, con lo que se incrementaría el coste de la obra.

Por otra parte, el principal problema de esta opción reside en que se encuentra a cota mayor que las casas más bajas del pueblo, aquellas que se encuentran en las proximidades del canal de riego. Por este motivo sería necesario bombear parte del agua para llevarlo hasta ese punto, hecho que aumentaría notablemente el coste de la ejecución.

### **Sistema Sur (2 PTS).**

Este lugar está más bajo que todas las casas de la población, por lo que la conducción podría llevarse a cabo por gravedad sin ningún problema.

Se encuentra relativamente próximo al pueblo, con lo que la longitud de tubería necesaria para llevar el agua hasta este punto sería relativamente bajo, resultando este hecho positivo desde el punto de vista económico.

El espacio disponible como en el anterior caso es reducido, por lo que este espacio no es apto para un sistema de lagunaje, aunque sí que puede ser viable en caso de colocar un reactor. Por otro lado, el hecho de afectar menos espacio es positivo de cara al impacto de la obra sobre las comunidades que hay en las proximidades, cuyos habitantes utilizan la zona para el cultivo.

Otro inconveniente de esta ubicación es que se encuentra más expuesto a una posible crecida extraordinaria del río, por lo que puede ser necesaria alguna obra auxiliar de protección.

#### **4.5.3 SOLUCIÓN ADOPTADA**

La decisión de la ubicación se ha realizado juntamente con el tipo de sistema, que se expone en el apartado siguiente. De todas maneras, se ha priorizado el aspecto económico y social, intentando minimizar los costes y afectar lo menos posible a los habitantes de las comunidades. Por este motivo la opción escogida ha sido la de la **alternativa 1** para ambos sistemas.

#### **4.6 ALTERNATIVAS PARA EL TIPO DE SISTEMA DE TRATAMIENTO**

Este estudio se ha realizado de forma paralela al expuesto en el apartado anterior. Debido al número de habitantes de la población, se ha considerado que únicamente era necesario un tratamiento preliminar y primario. Los tres sistemas planteados como alternativa para este propósito se exponen a continuación.

##### **4.6.1 REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE**

Las principales ventajas de este sistema son que no requiere uso de energía, y el coste de mantenimiento es bajo. Por otra parte requiere poca superficie, por lo que sería una buena opción para la ubicación escogida en el apartado anterior. Por último, otro punto positivo de esta alternativa es el posible aprovechamiento del gas que interviene en el proceso.

Como inconveniente encontramos principalmente el elevado coste de construcción que supone.

#### **4.6.2 PANTANOS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL**

Como puntos positivos encontramos que tiene un bajo impacto visual y que tiene un coste de energía bajo, por lo que supone un coste de mantenimiento relativamente bajo. Además, no provoca problemas con los olores ni con los mosquitos.

Por otra parte, la superficie requerida para llevar a cabo esta alternativa es muy extensa, con lo que la hace inviable para la ubicación elegida en el apartado anterior. El coste de construcción es alto y es difícil de reparar en caso de destrucción o inundación parcial, cosa que podría suceder en caso de sucesos extraordinarios de avenidas.

#### **4.6.3 ESTANQUES DE ESTABILIZACIÓN AEROBIOS**

La principal ventaja de este método es que la construcción es sencilla y económica. Además su funcionamiento es sencillo y es fácil de reconstruir en caso de inundación.

Desde el punto de vista negativo, esta opción requiere una superficie muy extensa, motivo por el cual no es adecuado para la ubicación escogida en el apartado anterior.

Por otra parte presenta problemas de olores y atrae a los mosquitos con lo que representaría una molestia para los habitantes de la zona o para aquellas personas que lleven a cabo actividades en las proximidades.

#### **4.6.4 SOLUCIÓN ADOPTADA**

La elección se ha realizado teniendo en cuenta el poco espacio disponible en la ubicación escogida en el apartado anterior. Por este motivo y por su bajo coste de mantenimiento, la opción escogida ha sido la del reactor anaeróbico de flujo ascendente.

## **V. ESTUDIO DETALLADO DE LA ALTERNATIVA ELEGIDA**

### **5.1 ESTUDIO DE MERCADO**

Si entendemos por un mercado, a un lugar real o virtual, donde se realizan las transacciones de compra-venta de bienes y servicios y se establecen sus precios, en nuestro caso el mercado, desde el punto de vista del proveedor, será los que suministren de materiales para la construcción del Sistema de Alcantarillado Sanitario como cemento, fierro, pintura y otros. Estos materiales en su gran mayoría se encuentran en el mercado local por lo que no existirían dificultades de adquisición, por lo que se puede concluir que no habrá problemas de parte del mercado proveedor.

También podemos entender, como mercado a los servicios que brindará la Construcción del Sistema de Alcantarillado Sanitario a los habitantes de la localidad de El Puente; éstas pueden ser personas que viven de forma permanente y/o de manera temporal, entonces el mercado del proyecto será las 171 suscriptores y/o conexiones para del área de influencia del proyecto o la Localidad de El Puente.

#### **5.1.1 ANÁLISIS DE DEMANDA**

El análisis de la demanda puede constituir uno de los aspectos centrales en el proyecto, por tanto, para estimar la demanda de la Construcción del Sistema de Alcantarillado Sanitario primeramente se recurrió a datos estadísticos como los usuarios actuales del Sistema de Alcantarillado Sanitario por una parte y los futuros usuarios con el mejoramiento y ampliación del actual sistema.

En el cuadro siguiente se presenta el número de beneficiarios con la ejecución del proyecto; sin embargo, es importante hacer notar que el número de familias se procederá a proyectar con la tasa de crecimiento estimada por el Instituto Nacional de Estadística (INE) para los próximos 20 años.

**Cuadro N° 12**  
**Número de Beneficiarios con el Proyecto**

| N° | Lista de Beneficiarios<br>e Instituciones |
|----|---|
| 1  | Colegio                                   |
| 2  | Escuela                                   |
| 3  | Iglesia Evangélica                        |
| 4  | Internado                                 |
| 5  | Alcaldía                                  |
| 6  | Iglesia Católica                          |
| 7  | Centro de Madres                          |
| 8  | APASO                                     |
| 9  | Sede Sindical                             |
| 10 | Gas Electricidad                          |
| 11 | 17 Conexiones SOBOSE                      |
| 12 | 40 Usuarios actuales*                     |
| 13 | 92 Nuevos Usuarios*                       |

**Fuente:** Comité de Alcantarillado El Puente

**Elaboración:** Propia

(\*) lista en anexo

Para la proyección de la población de El Puente para los próximos años, se asume una tasa de crecimiento poblacional del 1%; pues si tomamos una tasa de crecimiento poblacional estimada por el INE – 2001 que es del (-0,63%), la población se vería disminuida. En realidad, en la localidad de El Puente existe un crecimiento poblacional lo cual se convierte en una demanda del proyecto que se pretende implementar.

#### **5.1.1.1 POBLACION BENEFICIARIA**

Este proyecto considera toda la zona de influencia que involucra la capital de la segunda sección de la provincia Méndez, considerando las áreas urbanas actuales, como las zonas de crecimiento de acuerdo al plano catastral del El Puente.

En la actualidad la capital de El Puente tiene una población aproximadamente de 773 habitantes, el 48 % son hombres y el 52 % son mujeres, dato que fue proporcionado por el comité de alcantarillado sanitario de El Puente.

Por tales motivos el proyecto tiene un horizonte de 20 años, en tanto se ha de beneficiar a un 100% de la población de la capital de la segunda sección de la provincia Méndez (El Puente).

#### **5.1.1.2 ESTABILIDAD POBLACIONAL**

Uno de los factores más importantes porque se da la migración temporal en la localidad de El Puente es la falta de fuentes de trabajo y la poca producción agrícola por la escasez de agua para riego, además que la mayoría de la población se dedica a diferentes actividades, razón por la cual se ven obligados a migrar una gran mayoría en los primeros meses del año a la ciudad de Tarija, donde se dedican a trabajar en cualquier oficio y los más afortunados se dedican a estudiar, los mismos que retornan para las fiestas de fin año en diciembre y enero; también un número no muy grande se va a Oruro a estudiar y retorna en el mes de diciembre y enero.

Mas, por el contrario, las adolescentes mujeres migran temporalmente más a la República de Argentina en los meses de marzo y abril a trabajar en las plantaciones de tomate y cosecha de cebolla y uva, para retornar en los meses de noviembre y diciembre. Otro porcentaje reducido sale a Tarija varias veces al año ya sea a estudiar o a comercializar sus productos, retornando en los meses de noviembre y diciembre.

Y un grupo reducido de adolescentes mujeres se van al País de España por el mes de marzo a trabajar como empleadas domésticas o en las plantaciones de uva y durazno de donde sólo retornan muy pocas para fin de año (diciembre).

Es posible observar que la población de la segunda sección de la provincia Méndez, por la falta de fuentes de trabajo con estabilidad laboral, están obligados a buscar nuevas alternativas y/o complementarias de ingreso emigrando temporalmente.

La migración temporal anual corresponde aproximadamente al 10 % del total de la población, caracterizándose esta migración por la predominancia del sexo masculino.

### **5.1.2 ANÁLISIS DE OFERTA**

Entendemos a la oferta como al número de unidades de un determinado bien o servicio que los vendedores están dispuestos a ofrecer a un determinado precio en un lugar geográfico u espacio dado. Para nuestro caso la oferta será el servicio del Sistema de Alcantarillado Sanitario que se construirá en El Puente según el diseño de Ingeniería; por lo tanto, la oferta que se presenta a continuación estaría reflejando los principales parámetros de diseño de los sistemas de saneamiento básico; para la definición de los parámetros de diseño, no solamente se debe tomar en cuenta los cálculos numéricos, sino también otros factores como; funcionalidad del servicio de alcantarillado sanitario, costos de construcción, etc., que son de gran importancia.

De acuerdo a estas consideraciones, se ha determinado utilizar la Norma Boliviana de Alcantarillado Sanitario para el diseño geométrico de la red del Sistema de Alcantarillado Sanitario según esta detallado en estudio de Ingeniería del proyecto. El tamaño del diseño se encuentra en los respectivos anexos.

## 5.2 TAMAÑO DEL PROYECTO

### 5.2.1 ESTUDIO DE TAMAÑO DEL PROYECTO

El área de influencia del proyecto es de aproximadamente de 18 ha, abarcando en su totalidad la actual mancha urbana y las nuevas urbanizaciones proyectadas, beneficiando alrededor de 142 familias.

El proyecto tiene el siguiente tamaño:

#### **Módulo Red de Alcantarillado Sanitario:**

Comprende los módulos que a continuación se explica:

- DEMOLICION, REMOCIONES Y REPOSICIONES.

La demolición consiste en el levantamiento y cambio total de todas las cámaras de inspección y tuberías de la red antigua.

Las remociones y reposiciones consisten en el levantamiento de pavimento rígido y articulado (adoquín), en tramos donde éste existe.

- RED DE COLECTORES Y EMISARIOS.

La red de colectores y emisarios del Sistema de Alcantarillado Sanitario tiene una longitud total de 5.372,70 ML.

Tendido de Tuberías de PVC 6" de 4.992,88 ML para la red de colectores

Tendido de Tuberías de PVC 8" de 379,82 ML para el emisario que incluye los dos sistemas norte y sur.

- CAMARAS DE INSPECCION COMUNES.

Este módulo comprende todas las cámaras comunes de inspección del sistema norte y sur, en un total de 74 Cámaras de inspección de H°C°.

- CAMARAS DE INSPECCION CON CAIDA.

Este módulo sólo comprende las cámaras con caída de ambos sistemas, de la misma manera que la anterior son cámaras de H°C° en un total de 10.

**Módulo Planta de tratamiento:**

Comprende los módulos que a continuación se explica:

- PLANTA DE TRATAMIENTO SISTEMA NORTE

La planta de tratamiento norte consiste en un tratamiento preliminar con una cámara de rejillas y desarenador, y un tratamiento primario que cuenta con dos reactores paralelos anaeróbicos de flujo ascendente con baffles.

Y el tratamiento secundario cuenta con un filtro biológico anaeróbico de flujo ascendente.

Cerramiento perimetral con malla olímpica.

- PLANTA DE TRATAMIENTO SISTEMA SUR

De la misma manera la planta de tratamiento sur consiste en un tratamiento preliminar con una cámara de rejillas y desarenador, y un tratamiento primario que cuenta con un reactor anaeróbico de flujo ascendente con baffles.

Y el tratamiento secundario se realiza con un filtro biológico anaeróbico de flujo ascendente.

Cerramiento perimetral con malla olímpica.

### **5.3 ESTUDIO TÉCNICO**

El cálculo del sistema de alcantarillado sanitario está regido por la utilización de varios parámetros de diseño, en función de la norma boliviana NB-688, de los cuales los más determinantes y más apropiados son:

#### **5.3.1 ALCANTARILLADO SANITARIO**

Es el sistema de recolección diseñado para evacuar exclusivamente aguas residuales domésticas e industriales de una población.

##### **5.3.1.1 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO**

**(a) *Colector secundario***

Colector domiciliario de diámetro menor a 150 mm (6") que se conecta con un colector principal.

**(b) *Colector principal***

Capta el caudal proveniente de dos o más colectores secundarios domiciliarios.

**(c) *Interceptor***

Colector que recibe la contribución de varios colectores principales, localizados en forma paralela y a lo largo de las márgenes de quebradas y ríos o en la parte más baja de la cuenca.

**(d) *Emisario final***

Colector que tiene como origen el punto más bajo del sistema y conduce todo el caudal de aguas residuales a su punto de entrega, que puede ser una planta de tratamiento o un vertimiento a un cuerpo de agua como un río, lago o el mar. Se caracteriza porque a lo largo de su desarrollo no recibe contribución alguna.

### **5.3.2 DOTACION**

#### **5.3.2.1 DOTACION POR HABITANTE Y POR DIA**

El consumo de agua potable o dotación, se establecerá o adoptará de manera que será suficiente para abastecer los usos para los cuales fue contemplado y dependerá de:

- Oferta de agua ( capacidad de la fuente )
- Aspectos socio-culturales.
- Aspectos económicos.
- Opción técnica y nivel de servicio (piletas públicas, conexiones domiciliarias, etc.)
- Condiciones de operación y mantenimiento.
- Pérdidas en el sistema.
- Otros usos de la fuente: riego, ganadería, etc.

Se tomarán en cuenta los valores del cuadro N° 13 en función al clima y al número de habitantes considerados como población de proyecto.

**Cuadro N° 13**  
**Dotación media diaria.**

| ZONAS         | DOTACION MEDIA (L/hab/dia) |               |                |                 |                   |                    |
|---------------|----------------------------|---------------|----------------|-----------------|-------------------|--------------------|
|               | POBLACION                  |               |                |                 |                   |                    |
|               | Hasta 500 hab.             | De 500 a 2000 | De 2000 a 5000 | De 5000 a 20000 | De 20000 a 100000 | Más de 100000 hab. |
| ALTIPLANICA   | 30 – 50                    | 30 – 70       | 50 – 80        | 80 – 100        | 100 – 150         | 150 – 250          |
| DE LOS VALLES | 50 – 70                    | 50 – 90       | 70 – 100       | 100 – 140       | 150 – 200         | 200 – 300          |
| DE LOS LLANOS | 70 – 90                    | 70 – 110      | 90 – 120       | 120 – 180       | 200 – 250         | 250 – 350          |

**Fuente:** Norma Técnica de diseño para sistemas de alcantarillado.

Por todos estos aspectos considerados en la Norma Boliviana, la ubicación del proyecto, el clima y otros ya mencionados podemos adoptar como una dotación actual de 80 lts/hab/día.

