



Universidad
Nacional
Ingeniería

Facultad de Tecnología de la Construcción

**“DISEÑO DEL SISTEMA DE
ALCANTARILLADO SANITARIO Y
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES PARA LA CIUDAD
DE LA PAZ CENTRO, DEPARTAMENTO
DE LEÓN, EN EL PERÍODO DE 2022 AL
2047”**

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Civil

Elaborado por:

*Br. Mario Mauricio
González Lombard
Carnet: 2007-
15614*

*Br. Jonathan
Gutiérrez Caldera
Carnet: 2005-
20699*

Tutor:

*M.Sc. José Ángel
Baltodano Maldonado*

*20 de diciembre de 2022
Managua, Nicaragua*

DEDICATORIA

A DIOS por brindarnos la bendición de la salud y bienestar, permitiéndonos alcanzar nuestros sueños y metas, además de su eterna bondad y amor.

A nuestros padres por apoyarnos en todo momento de nuestra vida con sus consejos y motivación constante, por todos los esfuerzos que han hecho en darnos una buena educación, formándonos con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual nos ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles, pero más que nada, por su amor, siendo ellos el pilar más importante de nuestra existencia.

A los docentes que nos han acompañado durante el largo camino, brindándonos siempre su orientación con profesionalismo ético en la adquisición de conocimientos y afianzando nuestra formación como estudiantes universitarios.

Dedicamos este trabajo a nuestros abuelos, abuelas, tíos, tías, primos, primas y demás familiares que de igual manera han brindado su apoyo en este proceso de formación con sus sabios consejos y palabras de aliento, que nos motivan a día a día a seguir adelante para hacerlos sentir orgullosos, ustedes nos llenan deseos de superación.

AGRADECIMIENTO

A DIOS todopoderoso por habernos dado la existencia y permitido llegar al final de la carrera.

A nuestros padres por todo su esfuerzo para darnos un futuro mejor porque siempre nos han brindado su apoyo incondicional y han estado presente en cada paso que hemos dado.

A nuestra casa de estudios por habernos dado la oportunidad de ingresar al sistema de Educación Superior y cumplir este gran sueño.

A nuestros maestros por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales, por habernos transmitido los conocimientos obtenidos y habernos llevado paso a paso en el aprendizaje.

A nuestro tutor el M.Sc Ing. José Ángel Baltodano Maldonado quién con su enseñanza, sabiduría y experiencia, supo guiarnos en este trabajo monográfico.

A todas y todos quienes de una u otra forma han colocado un granito de arena para el logro de este trabajo monográfico, agradecemos de forma sincera su valiosa colaboración.

RESUMEN DEL TEMA

El siguiente documento monográfico presenta el diseño del sistema de alcantarillado sanitario y sistema de tratamiento de aguas residuales para la Ciudad de La Paz Centro, departamento de León. Está dividido en ocho capítulos, a la misma vez cada capítulo se sub divide en temas específicos, que a continuación se describen.

El primer capítulo describe la necesidad y la importancia de mejorar y ampliar el sistema de alcantarillado sanitario para la Ciudad de La Paz Centro, se dan a conocer los intentos de solución y las necesidades más destacados que ha hecho la municipalidad y ENACAL para intentar resolver el problema de recolección y tratamiento de las aguas residuales domésticas, se definen los objetivos del diseño.

En el segundo capítulo se presentan los objetivos a desarrollar en este trabajo monográfico.

En el tercer capítulo se presenta el marco teórico referente a los alcances y objetivos determinados anteriormente, se plantea los fundamentos teóricos en lo que se basó este trabajo, se define los componentes del sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, así como las normas y criterios a usar para el correcto diseño del sistema.

En el cuarto capítulo se describe la metodología a usar para el diseño final, en donde se dimensionaron en base a cálculos, los componentes del proyecto definidos en el capítulo tres. Para el diseño de este proyecto se tomó como marco regulador las guías técnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales; así como también lo establecido en el decreto 21-2017 en el que se establece las disposiciones para el vertido de aguas residuales.

En el capítulo cinco se refiere a la ubicación del proyecto, el área de influencia directa e indirecta, la demografía social, cultural y económica, así como la caracterización del municipio de La Paz Centro.

El capítulo seis contiene el análisis y los resultados del proyecto, el sistema de alcantarillado sanitario de la red mejorada y ampliada para la Ciudad de La Paz Centro se contempla convencional y separativo por gravedad hacia la planta de tratamiento de aguas residuales proyectada, el material de la tubería a utilizar será PVC ASTM F949 con diámetros desde 150 mm hasta 450 mm, para una longitud aproximada de 56,848.80 m y 813 PVS. De éstos, 15,065.90 m (equivalente a 26.5%) corresponden a tubería existente que continuarán en funcionamiento; 10.6% (6,034.20 m) es tubería a reemplazar para ampliar su diámetro; y los restantes 35,748.7 m (62.9%) es tubería nueva con desagüe donde tendrán su debido tratamiento. La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) contemplará los siguientes procesos: Pre tratamiento, Laguna Facultativa y Laguna de Maduración, al año 2047 tendrá capacidad para tratar un caudal de 69 l/s.

En el capítulo siete se presentan las conclusiones más importantes del trabajo monográfico, así como las recomendaciones para la correcta ejecución del proyecto.

Finalmente, en el capítulo ocho se presenta toda la bibliografía utilizada en el tema.

INDICE GENERAL

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Generalidades.....	1
1.2. Antecedentes	2
1.3. Justificación.....	3
CAPÍTULO II: OBJETIVOS.....	5
2.1. Objetivo General.....	5
2.2. Objetivos Específicos.....	5
CAPITULO III: MARCO TEÓRICO	6
3.1. Generalidades.....	6
3.1.1. Aguas residuales	6
3.1.2. Alcantarillado sanitario	7
3.1.3. Planta de tratamiento	7
3.2. Población a servir	7
3.3. Proyección de la población.....	7
3.4. Caudal de Aguas residuales.....	9
3.4.1. Dotación de agua.....	9
3.4.2. Caudal de infiltración.....	9
3.4.3. Caudal medio de aguas residuales domésticas	9
3.4.4. Coeficiente de retorno.....	10
3.4.5. Gastos máximos de aguas residuales.....	10
3.4.6. Gasto mínimo.....	10
3.4.7. Caudal de diseño.....	10
3.5. Hidráulica de alcantarillas	10
3.5.1. Fórmula y coeficiente de rugosidad.....	10
3.5.2. Diámetro mínimo	11
3.5.3. Pendiente longitudinal mínima	11
3.5.4. Pérdida de carga adicional	11
3.5.5. Cambio de diámetro	11
3.5.6. Ángulos entre tuberías	12

3.5.7.	Cobertura sobre tuberías	12
3.5.8.	Ubicación de las alcantarillas	12
3.5.9.	Redes de alcantarillado convencional	13
3.6.	Dispositivos de inspección: Pozos de Visita Sanitarios (P.V.S.)	13
3.6.1.	Características de los pozos de visita	13
3.7.	Características de las aguas residuales.....	14
3.7.1.	Muestreo.....	15
3.7.2.	Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual.....	16
3.8.	Dispositivos para la medición de caudal de aguas residuales.....	17
3.9.	Procesos de tratamiento preliminar de aguas residuales.....	18
3.10.	Lagunas de estabilización.....	19
3.10.1.	Clasificación y funcionamiento de lagunas de estabilización.....	19
3.10.2.	Clasificación en función del lugar que ocupan las lagunas.....	19
3.10.3.	Clasificación de acuerdo con la secuencia de las unidades de tratamiento 20	
3.10.4.	Funcionamiento de lagunas de estabilización	20
3.11.	Modelos para determinar el dimensionamiento de las lagunas	22
3.11.1.	Modelos empíricos	22
3.11.2.	Modelos racionales.....	22
4.1.	Tipo de investigación.....	24
4.1.1.	Según su enfoque.....	24
4.1.2.	Según el alcance	24
4.1.3.	En cuanto al tiempo de ocurrencia	24
4.1.4.	Según el periodo en el que se realiza el estudio.....	24
4.2.	Realización del estudio socio económico.....	25
4.2.1.	Análisis de la zona de estudio	25
4.2.2.	Estudio de población	26
4.2.3.	Periodo de diseño.....	26
4.2.4.	Cálculo de la tasa de crecimiento geométrica.....	26
4.2.5.	Población de diseño	26
4.2.6.	Cálculo del aporte de aguas residuales	27