**Cuadro N° 14**  
**Patrón de consumo supuesto**

| USO DOMESTICO            | CONSUMO (lts/hab/día) |
|--------------------------|-----------------------|
| Bebida                   | 5                     |
| Preparación de alimentos | 10                    |
| Lavado de Utensilios     | 4                     |
| Lavado de ropa           | 10                    |
| Duchas                   | 15                    |
| Aseo personal            | 10                    |
| Descarga de inodoro      | 18                    |
| Riego de jardines        | 4                     |
| Aseo de la vivienda      | 4                     |
| <b>Total</b>             | <b>80</b>             |

**Fuente:** datos asumidos por (NB-688)

### **5.3.2.2 POBLACIÓN ( P )**

Es la población que ocupa el área de aporte en cada tramo de la red de alcantarillado sanitario.

Esta población se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$P = D * A \text{ (Hab.)}$$

Donde:

$$D = \text{densidad de población (Hab./Ha)}$$

$$A = \text{Área de aporte (Ha.)}$$

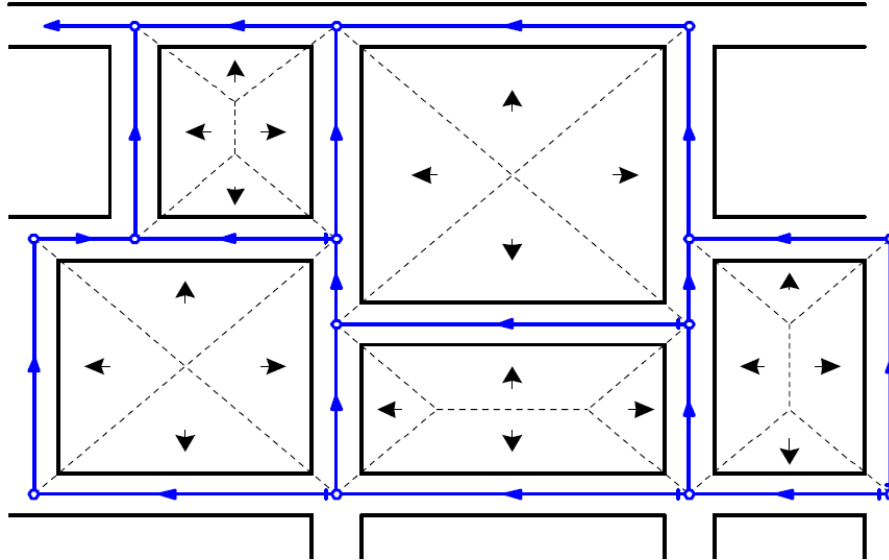
### **5.3.2.3 DENSIDAD DE POBLACIÓN ( D )**

Es el número de personas que habitan en una extensión de una hectárea. Un estudio de densidad de población debe reflejar su distribución de manera zonificada, la densidad actual y la máxima densidad esperada; con este último valor se debe hacer la determinación de la población

### **5.3.2.4 AREA DE DRENAJE ( A )**

La determinación del área de drenaje debe hacerse de acuerdo con el plano topográfico de la población de estudio y el trazado de la red de colectores. El área de drenaje que influye en cada colector se debe obtener trazando las diagonales o bisectrices sobre las manzanas de la población.

**Figura N° 11**  
**Determinación de áreas de Aporte**



### 5.3.3 PERIODO DE DISEÑO

El periodo de diseño es de 20 años, considerado desde el año 2008 hasta el año horizonte 2028.

Para determinar el periodo de diseño de los componentes y la eficacia de los mismos se tomaron en cuenta los siguientes aspectos.

- La vida útil de las alcantarillas, equipo, maquinaria y estructuras que componen el sistema de alcantarillado, considerando su antigüedad, desgaste y grado de conservación.
- Posibilidades técnicas y costos de ampliaciones, remoción y/o adición de obras.

**Cuadro N° 15**  
**Vida útil de las principales estructuras de un sistema de alcantarillado**

| <b>Tipo de estructura</b>   | <b>Características</b>                    | <b>Vida útil en años</b> |
|---|---|--------------------------|
| Alcantarilla lateral y secundarias 25 cm – 10” de diámetro                      | Pueden ser cambiadas                      | 20 - 25                  |
| Alcantarilla principales 76 cm – 30” de diámetro                                | Difíciles de cambiar costos considerables | 25 - 30                  |
| Emisarios colectores Circulares 76 cm – 30” o secciones ovoides o de herradura. | Difíciles de cambiar costos prohibitivos. | 30 - 50                  |
| Estructura de bombeo  | Difícil de ampliar                        | 25 - 30                  |
| Estructuras   | Fácil cambiar                             | 8 – 10                   |
| Equipos   | Difícil cambiar                           | 10 - 15                  |
| Plantas de tratamiento No mecanizadas   | Fácil ampliar                             | 10 – 15                  |
|   | Difícil ampliar                           | 15 - 20                  |
| Plantas de tratamiento Mecanizadas  | Fácil ampliar                             | 15 – 20                  |
|   | Difícil ampliar                           | 20 - 30                  |

Fuente: Ingeniería Sanitaria (Guido Capra J.)

- Crecimiento de la población con relación a cambios socioeconómicos.
- Disponibilidad de créditos o de recursos para financiamientos de las obras.

#### **5.3.4 CALCULO DE POBLACION FUTURA**

Se debe tener en cuenta que los diferentes métodos a utilizarse son establecidos por la norma boliviana (NB – 688), los cuales son aplicables y tenemos:

(a) *Método Aritmético:*

$$P_f = P_0 * (1 + i * (\frac{t}{100}))$$

**(b) Método Geométrico:**

$$P_f = P_0 * \left(1 + \left(\frac{i}{100}\right)\right)^t$$

**(c) Método Wappaus:**

$$P_f = P_0 * \frac{(200 + i * t)}{(200 - i * t)}$$

Donde:

$P_f$  = Población futura (hab.)

$P_0$  = Población actual (hab.)

$i$  = Índice de crecimiento (%)

$t$  = Periodo de diseño (años)

La tasa de crecimiento para la proyección de la población de proyecto, se asumirá la tasa de crecimiento promedio anual de la población del **1 %**; pues si tomamos una tasa de crecimiento poblacional estimada por el (INE) - (1992 -2001) que es de (-0,63%), la población se vería disminuida, y en realidad en la localidad de El Puente existe un crecimiento poblacional lo cual ya fue mencionado anteriormente.

### **5.3.5 CAUDALES DE DISEÑO**

En general, las alcantarillas se proyectan para funcionar a sección llena solamente en condiciones extremas. Por lo tanto, en la mayoría de los problemas que se presentan al proyectar las alcantarillas es necesario estimar la velocidad y el caudal cuando fluyen parcialmente llenas. Las relaciones entre los parámetros hidráulicos del flujo a

sección llena y sección parcialmente llena, en alcantarillas circulares, calculadas con la fórmula de Manning, se refleja de la siguiente manera:

Ecuación de la continuidad:

$$Q = A * V$$

La velocidad viene definida por la fórmula de Manning:

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2}$$

El radio hidráulico se define como:

$$Rh = \frac{\text{área de la sección mojada (m}^2\text{)}}{\text{perímetro de la sección mojada (m)}}$$

Para tubería a sección llena, el radio hidráulico es:

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

$$Rh = \frac{D}{4}$$

Sustituyendo el valor de Rh, en la fórmula de Manning para tuberías de sección llena queda:

$$V = \frac{1}{n} * \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} * S^{1/2}$$

$$V = \frac{0.397}{n} * D^{2/3} * S^{1/2}$$

Reemplazando en la ecuación de continuidad a sección llena:

$$Q = \left( \frac{\pi * D^2}{4} \right) * \frac{0.397}{n} * D^{2/3} * S^{1/2}$$

$$Q = \frac{0.312}{n} * D^{8/3} * S^{1/2}$$

Donde:

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

$V$  = Velocidad, m/seg.

$A$  = Área de la sección mojada, m<sup>2</sup>.

$n$  = Coeficiente de Rugosidad.

$R$  = Radio hidráulico, m.

$S$  = Pendiente de la línea de carga, m/m.

### 5.3.5.1 COEFICIENTE DE PUNTA

La relación entre el gasto medio y el máximo se denomina coeficiente de punta y usualmente para su determinación se utilizan fórmulas que relacionan el coeficiente con la población, por considerar que los mismos cubren los factores que están ligados a los aportes como; el tamaño del área servida, la densidad y la forma del área.

Puesto que el escurrimiento de las aguas residuales tiene sus variaciones de tipo horario, diario, mensuales, etc., determinamos el valor máximo de este escurrimiento mediante el denominado coeficiente de punta (M):

#### (a) *Coeficiente de Harmon*

Su alcance está recomendado a poblaciones de 1000 a 100000 habitantes; sin embargo, no se señala ninguna limitación.

$$M = 1 + \frac{14}{4 + P^{0.5}}$$

**(b) *Coefficiente de Babbitt***

Se restringe la aplicación de esta fórmula a un valor máximo de 1000 habitantes y un valor mínimo de 1 habitante.

$$M = \frac{5}{P^{0.5}}$$

**(c) *Coefficiente de Giff***

Para Giff la fórmula no tiene límites poblacionales.

$$M = \frac{5}{P^{0.167}}$$

En todos los casos:

$M =$  *Coefficiente de punta*

$P =$  *Población en miles de habitantes.*

### **5.3.5.2 COEFICIENTE POR MALAS CONEXIONES**

En los caudales de aporte a las redes de alcantarillado sanitario, se deben considerar los caudales pluviales provenientes de malas conexiones o conexiones erradas, clandestinas, por lo que fijamos un coeficiente de seguridad equivalentes al 5 ó 10 por ciento del caudal máximo de las aguas residuales; para el presente proyecto se toma el 10 %.

### **5.3.5.3 CAUDAL MÍNIMO DE DISEÑO**

El valor que se acepta como límite inferior del menor gasto probable para cualquier tramo de la red de alcantarillado sanitario, tiene un valor de 2 L/s que corresponde a la descarga de un inodoro. Considera además la aplicación de la probabilidad de uso.

### **5.3.5.4 CAUDAL DE INFILTRACION**

Las redes de alcantarillado permiten la infiltración de aguas subterráneas principalmente aguas vadasas y freáticas a través de fisuras en los conductos y puntos mal contruidos, dependiendo de estos factores según recomendación de la Norma Boliviana.

El potencial de infiltración varía de acuerdo a los factores siguientes:

- Altura del nivel freático sobre el fondo del colector.
- Permeabilidad del suelo y cantidad de precipitación anual.
- Dimensiones, estado, tipo de alcantarilla y construcción de cámaras de inspección.

Es inevitable la ocurrencia de infiltración en los sistemas de alcantarillado, que se producen en las tuberías y cámaras de inspección.

La infiltración varía con relación al nivel freático, la precipitación pluvial, y el tipo de materiales usados en la fabricación de tubos y el grado tecnológico de la construcción.

El reglamento de las normas Bolivianas, establece valores referenciales, nuestra zona de estudio se caracteriza por tener dos niveles freáticos y de ahí se adoptó un valor intermedio para uniformizar y hacer más fácil el cálculo correspondiente.

Para nuestro estudio, en el diseño de colectores sanitarios tenemos los siguientes datos:

**Cuadro N° 16**  
**Valores de infiltración**

| VALORES DE INFILTRACION EN TUBOS $Q_i$ (L/s/m) |                 |        |                 |        |                             |        |               |         |
|--|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------------------|--------|---------------|---------|
| Unión con:                                     | TUBO DE CEMENTO |        | TUBO DE ARCILLA |        | TUBO DE ARCILLA VITRIFICADA |        | TUBO DE P.V.C |         |
|  | Cemento         | Goma   | Cemento         | Goma   | Cemento                     | Goma   | Pegamento     | Goma    |
| N. Freático bajo                               | 0.0005          | 0.0002 | 0.0005          | 0.0001 | 0.0002                      | 0.0001 | 0.0001        | 0.00005 |
| N. Freático alto                               | 0.0008          | 0.0002 | 0.0007          | 0.0001 | 0.0003                      | 0.0001 | 0.00015       | 0.0005  |

**Fuente:** Norma y reglamento técnico, NB-688

### 5.3.5.5 CAUDALES DE APORTE.

Considerando los diferentes coeficientes que intervienen en la determinación de caudales de aporte que concurren a las redes de alcantarillado sanitario, se determinan las ecuaciones que rigen los flujos que se presentan y son:

#### (a) *Caudal medio diario de aguas residuales*

El caudal medio diario de aguas residuales, el cual se define como la contribución durante un período de 24 horas, obtenida como el promedio durante un año. Cuando no se dispone de datos de aportes de aguas residuales, lo cual es usual en la mayoría de los casos, se debe cuantificar este aporte en base al consumo de agua potable obtenido en el diseño del sistema de agua potable.

$$Q_m = \frac{Cr \cdot P \cdot d}{86400}$$

Donde:

$Q_m$  = Caudal de aguas residuales domésticas ( L/s )

$Cr$  = Coeficiente de retorno o aporte

$d$  = Consumo de agua potable (dotación) (L/Ha/d)

$P$  = Población (Hab.)

**(b) Coeficiente de retorno ( $Cr$ )**

Este coeficiente toma en cuenta el hecho de que no toda el agua consumida dentro del domicilio es devuelta al alcantarillado, por razón de sus múltiples usos como riego, lavado de pisos, cocina y otros. Se puede establecer, entonces, que sólo un porcentaje del total del agua consumida es devuelta al alcantarillado. Este porcentaje es denominado coeficiente de retorno o aporte, el que estadísticamente fluctúa entre 60% a 80%.

**(c) Caudal máximo horario de aguas residuales**

El caudal de diseño de la red de colectores debe corresponder al caudal máximo horario. Este caudal se determina a partir de factores de mayoración del caudal medio diario obtenido anteriormente, los cuales se seleccionan de acuerdo con las características propias de la población.

$$Q_{\max} = M \cdot Q_m$$

$$Q_{\max} = K_1 \cdot K_2 \cdot Q_m$$

Donde:

$Q_{\max}$  = Caudal máximo de aguas residuales domésticas ( L/s )

$Q_m$  = Caudal medio diario aguas residuales domésticas ( L/s )

$M$  = Coeficiente de punta

$K_1, K_2$  = Coeficientes de mayoración

Para poblaciones con el orden de magnitud superior a 100000 habitantes, se recomienda utilizar los valores que se refieren a los máximos consumos horarios de agua potable:

$$M = 2.00 \text{ a } 2.50$$

La experiencia brasileña que es recomendable para América Latina, deduce el valor de  $M$  como la multiplicación de los factores  $K_1$  del máximo caudal diario y  $K_2$  de máximo caudal horario.

El coeficiente  $K_1$  varía entre 1.2 a 1.5, mientras que el coeficiente  $K_2$  varía entre 1.5 a 2.2.

**Cuadro N° 17**  
**Valores del coeficiente  $K_2$**

| TAMAÑO DE LA POBLACION  | COEFICIENTE $K_2$ |
|-------------------------|-------------------|
| Hasta 2000 hab.         | 2.2               |
| De 2000 a 10000 hab.    | 2.0               |
| De 10000 a 100000 hab.  | 1.8               |
| De 100000 hab. adelante | 1.5               |

**Fuente:** Norma Técnica de diseño para sistemas de alcantarillado.

**(d) Caudal mínimo de contribución**

$$Q_{min} = \frac{Q_m}{M}$$

Donde:

$Q_{min}$  = Caudal mínimo de aguas residuales domésticas ( L/s )

$Q_m$  = Caudal medio diario aguas residuales domésticas ( L/s )

$M$  = Coeficiente de punta

**5.3.5.6 CAUDAL MAXIMO Y MINIMO DE DISEÑO.**

En general las alcantarillas se diseñan con el caudal máximo, aunque en la mayor parte de los sistemas se presentan caudales adicionales como ser, caudal de infiltración y caudal de malas conexiones; por tanto, el caudal de diseño se expresa de la siguiente forma:

**(a) Caudal Máximo de Diseño:**

$$Q_{maxd} = Q_{max} + Q_i + Q_e$$

Donde:

$Q_{maxd}$  = Caudal de diseño ( l/s )

$Q_{max}$  = Caudal máximo ( l/s )

$Q_i$  = Caudal de infiltración ( l/s )

$Q_e$  = Caudal de conexiones erradas ( l/s )

**(b) Caudal Mínimo de Diseño:**

$$Q_{mind} = Q_{min} + Q_i + Q_e$$

Donde:

$Q_{mind}$  = Caudal de diseño ( l/s )

$Q_{min}$  = Caudal máximo ( l/s )

$Q_i$  = Caudal de infiltración ( l/s )

$Q_e$  = Caudal de conexiones erradas ( l/s )

Consideramos que: si  $Q_{maxd} < 2.0$

Se tiene un valor de 2 L/s que corresponde a la descarga de un inodoro. Considera además la aplicación de la probabilidad de uso.

**5.3.6 CRITERIOS DE DISEÑO**

La eliminación continua de sedimentos de los colectores es costosa y en caso de falta de mantenimiento se pueden generar problemas. Por tanto, es aconsejable utilizar siempre pendientes que en todos los casos den lugar a velocidades de auto limpieza en condiciones críticas de flujo, incluso cuando el incremento de costos de construcción de pendientes más pronunciadas suponga costos fijos mayores que el costo adicional de mantenimiento de los colectores si se hubiese construido con pendientes más pequeñas.

Los sistemas de alcantarillado pueden ser diseñados bajo dos criterios importantes:

- Criterio de la velocidad.
- Criterio de la fuerza tractiva.

### 5.3.6.1 CRITERIO DE VELOCIDAD

En el cálculo de los colectores de desagüe existen tres límites a considerar: La velocidad mínima para evitar la sedimentación, la velocidad máxima para reducir la erosión en las tuberías y la velocidad crítica para impedir la formación de mezclas de aire y líquidos.

**(a) *Velocidad Mínima.***

Las alcantarillas se proyectan con pendientes que aseguren una velocidad mínima de 0.6 m/s a tubo lleno.

Se ha establecido que la velocidad cerca del fondo del conducto es la más importante a efectos de la capacidad transportadora del agua que fluye, se ha podido comprobar que una velocidad media de 0.3 m/s es suficiente para evitar un depósito importante de sólidos.

**(b) *Velocidad máxima.***

La velocidad máxima se limita para reducir el daño por abrasión en las alcantarillas, fijado en 5 m/s.

Cuando una alcantarilla alcanza esta velocidad, es importante verificar la velocidad crítica.

**(c) *Velocidad crítica.***

La expresión que define la velocidad crítica es la siguiente:

$$V_c = 6 * \sqrt{g * Rh}$$

Donde:

$V_c$  = Velocidad crítica (m/s)

$g$  = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$Rh$  = Radio hidráulico (m)

Si la velocidad final alcanza los 5 m/s y se comprueba que es mayor a la velocidad crítica, podría provocar la ocurrencia de un resalto hidráulico en las aguas residuales. Como esa mezcla aire - líquido tiene un volumen superior al del líquido libre de aire, en la sección de escurrimiento, el tirante no deberá ser superior a 0.5 del diámetro (para interceptores y emisarios) y 0.75 del diámetro (para colectores primarios y secundarios).

### **5.3.6.2 CRITERIO DE LA FUERZA TRACTIVA**

La fuerza tractiva o tensión de arrastre (x) es el esfuerzo tangencial unitario ejercido por el líquido sobre el colector y en consecuencia sobre el material depositado.

La tendencia de los sólidos a sedimentarse cuando se encuentran formando parte de un medio sólidos - líquido, que presenta dos o más clases de materiales (y que conserven en el sistema sus características propias), es compensado por la acción de otros efectos que se hacen presentes sobre en cuerpo, destacándose, entre estos últimos, el empuje del líquido sobre el sólido, el arrastre hidrodinámico y la turbulencia, factores que fundamentalmente proporcionan al flujo su capacidad de arrastre.

La pendiente mínima del colector, puede ser calculada con el criterio de la fuerza tractiva, considerando que el transporte de sólidos no es proporcional a la velocidad de flujo, pero sí a la fuerza tractiva, y ésta a su vez es proporcional a la pendiente del conducto y al radio hidráulico, según la siguiente expresión:

$$\tau = \gamma * Rh * S$$

Donde:

$\tau$  = Fuerza tractiva (Kg/m<sup>2</sup>)

$\gamma$  = Peso específico del agua (Kg/m<sup>3</sup>)

$Rh$  = Radio hidráulico (m)

$S$  = Pendiente de la tubería (m/m)

**(a) Determinación de la Fuerza Tractiva Mínima**

La fuerza tractiva mínima del flujo debe superar la resistencia del sedimento al movimiento. Al respecto, se han realizado experiencias de campo y laboratorio. La experiencia realizada por SHIELDS5 para determinar la resistencia del sedimento, tiene la siguiente expresión:

$$\tau = f (\gamma_a - \gamma_w) d_{90-95\%}$$

Donde:

$\tau$  = Resistencia del Sedimento al Movimiento (Fuerza Tractiva)  
(Kg/m<sup>2</sup>)

$f$  = Constante = 0.04 - 0.8 (adimensional)

$\gamma_a$  = Peso específico del material de fondo (arena) (kg/m<sup>3</sup>)

$\gamma_w$  = Peso específico del agua (kg/m<sup>3</sup>)

$d_{90-95\%}$  = Diámetro en metros, del 90 al 95% de las partículas que deben ser transportadas (valor obtenido de la frecuencia de distribución de un análisis granulométrico del material de fondo (arena) que ingresa al sistema de alcantarillado. En el colector quedarían retenidas partículas de un diámetro mayor al porcentaje indicado).

$f$  es la constante (a dimensional) de la ecuación y fue determinada en laboratorio con modelos hidráulicos, su valor es de 0.04 para arena limpia hasta 0.8 para sedimentos de la arena pegajosa del fondo de los conductos.

### **5.3.7 PENDIENTES.**

#### **5.3.7.1 PENDIENTES MÍNIMAS Y MÁXIMAS**

Los límites de la velocidad mínima y máxima fijados para el funcionamiento óptimo de las alcantarillas, determinan pendientes mínimas y máximas, para diferentes diámetros de las tuberías de fabricación comercial.

Las pendientes máximas serán las que produzcan velocidades máximas no erosivas.

Las pendientes mínimas serán las que permitan obtener velocidades de arrastre de las partículas y sólidos en suspensión; en función a lo expuesto, se adoptara las pendientes límites que se detallan a continuación.

**Cuadro N° 18**  
**Pendientes permisibles de Diseño**

| Diametro<br>mm | Velocidad mínima |        | Velocidad máxima |         |
|----------------|------------------|--------|------------------|---------|
|                | Smin             | Q      | Smax             | Q       |
|                | %                | lt/s   | %                | lt/s    |
| 150            | 0.48             | 10.60  | 33.66            | 88.36   |
| 200            | 0.33             | 18.85  | 22.94            | 157.08  |
| 250            | 0.25             | 29.45  | 17.03            | 245.44  |
| 300            | 0.19             | 42.41  | 13.36            | 353.43  |
| 400            | 0.13             | 75.40  | 9.10             | 628.32  |
| 450            | 0.11             | 95.43  | 7.78             | 795.22  |
| 500            | 0.10             | 117.81 | 6.76             | 981.75  |
| 550            | 0.09             | 142.55 | 5.95             | 1187.91 |
| 600            | 0.08             | 169.65 | 5.30             | 1413.72 |
| 700            | 0.06             | 230.91 | 4.32             | 1924.23 |
| 800            | 0.05             | 301.59 | 3.61             | 2513.27 |
| 900            | 0.04             | 381.70 | 3.09             | 3180.86 |
| 1000           | 0.04             | 471.24 | 2.68             | 3926.99 |
| 1100           | 0.03             | 570.20 | 2.36             | 4751.66 |

Fuente: Diseño de Acueductos y Alcantarillados

### 5.3.8 TIRANTES DE AGUA.

#### 5.3.8.1 TIRANTE MINIMO

La experiencia ha demostrado y se recomienda que el tirante mínimo sea el 20 % del diámetro de la tubería, se acepta el 15 % del diámetro de la tubería, siempre y cuando la velocidad sea igual o mayor a 0,6 m/s, con lo cual se garantiza la auto limpieza.

#### 5.3.8.2 TIRANTE MAXIMO

Se considera el 75 % (del diámetro de la tubería) para el aprovechamiento con seguridad, dado que la capacidad máxima del conducto es cuando el calado de escurrimiento está alrededor del 93 %.

### 5.3.9 RED DE ALCANTARILLADO.

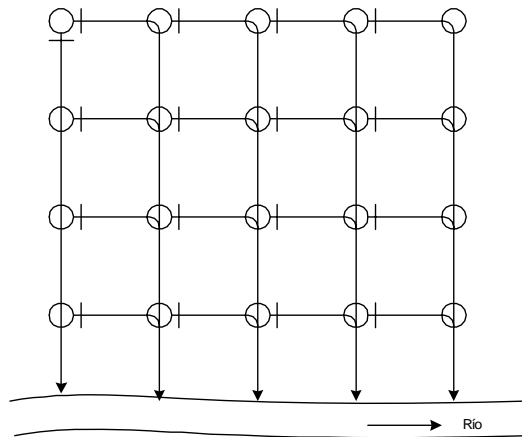
El sistema de colectores está diseñado de manera que la aguas provenientes de los diferentes colectores fluyan por gravedad hasta el punto de disposición final, utilizándose el criterio de sistema separado, es decir, los colectores se encuentran diseñados exclusivamente para aguas servidas y no así para aguas pluviales.

#### 5.3.9.1 CLASIFICACIÓN DE UNA RED DE ALCANTARILLADO

Se clasifican según la geometría de la red de colectores, y según el interceptor de las aguas residuales.

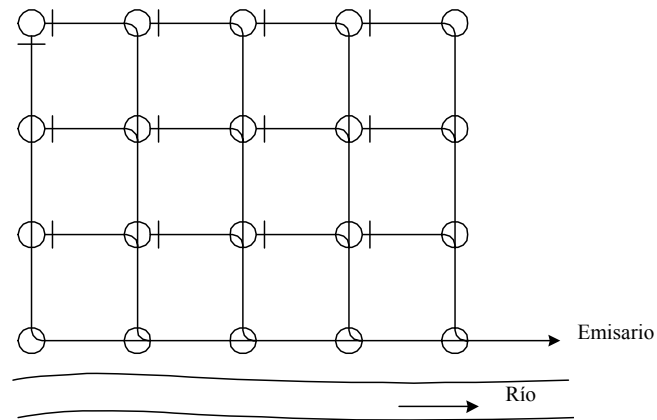
(a) *Sistema perpendicular sin interceptor*

**Figura N° 11**  
**Alcantarillado perpendicular sin interceptor**



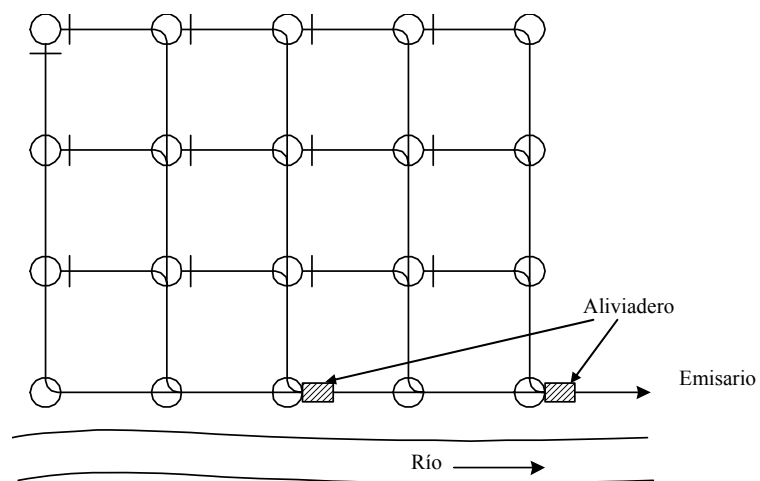
(b) *Sistema perpendicular con interceptor*

**Figura N° 12**  
**Alcantarillado perpendicular con interceptor**



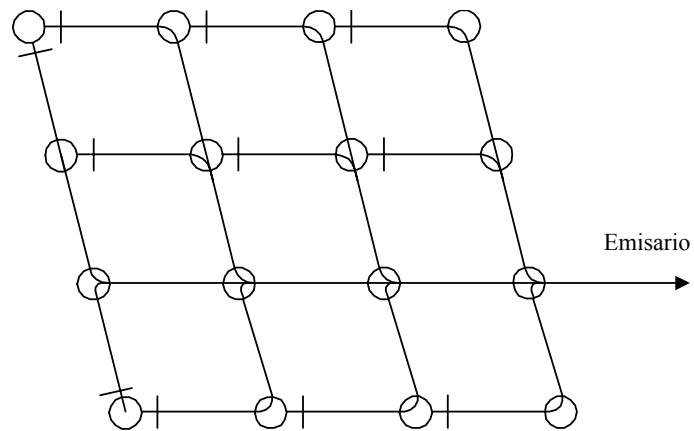
(c) *Sistema perpendicular con interceptor y aliviadero*

**Figura N° 12**  
**Alcantarillado perpendicular con interceptor y aliviadero**



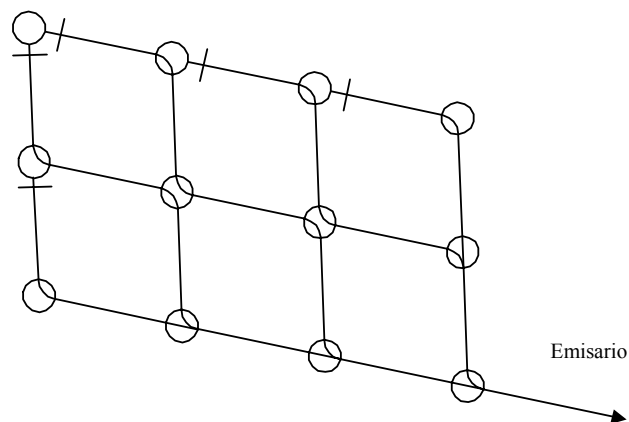
(d) *Sistema en abanico*

**Figura N° 13**  
**Alcantarillado en abanico**



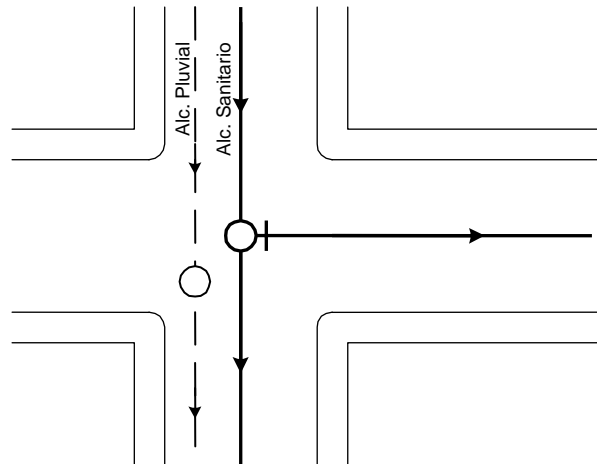
(e) *Sistema en bayoneta*

**Figura N° 14**  
**Sistema en bayoneta**



### 5.3.9.2 LOCALIZACIÓN DE LOS COLECTORES

**Figura N° 15**  
**Localización de los colectores**



### 5.3.9.3 PROFUNDIDAD EN LA INSTALACION.

#### (a) *Profundidad mínima*

La profundidad mínima está regida por dos factores que se mencionan a continuación:

El colchón mínimo para evitar rupturas de las tuberías ocasionadas por cargas vivas debe ser de 1.00 m, para diámetros iguales o menores a 450 mm. Para diámetros mayores, este colchón será determinado mediante cálculos de la seguridad estructural de la tubería.