4.3.	Topografía	28
4.4.	Diseño de la red de alcantarillado sanitario	29
4.4.1.	Red de recolección	30
4.4.2.	Hidráulica de alcantarillas	30
4.4.3.	Pozos de Visita Sanitarios (PVS)	32
4.5.	Diseño del sistema de tratamiento	32
4.6.	Realización de los planos del proyecto	33
4.7.	Determinación de los costos de construcción	33
5.1.	Macro y micro localización del proyecto	34
5.2.	Población y vivienda	36
5.3.	Servicios básicos y equipamiento social	36
5.3.1.	Servicio de agua potable	36
	Servicio de energía	37
5.3.2.	Infraestructura en salud	37
5.3.3.	Infraestructura educativa	38
5.3.4.	Comunicación	38
5.3.5.	Transporte	39
5.4.	Servicios municipales	39
5.4.1.	Recolección, transporte y disposición de residuos sólidos	39
5.4.2.	Cementerio	39
5.4.3.	Parques	39
5.4.4.	Mercado	40
5.5.	Características del medio abiótico	40
5.5.1.	Clima	40
5.5.2.	Geomorfología	40
5.5.3.	Uso potencial del suelo	41
5.5.4.	Hidrología	42
	CAPITULO VI: ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	43
6.1.	Estudio socioeconómico	43
6.1.1.	Grado de instrucción de la persona encuestada	43
6.1.2.	Abastecimiento de agua para uso doméstico	46

6.1.3.	Eliminación de aguas servidas.....	48
6.1.4.	Tipo de vivienda y servicios de la vivienda	50
6.1.5.	Percepción de los problemas de saneamiento.....	51
6.1.6.	Interés por resolver estos problemas	53
6.1.7.	Dispuesto a conectar a la red de alcantarillado sanitario	53
6.1.8.	Personas con ingreso:.....	54
6.2.	Diagnóstico físico del sistema de alcantarillado sanitario y tratamiento existente.....	55
6.2.1.	Alcantarillado sanitario existente.....	55
6.2.2.	Planta de Tratamiento de aguas residuales existente.....	57
6.3.	Proyección de Población y caudales de diseño del proyecto	60
6.3.1.	Periodo de diseño.....	60
6.3.2.	Población de diseño para el proyecto	60
6.3.3.	Población base:	60
6.3.4.	Distribución espacial de la población.....	62
6.3.5.	Caudal de diseño para el sistema.....	63
6.4.	Diseño del sistema de alcantarillado sanitario.....	67
6.4.1.	Levantamiento topográfico	67
6.4.2.	Descripción de la red de alcantarillado sanitario propuesta.....	69
6.4.3.	Modelación hidráulica de la red de alcantarillado sanitario.....	70
6.5.	Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales	75
6.5.1.	Calidad del agua residual que ingresará a la nueva PTAR.....	75
6.5.2.	Caudal de aguas residuales a tratar	77
6.5.3.	Descripción de la nueva PTAR	78
6.5.4.	Dimensionamiento de la nueva PTAR.....	81
6.5.5.	Calidad del agua residual tratada	83
6.5.6.	Gestión de lodos.....	84
6.6.	Estimación de costos de construcción.....	85
CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		87
7.1.	Conclusiones.....	87
7.2.	Recomendaciones.....	88