Permitir la correcta conexión de las descargas domiciliarias al alcantarillado sanitario, en el entendido de que ese borde exterior tendrá como mínimo una pendiente geométrica de 1 % y que la cámara

de inspección interior más inmediata al parámetro del predio una profundidad mínima de 0.90 m.

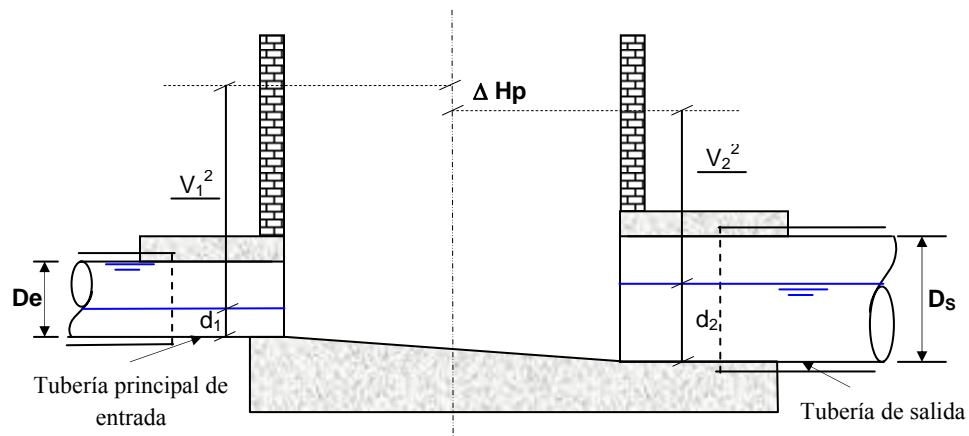
**(b) Profundidad Máxima.**

La profundidad máxima será aquella que no ofrezca dificultades constructivas mayores, de acuerdo con la cohesión del terreno en que quedará alojado el conducto y que no obligue al tendido de alcantarillas auxiliares. La profundidad máxima admisible, será de 5.0 m.

**5.3.9.4 CAMARA DE INSPECCION.**

Los pozos de visita o cámaras de inspección convencionales que forman parte de este sistema de alcantarillado, sirven de acceso a las alcantarillas para realizar las operaciones de limpieza; se han ubicado en forma óptima ya que son obras relativamente caras y se las ha intercalado con cámaras de inspección en tramos rectos y en los arranques. Para el caso de arranques de dos colectores o más, se ha definido cámaras de arranque convencionales.

**Figura N° 16**  
**Cámara de inspección**



La ubicación de las cámaras de inspección se definió en los puntos de intersección de las calles, cambios de dirección y cambios de diámetro; también se definió en la parte media de todo tramo recto cuya longitud sobrepasa los 150 m.

#### **5.3.9.5 TIPOS DE TUBERIA.**

La conducción y disposición de las aguas residuales, se propone realizar con tuberías de PVC, por ser el material más conveniente, además de cumplir adecuadamente con las cualidades mecánicas químicas y estáticas (se deberá instalar tuberías que cumplan con las normas detalladas en las especificaciones técnicas).

##### **(a) *Tuberías de Hormigón.***

Las características más importantes de las tuberías de hormigón son las siguientes:

Las de hormigón simple con tipo espiga y campana con junta hermética, la junta se efectúa uniéndolas con mortero rico en cemento y calafateándola, la segunda junta con anillos de goma, debiendo tener para ello un perfecto acabado; sin embargo, para su recepción deben efectuarse las pruebas de hermeticidad, como ser la prueba hidráulica principalmente.

- **Las ventajas de los tubos de hormigón son:**
- Economía, hermeticidad, diversidad en diámetros y durabilidad.
- **Las desventajas son:**
- Fragilidad especialmente durante el transporte, menor capacidad de conducción por tener coeficiente de rugosidad alto y corrosión especialmente si se encuentra en condiciones ácidas o alcalinas.

**(b) Tuberías de Policloruro de Vinilo (PVC).**

Las tuberías de PVC se fabrican en diámetros de 10 a 60 cm en dos tipos de series y cada serie en tres tipos de acuerdo a su diámetro y su espesor. Para cualquiera de los tipos de tubería la longitud es de 6 metros; los tubos se acoplan en dos sistemas de unión, por un lado el cementado con pegamento y por el otro el de unión espiga y campana con anillo integrado de fabrica, y las conexiones domiciliarias como las silletas de conexión de cualquier diámetro para conectar a 4".

- **Entre las ventajas de las tuberías de PVC se citan:**
- Hermeticidad, son permeables y herméticas, porque logran el acoplamiento de los tubos por el uso del material elastométrico.
- Trabajabilidad, ello se traduce por la factibilidad del manejo en el transporte e instalación.
- Durabilidad.
- Resistencia a la corrosión, por ser inmune a los tipos de corrosión que afectan a los otros tipos, como ser la química.
- Capacidad de conducción por la poca rugosidad, tiene alta eficiencia hidráulica.
- **Entre las desventajas, se pueden indicar:**
- La baja resistencia mecánica.
- Es susceptible al ataque de los roedores.

- Baja resistencia al intemperismo, porque la exposición prolongada de las tuberías a los rayos solares reduce la resistencia mecánica.

La profundidad mínima está regida por dos factores:

El colchón para evitar rupturas de tuberías ocasionadas por cargas vivas debe ser de 1.00 m para diámetros iguales o menores a 450 mm. Para diámetros mayores, en cambio, este colchón será determinado mediante cálculos de la seguridad estructural de la tubería.

#### **5.3.9.6 DIAMETROS MINIMOS.**

Los tamaños mínimos de las tuberías de las alcantarillas o colectores no están dictados por los requerimientos hidráulicos sino para evitar la obstrucción y facilitar la limpieza de las mismas.

El diámetro mínimo establecido por la Norma Boliviana es de 150 mm. (6") para alcantarillado sanitario y de 200 mm. (8") para alcantarillado pluvial.

#### **5.3.9.7 COEFICIENTE DE RUGOSIDAD**

En las alcantarillas el coeficiente de rugosidad debe considerarse constante cualquier sea el material empleado para su fabricación, cuando el agua fluya a más de la mitad de la sección y para los diámetros pequeños. Para fines prácticos el valor del coeficiente de rugosidad será de 0.010 (coeficiente de Manning) y 0.35 (coeficiente de Kutter).

## **VI. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

### **6.1 INTRODUCCIÓN**

La creciente importancia que tiene la conservación de los recursos naturales ha despertado en el hombre, la búsqueda de métodos para cuidarlos y recuperarlos, para que puedan ser aprovechados por los seres vivos; de aquí que uno de los recursos de vital importancia para el hombre, como es el agua, sea objeto de estudio.

Las aguas residuales son aquellas vertientes provenientes de procesos post-industriales; es decir, aquellas aguas que han sido utilizadas en los diferentes sistemas de fabricación, producción o manejo industrial y que para ser desechadas necesitan ser tratadas previamente, de manera tal que puedan ser adecuadas para su ubicación en las respectivas redes de vertido, depuradoras o sistemas naturales, tales como lagos, ríos, embalses, etc.

Las impurezas se encuentran en el agua como materia en suspensión, como material coloidal, o como materia en solución; mientras que la materia en suspensión siempre se separa por medio mecánico, con intervención o no de la gravedad, la materia coloidal requiere un tratamiento fisicoquímico preliminar y la materia en solución puede tratarse en el propio estado molecular o iónico o precipitarse y separarse utilizando procesos semejantes a los empleados para la separación de los sólidos inicialmente en suspensión. A esto es lo que se denomina tratamiento de las aguas.

Cuando se habla de la aplicación de procesos biológicos, se hace referencia casi exclusiva a los tratamientos de aguas residuales, donde se busca como objetivo principal eliminar los componentes definidos como contaminantes, molestos o con efectos nocivos para el medio ambiente, de manera tal que se pueda ajustar el agua residual a la calidad de agua vertida a las especificaciones legales existentes. De esta manera, la mejor forma de tratar las aguas residuales dependerá de una serie de

factores característicos, tales como; el caudal, la composición, las concentraciones, la calidad requerida o esperada del efluente, las posibilidades de reutilización de la misma, las posibilidades de vertido a depuradoras municipales, tasas de vertido, etc.

## **6.2 DEFINICION**

El tratamiento de aguas residuales, es un proceso de separación y estabilización de materia orgánica y desinfección, haciendo que los sólidos orgánicos complejos putrescibles queden convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos estables. El grado de tratamiento depende del proceso de tecnologías empleadas. Una vez completado el proceso de tratamiento, es aún necesario disponer los líquidos y los sólidos que se hayan generado.

## **6.3 AGUAS RESIDUALES**

El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental de cara al proyecto y explotación de las infraestructuras tanto de recogida como de tratamiento y evacuación de las aguas residuales, así como para la gestión de la calidad del medio ambiental.

### **6.3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA RESIDUAL.**

A continuación, se describen brevemente los constituyentes físicos, químicos y biológicos de las aguas residuales, los contaminantes importantes y métodos de análisis

### 6.3.2 CONSTITUYENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica. La tabla 1 muestra las principales propiedades físicas del agua residual, así como sus principales constituyentes químicos y biológicos y su procedencia.

**Cuadro N° 19**  
**Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus**  
**Procedencias**

| <b>Característica</b>            | <b>Procedencia</b>   |
|----------------------------------|--|
| <b>Propiedades Físicas:</b>      |  |
| Color                            | Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de materia orgánica.                                       |
| Olor                             | Agua residual en descomposición, residuos industriales.  |
| Sólidos                          | Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas |
| Temperatura                      | Aguas residuales domésticas e industriales   |
| <b>Constituyentes Químicos:</b>  |  |
| <b>Orgánicos:</b>                |  |
| Carbohidratos                    | Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales  |
| Grasas animales, aceites y grasa | Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales  |
| Pesticidas                       | Residuos agrícolas   |
| Fenoles                          | Vertidos industriales  |
| Proteínas                        | Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales  |
| Contaminantes prioritarios       | Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales  |
| Agentes tensoactivos             | Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales  |
| Compuestos orgánicos volátiles   | Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales  |
| Otros                            | Degradación natural de materia orgánica  |
| <b>Inorgánicos:</b>              |  |
| Alcalinidad                      | Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea  |
| Cloruros                         | Aguas residuales domésticas, agua de infiltración de agua subterránea  |
| Metales pesados                  | Vertidos industriales  |
| Nitrógeno                        | Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas   |
| pH                               | Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales  |
| Fósforo                          | Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de escorrentía  |

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| Azufre                            | Aguas de suministro; aguas residuales domésticas, comerciales e industriales          |
| <b>Gases:</b>                     |   |
| Sulfuro de hidrógeno              | Descomposición de residuos domésticos   |
| Metano                            | Descomposición de residuos domésticos   |
| Oxígeno                           | Agua de suministro; infiltración de agua superficial                                  |
| <b>Constituyentes biológicos:</b> |   |
| Animales                          | Cursos de agua y plantas de tratamiento   |
| Plantas                           | Cursos de agua y plantas de tratamiento   |
| <b>Protistas:</b>                 |   |
| Eubacterias                       | Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento |
| Arqueobacterias                   | Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento |
| Virus                             | Aguas residuales domésticas   |

### 6.3.2.1 CONTAMINANTES DE IMPORTANCIA EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL.

En el cuadro N° 20 se describen los contaminantes de interés en el tratamiento del agua residual. Las normas que regulan los tratamientos secundarios están basadas en las tasas de eliminación de la materia orgánica, sólidos en suspensión y patógenos presentes en el agua residual. Cuando se pretende reutilizar el agua residual, las exigencias normativas incluyen también la eliminación de compuestos orgánicos refractarios, metales pesados y en algunos casos, sólidos inorgánicos disueltos.

**Cuadro N° 20**  
**Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual**

| Contaminantes                  | Razón de la importancia   |
|--------------------------------|---|
| Sólidos en suspensión          | Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático  |
| Materia orgánica biodegradable | Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales, la materia orgánica biodegradable se mide, en la mayoría de las ocasiones, en función de la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y la DQO (demanda química de oxígeno). Si se descargan al entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas |
| Patógenos                      | Pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual  |

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Nutrientes                    | Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, también pueden provocar la contaminación del agua subterránea |
| Contaminantes prioritarios    | Son compuestos orgánicos o inorgánicos determinados en base a su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad aguda conocida o sospechada. Muchos de estos compuestos se hallan presentes en el agua residual   |
| Materia orgánica refractaria  | Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes tensoactivos, los fenoles y los pesticidas agrícolas  |
| Metales pesados               | Los metales pesados son, frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual  |
| Sólidos inorgánicos disueltos | Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso del agua, y es posible que se deban eliminar si se va a reutilizar el agua residual   |

### 6.3.2.2 OLORES

Normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más tolerable que el del agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es debido a la presencia del sulfuro de hidrógeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios. Las aguas residuales industriales pueden contener compuestos olorosos en sí mismos, o compuestos con tendencia a producir olores durante los diferentes procesos de tratamiento.

La problemática de los olores está considerada como la principal causa de rechazo a la implantación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales.

**Cuadro N° 21**  
**Localizaciones en sistemas de tratamiento de aguas residuales donde se pueden generar problemas de olores**

| <b>Agente generador de olores<br/>Instalación</b> | <b>Aguas<br/>residuales</b> | <b>Arenas</b> | <b>Material<br/>cernido</b> | <b>Espumas</b> | <b>Lodos</b> | <b>Desechos<br/>orgánicos<br/>sobre la<br/>superficie</b> | <b>Areas de<br/>corto<br/>circuito</b> |
|---|-----------------------------|---------------|-----------------------------|----------------|--------------|---|--|
| Alcantarillados                                   | <b>X</b>                    |               |                             |                |              |   |  |
| Estaciones de bombeo                              | <b>X</b>                    |               |                             | <b>X</b>       |              | <b>X</b>  | <b>X</b>                               |
| Desarenadores                                     | <b>X</b>                    | <b>X</b>      |                             | <b>X</b>       | <b>X</b>     | <b>X</b>  |  |
| Rejillas  | <b>X</b>                    |               | <b>X</b>                    |                |              | <b>X</b>  |  |
| Manejo de arenas, grasas y material cernido       | <b>X</b>                    | <b>X</b>      | <b>X</b>                    | <b>X</b>       | <b>X</b>     | <b>X</b>  |  |
| Tanques de homogeneización                        | <b>X</b>                    |               |                             | <b>X</b>       | <b>X</b>     | <b>X</b>  |  |
| Tanques de sedimentación primaria                 | <b>X</b>                    |               |                             | <b>X</b>       | <b>X</b>     | <b>X</b>  | <b>X</b>                               |
| Adición química                                   |                             |               |                             |                |              |   |  |
| Tanques de aireación                              | <b>X</b>                    |               |                             |                |              |   | <b>X</b>                               |
| Filtros percoladores                              | <b>X</b>                    |               |                             | <b>X</b>       |              | <b>X</b>  | <b>X</b>                               |
| Lagunas   | <b>X</b>                    |               |                             | <b>X</b>       |              | <b>X</b>  |  |
| Biodiscos   | <b>X</b>                    |               |                             |                |              | <b>X</b>  |  |
| Tanques de sedimentación final                    | <b>X</b>                    |               |                             | <b>X</b>       | <b>X</b>     | <b>X</b>  | <b>X</b>                               |
| Filtros de medio granular                         | <b>X</b>                    |               |                             |                |              | <b>X</b>  |  |
| Bombeo de lodos                                   |                             |               |                             |                | <b>X</b>     | <b>X</b>  |  |
| Espesamiento de lodos                             |                             |               |                             | <b>X</b>       | <b>X</b>     | <b>X</b>  |  |
| Almacenamiento de lodos                           |                             |               |                             | <b>X</b>       | <b>X</b>     | <b>X</b>  |  |
| Acondicionamiento de lodos                        |                             |               |                             | <b>X</b>       | <b>X</b>     | <b>X</b>  |  |
| Secado de lodos                                   | <b>X</b>                    |               |                             | <b>X</b>       | <b>X</b>     | <b>X</b>  |  |
| Digestión de lodos                                |                             |               |                             |                | <b>X</b>     | <b>X</b>  |  |
| Canales para drenaje                              | <b>X</b>                    |               |                             | <b>X</b>       |              | <b>X</b>  | <b>X</b>                               |
| Tanques de contacto químico                       |                             |               |                             |                |              | <b>X</b>  | <b>X</b>                               |
| Incineración de lodos                             |                             |               |                             |                | <b>X</b>     | <b>X</b>  |  |
| Compostaje de lodos                               |                             |               |                             |                | <b>X</b>     | <b>X</b>  |  |

**Cuadro N° 22**  
**Parámetros que deben ser regulados para que no contribuyan a los problemas de olores en sistemas de tratamiento de aguas residuales**

| Parámetros         | Problema   |
|--------------------|--|
| Limitaciones de pH | A pHs por debajo de 8.0, el sulfuro cambia a sulfuro de hidrógeno gaseoso.   |
| Temperatura        | Altas temperaturas incrementan la acción microbial de bacterias anaerobias. Altas temperaturas incrementan la liberación de componentes orgánicos volátiles del líquido a la fase gaseosa. |
| Descargas tóxicas  | Inhibe o mata microorganismos involucrados en sistemas de tratamiento biológico.   |
| Aceites y grasas   | Se pueden degradar anaerobiamente.   |
| Descargas químicas | Gases olorosos.  |

Además se deben tener en cuenta los siguientes aspectos de operación y mantenimiento para prevenir la generación de sulfuro de hidrógeno:

- Suministro de la suficiente turbulencia para prevenir la deposición de sólidos y para asegurar una mezcla completa (excesiva turbulencia liberará olores siempre generados pero que se mantienen en la fase líquida).
- Mantener al menos 1 mg/L de oxígeno disuelto.
- Mantener los lodos sedimentados frescos a través de unas tasas de retorno adecuadas.
- Asegurar unos tiempos de retención hidráulica y de sólidos apropiados en todos los tanques.
- Desarrollar un programa agresivo de pre tratamiento industrial.

## 6.4 PRINCIPIO DE DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Hay factores que afectan el dimensionamiento y diseño de una planta de tratamiento.

- El volumen de las aguas a ser tratado.
- La fuerza de las aguas residuales.
- La calidad que se tenga del efluente final del sistema (planta de tratamiento).
- El clima.

Antes de diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales, primero se debe establecer los valores para los tres primeros factores.

**El volumen** de aguas residuales dependerá, en primer lugar, de la población estimada para la zona a ser servida al final del periodo de diseño del sistema, ( que se asume usualmente entre veinte y treinta años) y en segundo lugar, se tiene la cantidad de agua que se espera consuma cada persona, se deben tomar en cuenta las mejoras en el sistema de abastecimiento de agua potable, la ampliación futura del sistema de alcantarillado y el mejoramiento en la calidad de vida, pues significa un mayor consumo de agua.

**La fuerza** de las aguas residuales depende del contenido de materia orgánica, y se mide a través de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), esto es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia orgánica contenida en las aguas residuales y usualmente se mide en miligramos por litro (mg/l).

Para estimar la fuerza de las aguas residuales que van a ser tratadas, se debe considerar la cantidad total de DBO, que contribuye cada persona de la población servida. Esto varía de acuerdo con la dieta y con la cantidad de desperdicios de

alimentos dispuestos a través del sistema de alcantarillado; pero en la mayoría de los países tropicales será de aproximadamente de 40 gr./ habitante por día. Para nuestro medio tenemos los datos generados por la Cooperativa de Agua y Alcantarillado de Tarija (COSAALT), que se indican en la tabla 12, los valores de DBO 45 gr./ habitante por día, se asume los datos por la similitud en la forma de vida que tiene la Localidad de El Puente con la ciudad de Tarija, ya que son los más representativos y cercanos a nuestro medio. La fuerza de las aguas residuales será la DBO total por persona, dividida entre el consumo de agua por persona.

**Cuadro N° 23**  
**Características de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Tarija**

| PARAMETRO           | MEDICION |        |       |            |
|---------------------|----------|--------|-------|------------|
|                     | mg/l     | gr/m3  | kg/m3 | gr/hab/dia |
| DBO                 | 208.00   | 208.00 | 0.28  | 45         |
| DQO                 | 640.00   | 640.00 | 0.64  |            |
| Sólidos totales     | 874.00   | 874.00 | 0.87  |            |
| Sólidos suspendidos | 250.00   | 250.00 | 0.25  |            |

**Fuente:** COSAALT (Cooperativa de agua y alcantarillado de Tarija)

Algunas veces los afluentes industriales pueden ser considerados como la cantidad de desechos con que contribuyen una cantidad determinada de personas; pero es más frecuente considerar simplemente el aporte total de DBO de cada fuente de descarga industrial.

Muchos afluentes suelen ser muy fuertes o difíciles de tratar y necesitan algún pretratamiento antes de su descarga al sistema de alcantarillado.

El tercer factor, **la calidad** del efluente final de la planta de tratamiento, dependerá del uso a que se destine el efluente o de la forma en que se hará su disposición final. Para medir la calidad de los efluentes se usan tres criterios: La DBO que se usa como una medida del contenido de materia orgánica, los sólidos suspendidos (SS) que es una medida de la cantidad de material sólido suspendido y la calidad bacteriana que

usualmente se expresa con el número de bacterias coliformes fecales (CF) por 100 ml de efluente. En los países tropicales, la cantidad de sólidos suspendidos usualmente no es importante si el efluente se descarga a un cuerpo de agua, porque los sólidos suspendidos son principalmente algas y los ríos ya de por sí contienen altas concentraciones de algas.

Sin embargo, si el efluente se usa para irrigación por goteo, el contenido de sólidos suspendidos será importante. En el cuadro N° 24, se indican los valores sugeridos de DBO y CF para diferentes usos finales del afluente.

**Cuadro N° 24**  
**Niveles o calidades de efluentes sugeridos para irrigación y vertimiento.**

| Nuevo Uso  | DBO<br>mg/l | Coliformes Fecales<br>N°/100 ml. |
|--|-------------|----------------------------------|
| Irrigación de árboles, algodón y otras cosechas no comestibles                       | 60          | 50.000                           |
| Irrigación de árboles frutales de cítricos, forrajes y nueces                        | 45          | 10.000                           |
| Irrigación de árboles frutales, caña de azúcar, verduras cosidas y campos deportivos | 35          | 1.000                            |
| Descarga a cuerpos de agua   | 25          | 5.000                            |
| Irrigación no restringida, incluyendo parque y jardines                              | 25          | 100                              |

## **6.5 CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.**

Los criterios que hay que tomar en consideración en el tratamiento de aguas residuales, incluyen la caracterización de los siguientes elementos.

- La cantidad de sólidos orgánicos e inorgánicos que tiene las aguas servidas.
- El tamaño y las características de la población.

- Grado de tratamiento.
- La conservación de fuentes de abastecimiento de agua para uso doméstico.
- La prevención de enfermedades, el mantenimiento de aguas limpias que se usan para la supervivencia de otros organismos.

Los métodos usados para el tratamiento de las aguas residuales, pueden ser:

- Tratamiento preliminar.
- Tratamiento primario.
- Tratamiento secundario.
- Cloración o desinfección.
- Tratamiento de lodos.

**(a) *El Preliminar***

Consiste en la separación de los elementos sólidos (suspendidos como ser trapos, plásticos maderas, etc.), los inorgánicos pesados y grasas. Para alcanzar ello, son necesarios los siguientes tratamientos.

- El tamizado, por medio de rejillas o barras.
- Los desarenadores.

**(b) *El Primario***

Que consigue separar la mayoría de los sólidos sedimentables mediante:

- Tanques sépticos.
- Tanques de doble acción como son los Imhoff y otros similares.
- Tanques de sedimentación simple.
- Tanques de flujo ascendente como el eliminador de lodos.
- Tratamientos primarios avanzados.

(c) *El Secundario*

Debe hacerse cuando las aguas residuales todavía tienen efluentes que no han alcanzado la calidad deseada y que no puedan ser asimilados por los cuerpos receptores, ellos son:

- Filtros percoladores.
- Tanques de sedimentación secundaria.
- Estanques o lagunas de estabilización.

Los siguientes cuadros dan idea de la eficiencia de los procesos y sistemas de tratamiento:

**Cuadro N° 25**  
**Eficiencia de remoción en tipos de tratamiento**

| <b>Tipo de tratamiento</b> | <b>DBO %</b> | <b>Sólidos en susp. %</b> | <b>Nutrientes %</b> | <b>Bacterias %</b> |
|----------------------------|--------------|---------------------------|---------------------|--------------------|
| Preliminar                 | 5-10         | 5-20                      | No puede            | 10-20              |
| Primario                   | 25-50        | 40-70                     | No puede            | 25-75              |
| Secundario                 | 80-95        | 65-95                     | Puede               | 70-99              |

Fuente: CETESB.-Brasil

**Cuadro N° 26**  
**Eficiencia de remoción en sistemas de tratamiento**

| <b>Sistema de tratamiento</b>      | <b>Eficiencia remoción DBO %</b> |
|------------------------------------|----------------------------------|
| Cámara séptica                     | 30 a 50                          |
| Cámara séptica + filtro anaeróbico | 75 a 95                          |
| Laguna anaeróbica                  | 50-70                            |
| Laguna facultativa                 | 70-90                            |
| Laguna aereada                     | 90                               |
| Tanque Imhoff                      | 60*                              |
| Reactor de flujo ascendente        | 70-90                            |

**Fuente:** CETESB.- Brasil y Consejo Federal de Agua Potable y Saneamiento 1993 Argentina

**Cuadro N° 27**  
**Ventajas y desventajas de los tratamientos primarios y secundarios**

| <b>Sistema</b>     | <b>Ventajas</b>  | <b>Desventajas</b>                   |
|--------------------|--|--------------------------------------|
| Cámara séptica     | Bajo costo, menor O. M                                     | Bajo rendimiento                     |
| Tanque Himhoff     | Costo mayor  | Es para temp. mayores a 15°          |
| Reactor RAFA       | Costo mayor  | Es para temperaturas mayores a 20°   |
| Laguna. Anaeróbica | Bajo costo   | Es para temp. mayores a 15°          |
| Laguna facultativa | Bajo costo se adapta a temperaturas moderadas como ser 10° | El costo del terreno cuando es caro. |

## **6.5.1 TRATAMIENTOS PRELIMINARES.**

### **6.5.1.1 REJAS**

Las rejas son un sistema de barras metálicas intercaladas en el flujo afluente, destinadas a interceptar los sólidos gruesos arrastrados por el sistema colector, para evitar que se dañen equipos e interfieran el funcionamiento de las unidades de tratamiento. Se proyectará un sistema manual de rejas en el ingreso a sistemas de tratamiento. Se eliminarán las rejas para lagunas primarias no aereadas.

Todas las plantas de tratamiento contarán con un sistema de rejas metálicas, intercaladas en el flujo afluente, destinadas a interceptar los sólidos gruesos arrastrados, para evitar dañen los equipos que intervienen en el funcionamiento de las unidades de tratamiento.

Las rejas serán metálicas de sección rectangular constituidas por un conjunto de barrotes separados por una distancia uniforme.

Las rejas por su abertura son:

- Finas de 10 a 25 mm
- Gruesas de 40 a 100 mm

Por su forma:

- Rectas.
- Curvas.

Por limpieza, operación y mantenimiento:

Las rejas se clasifican en manuales y motorizadas o mecánicas

Las rejas se instalarán:

- Después de la desembocadura de la cloaca máxima.
- Cuando sea una única etapa, serán finas.
- Las rejas de limpieza manual podrán construirse con aberturas de 10 a 20mm
- En todos los casos se preverá la limpieza manual.
- Si son equipos de limpieza mecánica deberán estar precedidos de un desarenador.

- Todos los sistemas con rejas finas serán por lo menos dos unidades idénticas, para el caudal máximo y un by pass que permita evacuar los caudales excedentes y sea posible el mantenimiento.
- Cada unidad de reja estará calculada para el caudal máximo previsto del último periodo de diseño.

Definición de parámetros:

$h_a$ : Calado de ingreso.

$h_s$ : Calado de salida.

$J_r$ : Pérdida de carga para reja limpia.

$e$ : Espesor barra.

$s$ : Separación de barras.

$b_a$ : Ancho bruto.