CAPITULO VIII: BIBLIOGRAFÍA.....	90
----------------------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. COEFICIENTES DE MANNING	30
TABLA 2. ESTADÍSTICAS DE CONSULTAS MÉDICAS EN SILAIS LA PAZ CENTRO	38
TABLA 3. CANTIDAD DE AGUA QUE SE CONSUME EN LAS VIVIENDAS (M3/MES).....	47
TABLA 4. MONTO DE PAGO POR ALCANTARILLADO SANITARIO	49
TABLA 5. ACTIVIDAD PRINCIPAL DE LAS PERSONAS CON INGRESO	54
TABLA 6. CALIDAD DEL EFLUENTE EN LA PTAR LA PAZ CENTRO	59
TABLA 7. TASA DE CRECIMIENTO, CIUDAD LA PAZ CENTRO	60
TABLA 8. PROYECCIÓN DE POBLACIÓN, CIUDAD DE LA PAZ CENTRO	61
TABLA 9. CAUDAL MEDIO DE AGUAS RESIDUALES, CIUDAD DE LA PAZ CENTRO	65
TABLA 10. CAUDALES MÍNIMOS, MÁXIMOS Y DE DISEÑO DE AGUAS RESIDUALES, CIUDAD DE LA PAZ CENTRO	66
TABLA 11. POZOS DE INSERCIÓN DE CAUDALES DE ZONAS DE EXPANSIÓN	71
TABLA 12. RED DE ALCANTARILLADO MEJORADO Y AMPLIADO, CIUDAD LA PAZ CENTRO	74
TABLA 13. RESULTADOS DEL MUESTREO DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES QUE INGRESAN A LA.....	76
TABLA 14. CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES CRUDAS QUE INGRESARÁN A LA NUEVA PTAR, CIUDAD DE LA PAZ CENTRO	77
TABLA 15. CAUDALES DE AGUAS RESIDUALES, CIUDAD DE LA PAZ CENTRO	77
TABLA 16. RANGOS Y VALORES MÁXIMOS PARA LOS VERTIDOS DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO	80
TABLA 17. DIMENSIONES DE ESTRUCTURAS DEL SISTEMA DE PRE TRATAMIENTO	81
TABLA 18. DIMENSIONES DE ESTRUCTURAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	82
TABLA 19. DIMENSIONES DE ESTRUCTURAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO TERCARIO	83
TABLA 20. DIMENSIONES DE ESTRUCTURAS DE LOS LECHOS DE SECADO	83
TABLA 21. CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL EFLUENTE DE LA NUEVA PTAR, LA PAZ CENTRO.....	83
TABLA 22. VOLUMEN DE LODOS GENERADOS EN LA PTAR DE LA PAZ CENTRO	84
TABLA 23. COSTO DE VENTA DEL PROYECTO DE ALCANTARILLADO SANITARIO, CIUDAD DE LA PAZ CENTRO	86

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. MACRO LOCALIZACIÓN	34
FIGURA 2. MICRO LOCALIZACIÓN	35
FIGURA 3: GRADO DE INSTRUCCIÓN DE LA PERSONA ENCUESTADA (FEMENINO)	45
FIGURA 4: GRADO DE INSTRUCCIÓN DE LA PERSONA ENCUESTADA (MASCULINO)	46
FIGURA 5: ABASTECIMIENTO DE AGUA DE USO DOMÉSTICO	47
FIGURA 6: CANTIDAD DE CÓRDOBAS QUE PAGAN AL MES POR EL CONSUMO DE AGUA.....	48
FIGURA 7: ELIMINACIÓN DE AGUAS SERVIDAS	50
FIGURA 8: SERVICIOS DE LA VIVIENDA	52
FIGURA 9: ALTO COSTO PARA ADQUIRIR EL AGUA	52
FIGURA 10: INCOMODIDAD GENERAL	52
FIGURA 11: INUNDACIONES EN VIVIENDAS Y CALLES	53
FIGURA 12: DISPUESTO A CONECTAR A LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO	56
FIGURA 13: COBERTURA ACTUAL DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO EXISTENTE.....	56
FIGURA 14: UBICACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	57
FIGURA 15: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, CIUDAD LA PAZ CENTRO	58
FIGURA 16. MAPA DE ZONIFICACIÓN DEL CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE LA PAZ CENTRO.....	63
FIGURA 17. RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO PROPUESTA, SEGÚN TIPO DE MATERIAL.....	71
FIGURA 18. RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO PROPUESTA, SEGÚN DIÁMETROS.....	69
FIGURA 19. UBICACIÓN DE LA NUEVA PTAR.....	79
FIGURA 20. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROPUESTA.....	80

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

El Sistema de alcantarillado y tratamientos de aguas residuales representan un servicio básico e indispensable para el desarrollo de las sociedades. Estos sistemas garantizan que las aguas servidas sean expulsadas con un bajo índice de cargas contaminantes, de forma que se reduzca la afectación al medio donde serán expulsados, además, de permitir a las poblaciones vivir en condiciones más higiénicas.