$E$ : Relación de áreas

- **Relación de Espacios Vacíos**

$$E = \frac{s}{s + e} = \frac{A_p}{A_a}$$

$$A_a = h_a * b_a$$

$$A_p = E * A_a$$

Siendo:

$A_a$  = área de aproximación

$A_p$  = área de pasaje a través de la reja

- **Diseño:**

Para determinar las pérdidas de carga por la reja se aplica la siguiente fórmula:

$$J_r = 1.43 * \frac{(V_p^2 - V_a^2)}{2g}$$

Siendo:

$V_a$  = velocidad antes del ingreso o de aproximación

$V_p$  = velocidad de pasaje por la reja

$J_r$  = la pérdida de carga por rejilla

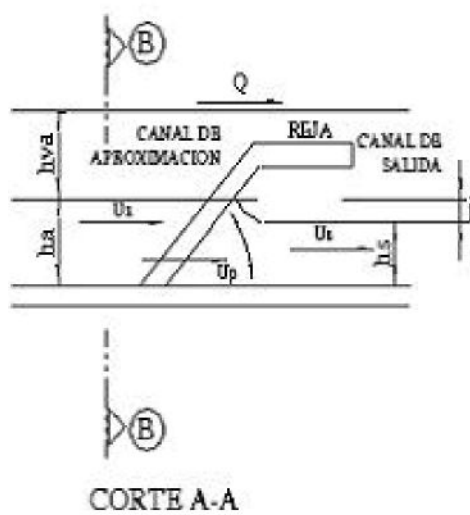
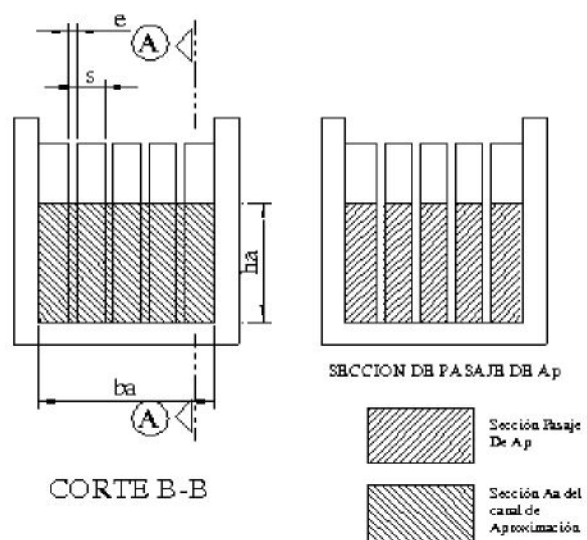
En consecuencia: El calado de ingreso, será:

$$h_a = h_s + J_r$$

Se destaca que la velocidad de aproximación no debe ser menor que 0.4 m/s y la velocidad de pasaje para el caudal máximo ser de 1.20 m/s con reja limpia y mínimo igual o menor que 0.55 m/s. para caudal mínimo.

Siendo:  $h_{va}$  altura de velocidad;  $h_a$ : calado de ingreso;  $V_a$ : Velocidad de aproximación;  $V_p$  velocidad de pasaje por las rejillas,  $h_s$  tirante del canal de salida,  $J_r$  pérdida de carga por reja.

Figura N° 17  
Esquemas teóricos para el dimensionamiento de Rejas



### 6.5.1.2 DESARENADORES

Se trata de unidades destinadas a retener partículas abrasivas, tales como gravas y arenas, que podrían favorecer el desgaste de equipos y acúmulos que perjudiquen las unidades de tratamiento.

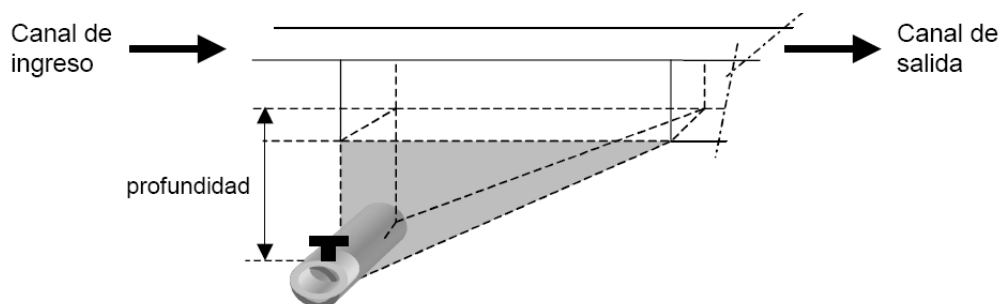
Es obligatoria la instalación de desarenadores en todas las plantas de tratamiento, salvo cuando se trate de lagunas de estabilización, en las que se prevea un volumen excavado adicional en la zona de entrada.

La ubicación de los desarenadores responderá a las siguientes pautas:

- Antes de las rejillas finas de limpieza.
- Antes de las bombas centrífugas de elevación.
- Arriba de los desarenadores se ubicaran rejillas gruesas hasta de 100 mm de separación entre barras.

Preferentemente se instalarán dos desarenadores, solamente se aceptará una sola unidad desarenadora, cuando ésta sea de limpieza manual y que dicha operación no requiera de un by pass.

**Figura N° 18**  
**Esquemas teóricos para el Desarenador**



La limpieza de fondo se dimensionará para una velocidad de 1 m/s.

- **Diseño Hidráulico.**

Las partículas a remover serán de peso específico de 2.65 t/m<sup>3</sup> o más y un diámetro de 0.2 mm o mayor.

El área de la planta se determinará en base a la carga superficial **U<sub>o</sub>** que será para una retención del 90%.

Siendo las cargas a utilizar las siguientes:

**Cuadro N° 28**  
**Cargas superficiales de diseño para desarenadores**

| d=0.2[mm]                               | δ=2.65 [t/m <sup>3</sup> Retención = 90%   |        |        |
|---|--|--------|--------|
| Temperatura Media-Mínima del líquido °C | Carga Superficial de Diseño U <sub>o</sub> para Q <sub>máx</sub> [m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> *día)] |        |        |
|   | Mínima   | Típica | Máxima |
| 5                                       | 720  | 920    | 1380   |
| 10                                      | 810  | 1035   | 1553   |
| 15                                      | 897  | 1146   | 1719   |
| 20                                      | 985  | 1258   | 1888   |

**Siendo:** δ peso específico de la arena-

**Fuente:** Normas Argentinas para poblaciones menores a 30.000 hab.

Las relaciones longitud ancho estarán comprendidas de 7 a 15.

A la carga superficial de diseño **U<sub>o</sub>** se le afectará con **F<sub>d</sub>** para las condiciones indicadas en la tabla 5.4., sea:

$$U_{so} = \frac{U_s}{F_d}$$

Los valores F<sub>d</sub> para una retención del 90% son:

**Cuadro N° 29**  
**Comportamiento hidráulico del desarenador**

| Comportamiento hidráulico del desarenador |  | F <sub>d</sub> |
|---|--|----------------|
| Bueno.                                    | Relación longitud/ancho mayor de 15: Prácticamente sin cortocircuitos, buen funcionamiento en las zonas de entrada y salida. | 1.2            |
| Medio.                                    | Relación longitud/ancho entre 7 y 15   | 1.8            |
| Malo.                                     | Relación longitud/ancho menor de 7. funcionamiento deficiente de las zonas de entrada y salida. Cortocircuitos.              | 2.3*           |

\*Para unidades existentes a remodelar:

**Fuente:** Normas Argentinas para poblaciones menores a 30.000 hab.

Cuando se utilicen desarenadores de velocidad no regulada, la velocidad horizontal no deberá ser inferior a 0.20 [m/s] para el caudal medio ni superior a 0.35 [m/s] para el 80% del caudal máximo horario final ( $0.8 \cdot Q_{\text{máx}}$ ), salvo que las características particulares de la unidad hagan recomendables otros valores, los que deberán ser presentados por el proyectista con su correspondiente justificación.

La velocidad horizontal del líquido residual en desarenadores regulados será de alrededor de 0.30 [m/s]  $\pm 15\%$  para todo el rango de caudales en que operará la unidad. Las velocidades horizontales adoptadas son del orden de los 30 cm/seg. (Entre 20 y 40 cm/seg.) Y los periodos de retención del orden de los 30 a 120 segundos.

El volumen previsto en el desarenador para el almacenamiento de sólidos sedimentados, tendrá capacidad para almacenar los sólidos depositados durante no menos de 15 días al caudal medio de la planta, utilizando para el cálculo los volúmenes de sólidos retenidos que figuran en la siguiente tabla:

**Cuadro N° 30**  
**Volúmenes de sólidos retenidos**  
**en desarenadores a utilizar en el diseño**

| Características de la red de alcantarillado |                      | Volúmenes retenidos [lt/(1000m <sup>3</sup> )] |
|---|----------------------|--|
| Más del 60%                                 | por calles de tierra | 75   |
| Del 30% al 60%                              | por calles de tierra | 50   |
| Menos del 30%                               | por calles de tierra | 30   |

**Fuente:** Normas Argentinas para poblaciones menores a 30.000 hab.

## 6.5.2 TRATAMIENTO PRIMARIO

En este tratamiento se separan o eliminan la mayoría de los sólidos suspendidos mediante procesos físicos.

### 6.5.2.1 TRATAMIENTO ANAERÓBICO

El tratamiento anaerobio es una tecnología relativamente nueva que ofrece muchas posibilidades:

- Lograr una protección efectiva del medio ambiente a bajo costo.
- Para países en desarrollo se hace accesible (importación no costosa de equipos).
- Para recuperar preservar recursos y estimular la producción agrícola.

Tres rangos definidos de temperatura pueden ser distinguidos en el tratamiento anaerobio:

- Una digestión fría (psicrofílica), entre los 0 °C y 20 °C.
- Una digestión mesofílica, entre 20 °C y 42 °C.
- Una termofílica, por encima de los 42 °C hasta los 75 °C.

Los límites de los rangos están definidos por la temperatura a la cual la velocidad de decaimiento de la bacteria empieza a exceder la velocidad de crecimiento. Si se tiene un agua residual normal, el tratamiento termofílico podría consumir demasiada energía y el psicrófilico podría consumir mucho espacio.

El tratamiento anaerobio necesita integración y un plan de tratamiento global, porque para lograr una completa remoción y recuperación – reuso de los constituyentes del agua residual, también otros sistemas de tratamiento (por ejemplo aerobios o físico – químicos) son requeridos.

Un sistema de tratamiento anaerobio tenderá a desarrollar una población bacteriana compatible con la naturaleza del material orgánico y de las cargas hidráulicas y orgánicas. En un sistema de tratamiento “maduro” (que tiene una población compatible con el material orgánico del afluente) son importantes para la eficiencia de remoción del material orgánico biodegradable los siguientes factores:

- La naturaleza del material orgánico a ser digerido.
- La existencia de factores ambientales adecuados para la digestión anaerobia.
- Tamaño de la población bacteriana (eficiencia de remoción de lodo en el sistema).
- Intensidad de contacto entre el material orgánico afluente y la población bacteriana.
- Tiempo de permanencia del agua residual en el sistema.

#### **6.5.2.2 CONCEPTOS BÁSICOS DEL TRATAMIENTO ANAERÓBICO**

El tratamiento anaeróbico se refiere a la remoción de materia orgánica del agua residual sin la inyección de aire. El metabolismo de las bacterias anaeróbicas es muy

lento por lo que se necesitan mayores tiempos de residencia del agua residual a tratar en un proceso anaeróbico que en uno aeróbico, lo que se traduce en una baja tasa de crecimiento celular. Ello implica que sólo una pequeña fracción del residuo orgánico biodegradable es transformada en nuevas células, la mayor parte es convertida en metano, un gas combustible, lo que lo convierte en un producto final útil. Esto significa que se tiene una menor acumulación de lodo producido por el proceso de digestión anaeróbica.

La conversión anaeróbica de materia orgánica hasta productos finales inofensivos es compleja, resulta de un gran número de reacciones interdependientes y simultáneas. El proceso de digestión puede ser clasificado en cuatro etapas principales íntimamente relacionadas: **Hidrólisis, Acidogénesis, Acetogénesis y Metanogénesis.**

La bacteria fermentadora realiza las dos primeras etapas de degradación de la materia orgánica (hidrólisis y acidogénesis). Un segundo grupo de bacterias, acetogénicas, sintetiza los productos de la acidogénesis, dando lugar principalmente al acetato entre otros compuestos como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ . La bacteria metanogénica convierte este acetato y el  $\text{H}_2$  en metano consumiendo  $\text{CO}_2$  para ello. Ésta también transforma otros compuestos como metanol, formato, monóxido de carbono y metilaminas, que son de menor importancia en la mayoría de los procesos de digestión anaeróbica. Únicamente las bacterias acetogénicas y metanogénicas son estrictamente anaeróbicas, las hidrolíticas y acidogénicas se componen de bacterias facultativas y anaerobias. Las bacterias facultativas son aquellas que pueden vivir tanto en la presencia de oxígeno como en su ausencia.

### **6.5.2.3 TECNOLOGIA ANAEROBICA APROPIADA**

Se puede efectuar una comparación técnica general entre el tratamiento anaeróbico con respecto a la modalidad aeróbica, de la siguiente forma:

- Como la estabilización anaeróbica proporciona a las células poca energía, su crecimiento es relativamente bajo. De esta forma la producción de lodos es mucho menor que en el caso aeróbico, con mayor sencillez en su operación y mantenimiento.
- Los requerimientos de nutrientes en el proceso anaeróbico son mucho menores que en el aeróbico, permitiéndose una mayor cobertura de aplicabilidad práctica de estos sistemas sobre el segundo.
- Como no es necesaria la aeración, los costos operativos son mucho menores así como los de mantenimiento.
- El gas metano producido en condiciones de equilibrio del proceso puede ser reutilizado como fuente energética. Es aquí donde surge el concepto de "biodigestores para aprovechamiento energético".
- Una desventaja del sistema anaeróbico, derivado de la sensibilidad del equilibrio acidogénico - metanogénico, estriba en la producción potencial de malos olores, especialmente en épocas de cambios bruscos de clima. Esta desventaja puede controlarse, con diseño adecuado de sistemas de cerramiento de tanques, control operacional del pH, y ubicación adecuada de la estación depuradora con respecto a núcleos poblacionales.
- Otra desventaja comparativa con relación al proceso aeróbico consiste en su menor eficiencia sanitaria (en términos de remoción de DBO, DQO, por ejemplo), situación que obliga a veces a combinar el tratamiento con procesos aeróbicos en serie, para alcanzar los límites de vertido establecidos por las normas de calidad. En estos casos específicos, el proceso anaeróbico permite reducir sensiblemente los costos de inversión, operación y mantenimiento del

proceso aeróbico, gracias a la remoción previa de contaminantes orgánicos con bajos costos operativos.

Se concluye entonces, que el tratamiento anaeróbico es idóneo en nuestro medio, ya sea aplicado en forma total (única) o combinada en serie.

#### **6.5.2.4 EL REACTOR ANAEROBICO DE FLUJO ASCENDENTE**

Los Reactores Anaeróbicos de Flujo Ascendente, en adelante denominados RAFA, consisten en estaciones compactas de tratamiento anaeróbico, de reciente aparición en América Latina, luego de investigaciones realizadas en Holanda, y posteriormente en Colombia, por Gatzke Lettinga cerca del año 1980.

En términos generales, los RAFA consisten en tanques cuyo caudal afluente ingresa por su sección inferior, recolectándose el agua tratada en su sección superior. El período de retención hidráulica (normalmente de unas 18 horas o mayor dependiendo de la temperatura de operación, tipo de desecho y otras variables), permite que el material contaminante sea estabilizado parcialmente por bacterias anaeróbicas, con la consecuente producción de biogás. Es por ello que se denominan "reactores", ya que en ellos se lleva a cabo la reacción bioquímica o biodegradación.