En la actualidad, Nicaragua se encuentra en un déficit en cuanto a la cobertura de saneamiento, principalmente en las zonas rurales, sin embargo, existen problemas en las ciudades, como es el casco urbano de La Paz Centro. Esto se debe específicamente a la falta de recursos económicos que han imposibilitado garantizar el derecho al saneamiento en diferentes comunidades del país y la caducidad de la red de alcantarillado sanitario y el sistema de tratamiento de aguas residuales obsoleto e inexistente.

Según datos de la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado (ENACAL), la ciudad de La Paz Centro cuenta actualmente solo con un 46.95% de cobertura de red de alcantarillado sanitario y por ende un sistema de tratamiento de aguas negras que no cumple con el decreto 21-2017.

En el presente documento de investigación desarrollado se establece de manera clara cada uno de los procedimientos realizados en el diseño del proyecto de “Ampliación y Mejoramiento del sistema de alcantarillado sanitario y sistema de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de La Paz Centro, departamento de León”, el cual se realizó con el propósito de diseñar el proyecto definitivo, desarrollando una alternativa que optimice el aprovechamiento de los recursos, garantice la operación y mantenimiento sin causar deterioro al medio ambiente.

1.2. Antecedentes

Nicaragua se encuentra en vías de desarrollo por esto implementa una política de proyección de salud, bienestar y conservación del medio ambiente, en las diferentes regiones del país, contribuyendo a reducir los índices de pobreza, aumentar la seguridad de la ciudadanía y su acceso a los servicios básicos indispensables para el buen funcionamiento de la comunidad y desarrollo económico del municipio.

La ciudad de La Paz Centro cuenta con un sistema de alcantarillado sanitario, de tipo convencional reducido que hidráulicamente drena por gravedad hacia la planta de tratamiento existente; el mismo tiene una cobertura de 46.95 % del total de las viviendas, que corresponde a 2,363 predios. El 83.78% (1,958) de las viviendas donde no existe red de alcantarillado hacen uso de letrinas y riegan las aguas grises o corren en las calles. El restante 14.53% utilizan sumidero; cauce y pila séptica entre otros para la eliminación de sus aguas residuales. El 1.58% no genera aguas residuales. Las aguas pluviales corren sobre las calles, no existe drenaje urbano pluvial

El Alcantarillado sanitario existente está conformado por una red de tuberías y pozos de visitas que recolectan el agua residual del tipo doméstico; las aguas servidas domesticas son recolectadas en la red de alcantarillado sanitario para un posterior tratamiento en la planta de tratamiento de la ciudad.

En época de invierno la escorrentía pluvial genera un gran caudal en el sistema de alcantarillado sanitario, por lo que las capacidades de la red de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento son altamente superadas, provocando reboses en la red de alcantarillado sanitario y provocando sedimentación de arena en las tuberías. El sistema de alcantarillado está compuesto por 201 pozos de inspección y una red de tuberías de 21,781 m de tuberías de 150 mm, 200 mm, 250 mm, 300 mm y 375mm de diámetro en tuberías de Concreto.

1.3. Justificación

Las Organizaciones internacionales y nacionales que se dedican a los estudios referidos al medio ambiente y recursos naturales, han hecho un llamado de alerta referido a hacer conciencia sobre el desarrollo sostenible, en este caso el objetivo número 6 trata de garantizar la disponibilidad de agua y gestión sostenible de saneamiento para todos, 45 millones de personas en el 2015 carecían de servicios de saneamiento y de una administración segura y 23 millones carecen de los servicios básicos, se hace imprescindible detener el cambio climático, la contaminación, el vertimiento de sustancias tóxicas a las fuentes hídricas, reducir las aguas residuales sin un tratamiento adecuado y el aumento del reciclaje para poder conservar el planeta.

En Nicaragua la falta de saneamiento es un problema muy grave que atraviesa actualmente, puesto que cada año la necesidad del mismo ocasiona más de 4.600 millones de episodios de trastornos o infecciones y casi 500 muertes prematuras. Los impactos en la salud y los costos asociados con la falta de saneamiento e higiene son asumidos desproporcionalmente por personas de bajos recursos. La falta de inversión y cobertura de los servicios de saneamiento generan muchos impactos negativos en la economía del país, por lo que es necesario dar respuesta de manera inmediata a esta gran problemática.