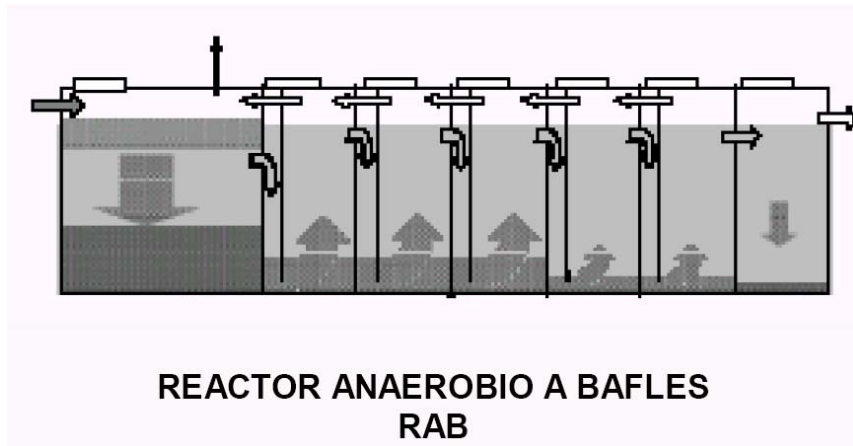
Se han propuesto distintas versiones de RAFA, destacando entre ellas las siguientes: manto de lodos, lecho expandido, lecho fluidizado y filtro anaeróbico de flujo ascendente.

El reactor anaerobio debe venir inmediatamente después de los procesos de desbaste y desarenado sin pasar por una etapa de sedimentación primaria. No se deben colocar sistemas de sedimentación primaria antecediendo a los reactores anaerobios.

### 6.5.2.5 REACTOR ANAEROBIO A PISTÓN "RAP-100" (REACTOR A BAFLES)

Es una modificación del reactor anaerobio de pantallas en el cual se permite que la superficie de interfase líquido-gas esté en contacto directo con la atmósfera natural.

**Figura N° 19**  
**Reactor Anaerobio a Bafles (RAB)**



El reactor Anaerobio a pistón "RAP", es un reactor biológico anaerobio no convencional desarrollado en la Universidad de los Andes, esta tecnología ha tenido un comportamiento muy satisfactorio operando a temperaturas menores de 10° - 20°C, como ser: tiempo de retención hidráulicos reducidos, altas eficiencias de remoción de demanda bioquímica de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno, etc., por lo que se puede esperar que la validación de su tecnología, plantee alternativas de solución de bajo costo para el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas a temperaturas sub - óptimas.

El RAP, desarrollado en la Universidad de los Andes, tiene el 55% de su volumen ocupado por flujo ascendente. A partir del análisis bibliográfico y considerando que

el flujo ascendente es uno de los principales factores para la formación de lodo granular Lettinga- 1985, ( lodo responsable de las altas tasas de depuración presentadas en estos sistemas), se plantea introducir una modificación que permite lograr que todo el volumen del RAP, el 100 %, este ocupado por flujo ascendente, creando de esta manera más "zonas activas" para promover el desarrollo de lodo granular; este reactor será denominado para fines comparativos, RAP- 100.

Él consta de un compartimento inicial y una segunda sección con una serie de reactores deflectores. Los deflectores son utilizados para dirigir el flujo de las aguas residuales en una forma de flujo ascendente a través de una serie de reactores de manto de lodos. Esta configuración proporciona un contacto más íntimo ente la biomasa anaeróbica y las aguas residuales, lo que contribuye a la mejora del rendimiento del tratamiento.

La eficacia del tratamiento que se consigue es de 70-95 % por la retirada de DBO. lo que hace que la calidad de los vertidos sea moderada pero normalmente superior a otros sistemas convencionales.

- ***Diseño:***

El diseño se efectúa de acuerdo a las experiencias del Dr. Ivan Medina, obtenidas en la planta piloto del Tejar y el reactor de San lorenzo.

- ***Tiempo de retención hidráulica:***

$$T = \frac{F_0 (DBO_5)}{L_V}$$

Donde:

$T = \text{Periodo de retención (días)}$

$Fo(DBO_5) = \text{Concentración de } (DBO_5) \text{ (gr/m}^3\text{)}$

$L_V = \text{Carga Volumétrica (gr}DBO_5\text{/m}^3\text{/día)}$

Tiempo recomendado para este tipo de tratamiento a temperaturas entre 10 °C a 20 °C es de 6 a 12 Hrs.

La carga volumétrica  $L_V$  es asumida de acuerdo con las experiencias de la planta piloto del Tejar – Tarija.

Recomendación:

$$L_V = 0.725 \text{ gr.}DBO_5\text{/lt*Dia)}$$

- **Velocidad hidráulica media en las cámaras.**

Varía de 1.0 – 2.0 (m/h), recomendable 1.2 m/h.

Orosco recomienda una velocidad hidráulica de 3.0

- **Volumen del Reactor.**

$$V_r = Q_d * T$$

Donde:

$V_r = \text{Volumen del reactor.}$

$Q_d = \text{Caudal de Diseño.}$

$T = \text{Tiempo de retención.}$

- ***Número de Cámaras***

Se recomienda de 11 – 13 cámaras.

- ***Longitud total del reactor***

Separación entre cámaras:

$$L = N * a$$

Donde:

*L = Longitud a tomar.*

*N = Número de cámaras a adoptar.*

*a = Separación entre cámaras*

- ***Longitud de cámaras ordinarias***

$$a2 = L/N$$

Donde:

*a2 = Longitud de cámaras ordinarias.*

- ***Longitud primera cámara de sedimentación***

$$a1 = a2*(2.2)$$

Donde:

*a1 = Longitud primera cámara sedimentación - digestión*

### 6.5.2.6 FILTROS ANAERÓBICOS DE FLUJO ASCENDENTE

El filtro biológico anaerobio es un reactor donde la materia orgánica es estabilizada por la acción de microorganismos que quedan retenidos en la parte perimetral del material soporte, que constituye el lecho, a través del cual las aguas residuales escurren.

Al agua residual después del pre tratamiento y en ocasiones del tratamiento primario, se la hace atravesar un lecho circular o rectangular que contiene un medio de soporte (piedras o material sintético), donde se produce el proceso anaeróbico en contacto con la biopelícula que se ubica alrededor de los componentes del medio filtrante. En resumen es un filtro de piedra granular de 25 a 50 mm de diámetro ubicado en un tanque circular o rectangular por el que atraviesa el líquido de la parte de abajo a la superficie como líquido tratado.

(a) *Características técnicas.*

La operación y mantenimiento de los filtros anaeróbicos son muy simples y exigen apenas cuidados regulares, como la remoción de materiales flotantes, limpieza de los bordes de la unidad, remoción eventual de algas (si el filtro es descubierto) y las descargas regulares del lodo acumulado en el fondo falso.

Este tipo de reactor produce cantidades pequeñas de lodo, lo que permite descargas del lodo en intervalos iguales o superiores a dos meses. Los lechos de secado convencionales pueden ser usados para recibir este material.

La lámina líquida sobre el lecho (0.30 m) en el caso de filtros no cubiertos generalmente prolifera gran cantidad de algas, que permiten

la inyección de oxígeno disuelto que es deseable cuando el sistema funciona adecuadamente.

Los parámetros más representativos encontrados en pruebas de laboratorio y piloto son los siguientes.

**Cuadro N° 31**  
**Parámetros representativos para Filtros Anaerobios**

| FACTOR                                   | TIPO DE LECHO<br>(PIEDRA) |              |
|--|---------------------------|--------------|
|  | Baja carga                | Media carga  |
| Carga hidráulica                         | <12°C                     | 12° a 20° C  |
| m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> día       | 1.00 a 4.00               | 4.00 a 10.00 |
| m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h         | 0.00 a 0.17               | 0.17 a 0.42  |
| Carga orgánica                           |                           |              |
| Kg DBO <sub>5</sub> / m <sup>3</sup> día | 0.08 a 0.40               | 0.40 a 0.70  |
| Profundidad de lecho                     | 1.50 a 3.00               | 1.00 a 2.50  |

Los valores indicados fueron obtenidos del Manual de Depuración URALITA (Muñoz y Lehman) y Aguas Residuales en Pequeñas Comunidades (Ramón Collado).

- **Diseño:**
- **Tiempo de retención hidráulica:**

Mayores tiempos de retención mayor eficiencia, tiempo recomendado de 4 – 6 hrs

- **Altura del reactor:**

Se asume de acuerdo a la norma NB 688: altura medio soporte 1.5 a 3.5 m. para medio natural.

- **Volumen del reactor:**

$$V_r = Q_m * t$$

Donde:

$V_r =$  Volumen del reactor.

$Q_m =$  Caudal medio de diseño.

$t =$  Tiempo de retención.

### 6.5.3 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

El tratamiento de aguas residuales constituye una medida de mitigación que ayuda a disminuir y controlar la contaminación de los cuerpos de agua, pero para que esta medida tenga éxito se debe contar con obras de infraestructura adecuada a la naturaleza de la aguas a tratar y con el personal capacitado para llevar a cabo la labores de operación y mantenimiento.

El mantenimiento y operación de los reactores de flujo ascendente es simple, puesto que son sistemas que no tienen la complejidad de algunos sistemas. Un sistema de tratamiento con reactores de flujo ascendente (RAP-100) bien mantenido dará una buena calidad del afluente.

Para la realización del mantenimiento del sistema se requiere de un mínimo de atención, con una persona realizando actividades de limpieza y control durante 2 a 3 horas por semana.

Para el control de un RAP-100 en el área rural, se podría tener bastantes limitaciones para la realización de un control normalmente aplicado en plantas (alcalinidad, pH, acidez, eficiencias de remoción, etc.), para ello se anotan a continuación algunas pautas preliminares, para el control visual del proceso fermentativo en los reactores.

En un RAP bien operado no se debería observar la proliferación de vectores.

En la superficie de todas las cámaras se debería observar explosiones de gas y lodo en forma más o menos continua.

Las burbujas de biogás deben ser más pequeñas y dispersas (como en un vaso de refresco carbonatado) que grandes y localizadas.

El lodo que sale a flote, debería sedimentarse inmediatamente, luego de liberar el gas.

No se debería sentir malos olores a más de 10 metros a la redonda del reactor.

Tanto el lodo como el agua residual tratada no deben atraer insectos (moscas).

Respecto a la formación de natas o costras en las cámaras se puede afirmar:

En la primera cámara la formación de natas de espesor auto controlable es ventajosa para acelerar la hidrólisis y evitar la propagación de malos olores.

En las últimas cámaras la ausencia de natas es deseable para garantizar la calidad del efluente.

La limpieza inicial o el intervalo entre dos de limpieza consecutivas dependen de la intensidad de uso del reactor, por que cuanto mayor es el uso, menor será el intervalo entre limpiezas. Normalmente, se recomienda limpiarlo una vez por año, pero ello depende de su diseño.

El dispositivo más empleado para la remoción del lodo del tanque es el carro cisterna equipado con bomba de vacío y manguera. El retiro de los lodos se realiza hasta el momento en que se observe que el lodo se torna diluido.

Para facilitar el retiro de la nata, poco antes del retiro del lodo, se esparce en su superficie cal hidratada o ceniza vegetal y luego, con la ayuda de un listón de madera

se procede a mezclarlo. Esto inducirá a que gran parte de la espuma se precipite e integre al lodo facilitando de esta manera su retiro.

Durante la limpieza del tanque, por ningún motivo se debe ingresar al tanque hasta que se haya ventilado adecuadamente y eliminado todos los gases, a fin de prevenir los riesgos de explosiones o de asfixia de los trabajadores. Cualquier persona que ingrese al interior de un tanque debe llevar atada a la cintura una cuerda cuyo extremo lo mantenga en el exterior del tanque una persona lo suficientemente fuerte como para izarla en el caso de que los gases del tanque lo lleguen a afectar.

Una vez retirado el lodo, el tanque no debe ser lavado o desinfectado y más bien se debe dejar una pequeña cantidad de lodo como inoculó para facilitar el proceso de hidrólisis de las nuevas aguas residuales que han de ser tratadas.

Los lodos extraídos deben ser enterrados convenientemente en zanjas de unos 60 centímetros de profundidad.

## **VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1 CONCLUSIONES**

Los reactores de flujo ascendente RAP-100 (reactor a baffles), ha tenido un comportamiento muy satisfactorio operando a temperaturas entre 13°C – 20°C, y tiempos de retención hidráulico reducidos, y altas eficiencias en la remoción de organismos patógenos y carga orgánica, bajo costo y sencilla operación, de acuerdo a la experiencia de las plantas pilotos implementados en el medio, lo que demuestra ser el mejor método de tratamiento para las aguas residuales del sistema de alcantarillado, en áreas rurales con pequeñas poblaciones.

En el diseño de los reactores se espera que alcance un tratamiento aproximado del 75 % de eficiencia en la remoción de la DBO, un 65 % de eficiencia en la remoción de DQO y una eficiencia del 93 % aproximadamente en la remoción de NMPCF/100 ml de acuerdo a rendimientos promedios o experimentos más próximos al medio; el filtro biológico de flujo ascendente puede alcanzar un tratamiento aproximado del 60 % de eficiencia en la remoción de contaminantes (DBO; DQO, NMPCF/100 ml, etc.).

Se puntualiza que para fines de aprovechamiento de aguas residuales, la medida más importante de los resultados del proceso de tratamiento es la eliminación de agentes patógenos y no el retiro de sólidos en suspensión y la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Aceptaremos finalmente, que el parámetro más importante del diseño es la reducción de organismos coliformes fecales y la DBO del afluente.

Los reactores anaeróbicos (RAP-100) permiten obtener un grado de tratamiento tal que, es dos o tres veces más eficiente que un tanque Imhoff y un tanque de

sedimentación e igual que una laguna, un filtro aerobio y un poco menor que un sistema de lodos activados.

La construcción de la planta de tratamiento, saneará los alrededores de la localidad, disminuyendo la proliferación de moscas, evitando el riego de cultivos con aguas crudas y la incursión de animales domésticos a este lugar en busca de alimento.

Las aguas residuales deben considerarse como un recurso valioso en una zona árida El Puente y su neutralización en agricultura debe ser considerado. La ventaja de tal uso disminuye la contaminación ambiental y genera un aumento en la producción agrícola, y disminuyen las enfermedades de origen hídrico en la población generadas por las aguas residuales.

## **7.2 RECOMENDACIONES**

Un aspecto fundamental para poder tratar con eficacia el tratamiento de aguas residuales, mediante reactores de flujo ascendente (RAP-100), es realizar un continuo y adecuado monitoreo para poder tener un control bien definido con respecto al aporte de las aguas residuales y así determinar la eficiencia de remoción del sistema.

También queremos mencionar que las muestras realizadas en el lugar de deposición de las aguas residuales, de parte del actual sistema de alcantarillado sanitario, son insuficientes, debido al tiempo y el factor económico; que por tal razón, se necesita un mayor número de análisis de laboratorio, tanto físico, químico y bacteriológico, para determinar una muestra más representativa de la calidad de las aguas crudas.

Una vez que la planta de tratamiento esté en funcionamiento se debe comprobar la carga de DBO sobre los reactores, y analizar con regularidad muestras de las aguas

residuales que llegan a las instalaciones. El efluente debe analizarse para comprobar si se está alcanzando obteniendo un efluente con la calidad deseada y si los rectores están funcionando correctamente.

Se recomienda a los organismos competentes como ser; el de medio ambiente, salubridad, etc., realizar más investigaciones que permitan un mejor conocimiento sobre los riesgos sanitarios del uso de las aguas residuales, para adoptar normas sanitarias más racionales y hacer una difusión ante la población afectada, donde deben tener en cuenta la calidad de las aguas residuales a utilizarse en la agricultura.

También será muy importante un seguimiento continuo del funcionamiento de los reactores y filtros en su primera fase de construcción. De esta forma se podrá obtener parámetros de diseños confiables que nos sirvan para futuras aplicaciones o para el diseño de plantas de tratamiento similares en otras regiones.

Las instituciones gubernamentales como la alcaldía municipal de El Puente, está obligada a tratar las aguas residuales. Por tanto, se recomienda a dicha institución la expropiación de los terrenos necesarios para la construcción de la planta de tratamiento.

Será importante realizar plantaciones forestales alrededor de la planta de tratamiento para evitar una excesiva aireación. Esta medida evitará la propagación del mal olor.

Recomendamos que los sólidos sedimentados y en flotación que se acumulen sean enterrados para la producción de composte, el cual tiene valor comercial. Además de esta forma se contribuirá a la conservación del medio ambiente.

## INDICE

**Agradecimiento**

**Pensamiento**

**Resumen ejecutivo**

**Página**

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>I.</b>  | <b>ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS .....</b>                               | <b>1</b>  |
| 1.1        | CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL DEPARTAMENTO DE TARIJA .....          | 1         |
| 1.1.1      | SUPERFICIE Y CARACTERÍSTICAS TERRITORIALES .....                    | 1         |
| 1.1.2      | ASPECTOS GEOGRÁFICOS Y CLIMATOLÓGICOS.....                          | 1         |
| 1.1.3      | POBLACIÓN DEL DEPARTAMENTO .....                                    | 4         |
| 1.1.4      | ESTABLECIMIENTOS DE SALUD.....                                      | 5         |
| 1.2        | CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO ..... | 7         |
| 1.2.1      | DIVISION POLITICA Y ADMINISTRATIVA .....                            | 7         |
| 1.2.2      | CARACTERISTICAS ATMOSFERICAS.....                                   | 10        |
| 1.2.2.1    | CLIMA .....   | 10        |
| 1.2.2.2    | TEMPERATURA.....  | 10        |
| 1.2.2.3    | PLUVIOMETRIA .....  | 10        |
| 1.2.2.4    | TIPO DE SUELO .....   | 11        |
| 1.2.2.5    | RECURSOS HIDRICOS.....  | 11        |
| 1.2.3      | POBLACIÓN .....   | 12        |
| 1.2.4      | BASE CULTURAL DE LA POBLACIÓN.....                                  | 12        |
| 1.2.5      | EDUCACIÓN.....  | 13        |
| 1.2.6      | IDIOMA .....  | 13        |
| 1.2.7      | SALUD.....  | 14        |
| 1.2.8      | VIVIENDA Y SERVICIOS BÁSICOS.....                                   | 14        |
| 1.2.9      | ACCESO Y MEDIOS DE COMUNICACIÓN.....                                | 15        |
| 1.2.10     | ACTIVIDAD ECONÓMICA Y PRODUCTIVA.....                               | 16        |
| <b>II.</b> | <b>DESCRIPCION DEL PROYECTO .....</b>                               | <b>19</b> |
| 2.1        | INTRODUCCIÓN .....  | 19        |
| 2.2        | NOMBRE DEL PROYECTO.....  | 20        |
| 2.3        | TIPO DE PROYECTO .....  | 20        |
| 2.4        | LOCALIZACION DEL PROYECTO .....                                     | 20        |
| 2.4.1      | MAPAS DE UBICACIÓN .....  | 20        |
| 2.4.2      | UBICACIÓN GEOGRAFICA .....  | 23        |
| 2.4.2.1    | LATITUD Y LONGITUD .....  | 23        |

|  |   |           |
|--|---|-----------|
| 2.4.2.2                                      | LIMITES .....   | 24        |
| 2.4.2.3                                      | EXTENSION.....  | 24        |
| 2.5  | OBJETIVOS DEL PROYECTO .....  | 24        |
| 2.5.1  | OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO .....                                     | 24        |
| 2.5.2  | OBJETIVOS ESPECIFICOS .....   | 25        |
| 2.5.3  | RESULTADO Y/O META .....  | 25        |
| 2.5.4  | MATRIZ DE PLANIFICACIÓN “MARCO LÓGICO” .....                            | 26        |
| <b>III. JUSTIFICACION DEL PROYECTO .....</b> |   | <b>29</b> |
| 3.1  | GENERALIDADES.....  | 29        |
| 3.2  | SITUACION ACTUAL .....  | 30        |
| 3.2.1  | ANTECEDENTES .....  | 30        |
| 3.2.2  | EVALUACION DE LA SITUACION ACTUAL .....                                 | 31        |
| 3.2.2.1                                      | DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE.....                           | 31        |
| 3.2.2.2                                      | ESTADO DEL SERVICIO DE ALCANTARILLADO.....                              | 32        |
| 3.2.2.3                                      | BENEFICIOS EN LA SITUACIÓN ACTUAL .....                                 | 33        |
| 3.2.2.4                                      | COSTOS EN LA SITUACIÓN ACTUAL.....                                      | 34        |
| <b>IV. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS .....</b>     |   | <b>35</b> |
| 4.1  | INTRODUCCION .....  | 35        |
| 4.2  | DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA O NECESIDAD .....                              | 35        |
| 4.3  | ALTERNATIVAS PARA EL PROBLEMA DEL ALCANTARILLADO SANITARIO .....        | 38        |
| 4.3.1  | RED SEPARATIVA .....  | 39        |
| 4.3.2  | RED UNITARIA.....   | 39        |
| 4.3.3  | SOLUCIONES GLOBALES ADOPTADAS.....                                      | 40        |
| 4.3.4  | SOLUCIÓN PARA EL ALCANTARILLADO SANITARIO .....                         | 40        |
| 4.4  | ALTERNATIVAS PARA EL TRAZADO DE LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO .... | 41        |
| 4.4.1  | COLECTORES PRINCIPALES SIGUIENDO LAS CALLES LONGITUDINALES .....        | 42        |
| 4.4.2  | COLECTORES PRINCIPALES SIGUIENDO LAS CALLES TRANSVERSALES.....          | 43        |
| 4.4.3  | SOLUCIÓN ADOPTADA .....   | 45        |
| 4.5  | ALTERNATIVAS PARA LA UBICACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO .....         | 46        |
| 4.5.1  | ALTERNATIVA N° 1.....   | 47        |
| 4.5.2  | ALTERNATIVA N° 2.....   | 48        |
| 4.5.3  | SOLUCIÓN ADOPTADA .....   | 50        |
| 4.6  | ALTERNATIVAS PARA EL TIPO DE SISTEMA DE TRATAMIENTO .....               | 50        |
| 4.6.1  | REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE.....                             | 50        |
| 4.6.2  | PANTANOS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL.....                                   | 51        |
| 4.6.3  | ESTANQUES DE ESTABILIZACIÓN AEROBIOS .....                              | 51        |
| 4.6.4  | SOLUCIÓN ADOPTADA .....   | 51        |

## V. ESTUDIO DETALLADO DE LA ALTERNATIVA ELEGIDA .....52

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 5.1     | ESTUDIO DE MERCADO .....                                    | 52 |
| 5.1.1   | ANÁLISIS DE DEMANDA .....                                   | 52 |
| 5.1.1.1 | POBLACION BENEFICIARIA.....                                 | 53 |
| 5.1.1.2 | ESTABILIDAD POBLACIONAL.....                                | 54 |
| 5.1.2   | ANÁLISIS DE OFERTA .....                                    | 55 |
| 5.2     | TAMAÑO DEL PROYECTO .....                                   | 56 |
| 5.2.1   | ESTUDIO DE TAMAÑO DEL PROYECTO.....                         | 56 |
| 5.3     | ESTUDIO TÉCNICO.....  | 58 |
| 5.3.1   | ALCANTARILLADO SANITARIO .....                              | 58 |
| 5.3.1.1 | COMPONENTES DE UN SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO ..... | 58 |
| (a)     | Colector secundario .....                                   | 58 |
| (b)     | Colector principal .....                                    | 58 |
| (c)     | Interceptor.....  | 58 |
| (d)     | Emisario final .....  | 59 |
| 5.3.2   | DOTACION .....  | 59 |
| 5.3.2.1 | DOTACION POR HABITANTE Y POR DIA .....                      | 59 |
| 5.3.2.2 | POBLACIÓN ( P ) .....                                       | 61 |
| 5.3.2.3 | DENSIDAD DE POBLACIÓN ( D ) .....                           | 61 |
| 5.3.2.4 | AREA DE DRENAJE ( A ).....                                  | 61 |
| 5.3.3   | PERIODO DE DISEÑO .....                                     | 62 |
| 5.3.4   | CALCULO DE POBLACION FUTURA.....                            | 63 |
| (a)     | Método Aritmético: .....                                    | 63 |
| (b)     | Método Geométrico:.....                                     | 64 |
| (c)     | Método Wappaus:.....  | 64 |
| 5.3.5   | CAUDALES DE DISEÑO .....                                    | 64 |
| 5.3.5.1 | COEFICIENTE DE PUNTA .....                                  | 66 |
| (a)     | Coeficiente de Harmon .....                                 | 66 |
| (b)     | Coeficiente de Babbit .....                                 | 67 |
| (c)     | Coeficiente de Giff .....                                   | 67 |
| 5.3.5.2 | COEFICIENTE POR MALAS CONEXIONES.....                       | 67 |
| 5.3.5.3 | CAUDAL MÍNIMO DE DISEÑO .....                               | 68 |
| 5.3.5.4 | CAUDAL DE INFILTRACION .....                                | 68 |
| 5.3.5.5 | CAUDALES DE APORTE .....                                    | 69 |
| (a)     | Caudal medio diario de aguas residuales .....               | 69 |
| (b)     | Coeficiente de retorno (Cr ).....                           | 70 |
| (c)     | Caudal máximo horario de aguas residuales.....              | 70 |
| (d)     | Caudal mínimo de contribución.....                          | 72 |
| 5.3.5.6 | CAUDAL MAXIMO Y MINIMO DE DISEÑO.....                       | 72 |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| (a)     | Caudal Máximo de Diseño: .....                           | 72 |
| (b)     | Caudal Mínimo de Diseño: .....                           | 73 |
| 5.3.6   | CRITERIOS DE DISEÑO.....                                 | 73 |
| 5.3.6.1 | CRITERIO DE VELOCIDAD .....                              | 74 |
| (a)     | Velocidad Mínima. ....                                   | 74 |
| (b)     | Velocidad máxima. ....                                   | 74 |
| (c)     | Velocidad crítica.....                                   | 74 |
| 5.3.6.2 | CRITERIO DE LA FUERZA TRACTIVA.....                      | 75 |
| (a)     | Determinación de la Fuerza Tractiva Mínima .....         | 76 |
| 5.3.7   | PENDIENTES.....  | 77 |
| 5.3.7.1 | PENDIENTES MÍNIMAS Y MÁXIMAS .....                       | 77 |
| 5.3.8   | TIRANTES DE AGUA.....                                    | 78 |
| 5.3.8.1 | TIRANTE MINIMO .....                                     | 78 |
| 5.3.8.2 | TIRANTE MAXIMO.....                                      | 78 |
| 5.3.9   | RED DE ALCANTARILLADO.....                               | 79 |
| 5.3.9.1 | CLASIFICACIÓN DE UNA RED DE ALCANTARILLADO.....          | 79 |
| (a)     | Sistema perpendicular sin interceptor .....              | 79 |
| (b)     | Sistema perpendicular con interceptor.....               | 80 |
| (c)     | Sistema perpendicular con interceptor y aliviadero ..... | 80 |
| (d)     | Sistema en abanico .....                                 | 81 |
| (e)     | Sistema en bayoneta .....                                | 81 |
| 5.3.9.2 | LOCALIZACIÓN DE LOS COLECTORES .....                     | 82 |
| 5.3.9.3 | PROFUNDIDAD EN LA INSTALACION.....                       | 82 |
| (a)     | Profundidad mínima .....                                 | 82 |
| (b)     | Profundidad Máxima. ....                                 | 83 |
| 5.3.9.4 | CAMARA DE INSPECCION.....                                | 83 |
| 5.3.9.5 | TIPOS DE TUBERIA.....                                    | 84 |
| (a)     | Tuberías de Hormigón.....                                | 84 |
| (b)     | Tuberías de Policloruro de Vinilo (PVC).....             | 85 |
| 5.3.9.6 | DIAMETROS MINIMOS.....                                   | 86 |
| 5.3.9.7 | COEFICIENTE DE RUGOSIDAD.....                            | 86 |

## **VI. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES..... 87**

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 6.1     | INTRODUCCIÓN .....  | 87 |
| 6.2     | DEFINICION.....   | 88 |
| 6.3     | AGUAS RESIDUALES.....   | 88 |
| 6.3.1   | CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA RESIDUAL..... | 88 |
| 6.3.2   | CONSTITUYENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES.....                           | 89 |
| 6.3.2.1 | CONTAMINANTES DE IMPORTANCIA EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL..... | 90 |

|  |  |            |
|--|--|------------|
| 6.3.2.2  | OLORES .....   | 91         |
| 6.4  | PRINCIPIO DE DISEÑO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....          | 94         |
| 6.5  | CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.... | 96         |
|  | (a) El Preliminar.....   | 97         |
|  | (b) El Primario.....   | 97         |
|  | (c) El Secundario.....   | 98         |
| 6.5.1  | TRATAMIENTOS PRELIMINARES .....  | 99         |
|  | 6.5.1.1 REJAS .....  | 99         |
|  | 6.5.1.2 DESARENADORES.....   | 104        |
| 6.5.2  | TRATAMIENTO PRIMARIO .....   | 107        |
|  | 6.5.2.1 TRATAMIENTO ANAERÓBICO .....                                   | 107        |
|  | 6.5.2.2 CONCEPTOS BÁSICOS DEL TRATAMIENTO ANAERÓBICO .....             | 108        |
|  | 6.5.2.3 TECNOLOGIA ANAEROBICA APROPIADA.....                           | 109        |
|  | 6.5.2.4 EL REACTOR ANAEROBICO DE FLUJO ASCENDENTE.....                 | 111        |
|  | 6.5.2.5 REACTOR ANAEROBIO A PISTÓN "RAP-100" (REACTOR A BAFLES).....   | 112        |
|  | 6.5.2.6 FILTROS ANAERÓBICOS DE FLUJO ASCENDENTE.....                   | 116        |
|  | (a) Características técnicas .....                                     | 116        |
| 6.5.3  | OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....   | 118        |
| <b>VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b> |  | <b>121</b> |
| 7.1  | CONCLUSIONES .....   | 121        |
| 7.2  | RECOMENDACIONES .....  | 122        |