La Paz Centro, pertenece a una zona urbana, lo cual ha influido en los últimos años en el aumento de la población. Esta ciudad se ha caracterizado por una población en constante lucha de salir adelante y mejorar su calidad de vida, por ende, mejorar el sistema de saneamiento de sus hogares, sustituyendo el uso de letrinas convencionales por inodoros, los cuales, en su mayoría; no cumplen con sistema de tratamiento adecuado, depositando las aguas sin tratar a las calles y cauces naturales, más la antigüedad de su red, hace que se creen fuentes de aguas que provocan la contaminación al medio, y por consiguiente, el brote de enfermedades entre la población.

Por las razones mencionadas anteriormente, es indispensable la ampliación de una red de alcantarillado sanitario con su respectiva planta de tratamiento de aguas residuales, con el objetivo primordial de reducir los impactos generados por la falta de un sistema de saneamiento adecuado. La construcción de éste contribuirá, en los aspectos socioeconómicos de las familias beneficiadas, contribuyendo con el mejoramiento y prevención de enfermedades y el aumento de ambientes saludables y aportando de esta manera al desarrollo sostenible del país en general.

CAPÍTULO II: OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Diseñar un sistema de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de La Paz Centro, municipio de La Paz Centro, departamento de León; en el período de 2022 al 2047.

2.2. Objetivos Específicos

1. Realizar un estudio socioeconómico en la ciudad de La Paz Centro, que permita conocer las condiciones de vida de sus habitantes.
2. Efectuar el levantamiento topográfico de la ciudad de La Paz Centro, que contenga toda la información necesaria para el trazado de la red y el sistema del tratamiento.
3. Realizar análisis de parámetros físico-químicos en muestras crudas para caracterizar la calidad de afluentes de acuerdo al Decreto 21-2017 “Reglamento en el que se establecen las disposiciones para el vertido de aguas residuales”, análisis bacteriológicos, temperatura y PH.
4. Diseñar la red de alcantarillado sanitario cumpliendo con los parámetros y normas nacionales establecidas actualmente para un eficiente funcionamiento.
5. Dimensionar hidráulicamente un sistema de tratamiento de aguas residuales adecuado para la ciudad cumpliendo con todos los parámetros y normas que exigen los reglamentos nacionales.
6. Elaborar los planos de diseño de la red de alcantarillado y el sistema de tratamiento de aguas residuales que contenga la información necesaria que garanticen su ejecución.
7. Determinar el monto aproximado que se requerirá para la ejecución del proyecto analizando el costo y presupuesto del proyecto.

CAPITULO III: MARCO TEÓRICO

3.1. Generalidades

A continuación, se ponen en consideración los fundamentos científicos necesarios que se emplearon como base para el desarrollo del diseño, los mismos que han sido extraídos de libros, investigaciones afines, revistas científicas y publicaciones en internet. De tal manera que aquellos lectores e investigadores interesados tengan una percepción clara de los términos que se manejarán como iconos en el desarrollo del proyecto.

3.1.1. Aguas residuales

Las aguas residuales se pueden definir como aquellas que, por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos (Espigares García, 1985).

a) Aguas residuales domésticas

Son aquellas provenientes de inodoros, regaderas, lavaderos, cocinas y otros elementos domésticos. Estas aguas están compuestas por sólidos suspendidos (generalmente materia orgánica biodegradable), sólidos sedimentables (principalmente materia inorgánica), nutrientes, (nitrógeno y fosforo) y organismos patógenos (Comisión Nacional del Agua, 2009).

b) Aguas residuales industriales

Estas se originan de los desechos de procesos industriales o manufactureros y, debido a su naturaleza, pueden contener, además de los componentes antes mencionados en las aguas domésticas, elementos tóxicos tales como plomo, mercurio, níquel, cobre, solventes, grasas y otros, que requieren ser removidos en vez de ser vertidos al sistema de alcantarillado (Comisión Nacional del Agua, 2009).

3.1.2. Alcantarillado sanitario

Un sistema de alcantarillado consiste en una serie de tuberías y obras complementarias, necesarias para recibir, conducir, ventilar y evacuar las aguas residuales de la población (Comisión Nacional del Agua, 2009).

3.1.3. Planta de tratamiento

Es una instalación donde a las Aguas Residuales se les retiran los contaminantes, para hacer de ella un agua sin riesgos a la salud y/o medio ambiente al disponerla en un cuerpo receptor natural (mar, ríos o lagos) o por su reúso en otras actividades de nuestra vida cotidiana con excepción del consumo humano (no para ingerir o aseo persona) (agua.org, 2007).

3.2. Población a servir

El diseño se realizó en base a la población proyectada en el último año del periodo de diseño. No se ejecutó en base a la población de saturación del área del proyecto, ya que actualmente existen suficientes áreas para crecimiento a futuro.

3.3. Proyección de la población

En los Estudios y Diseños de proyectos de infraestructuras, la población es el componente principal para proyectar, cuantificar y determinar los tamaños de las obras. Para el caso de los Sistemas Alcantarillado Sanitario, el estudio de población determina, además del dimensionamiento de sus componentes, las características de operación del mismo, por tanto, la escogencia del método para proyectar el crecimiento poblacional a través del periodo de diseño de determinado proyecto es muy importante.

La fuente de información para predecir la población futura, fue obtenida a través de la Alcaldía municipal de La Paz Centro, el Censo y Encuesta Socioeconómica realizadas en el presente estudio.

El método a utilizar en la determinación de la población de diseño, será el de mayor uso en la República de Nicaragua, o sea el Método Geométrico. Para determinar el año en que la comunidad llegue a alcanzar la saturación se utiliza un índice no mayor de 6 habitantes por viviendas, según el INIDE. La tasa geométrica de crecimiento a utilizar será conforme el estudio de población efectuada para esta ciudad.

Con respecto a las tasas de crecimiento a utilizar para la proyección de la población, Según el Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado (INAA, 2003), Se recomienda usar las siguientes tasas en base al crecimiento histórico:

- Ninguna de las localidades tendrá una tasa de crecimiento urbano mayor de 4% (a criterio del especialista).
- Ninguna de las localidades tendrá una tasa de crecimiento urbano menor del 2.5%.
- Si el promedio de la proyección de población por ambos métodos adoptados entonces se calculara en base a los siguientes criterios una tasa de crecimiento:
 - Mayor del 4%, la población se proyectará en base al 4%, de crecimiento anual (a criterio del especialista).
 - Menor del 2.5%, la proyección final se hará basada en una tasa de crecimiento del 2.5%.
 - No menor del 2.5%, ni mayor del 4%, la proyección final se hará basada en el promedio obtenido.

3.4. Caudal de Aguas residuales

Las aguas residuales son cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica. Las aguas residuales incluyen las aguas usadas, domésticas, urbanas y los residuos líquidos industriales o mineros eliminados, o las aguas que se mezclaron con las anteriores (aguas pluviales o naturales).

Las aguas usadas provenientes de un sistema de suministro de agua; así que los aportes de las aguas que circulan por esas tuberías están casi en su totalidad constituidos por los consumos de aguas para fines domésticos, comerciales e industriales, etc., afectado por factor de retorno.

3.4.1. Dotación de agua

Se entiende por dotación de agua por habitante a la cantidad de agua que dispone una persona para sus necesidades diarias de consumo, aseo, limpieza, riego, etc. y se mide en litros por habitante por día (l/hab/día). Según INAA, (2003, sección 3.2.2. pIII-2) Para las ciudades del país con población comprendida entre 15000 y 20000 la dotación es de 155 l/hab/día.

3.4.2. Caudal de infiltración

Según INAA,(2003, sección 3.4 PIII-3.), Para tuberías con juntas de mortero se les deberá asignar un gasto de 10,000 L/ha/día. Para tuberías con juntas flexibles se les deberá asignar un gasto de 5000 L/ha/día. Para tuberías plásticas 2L/hora/100 m de tubería y por cada 25 mm de diámetro.

3.4.3. Caudal medio de aguas residuales domésticas

Según (INAA, 2003, sección 3.5. PIII-3), El gasto medio de aguas residuales domésticas se deberá estimar igual al 80% de la dotación del consumo de agua.

3.4.4. Coeficiente de retorno

Estudios estadísticos han estimado que el porcentaje de agua abastecida que llega a la red de alcantarillado sanitario, su coeficiente puede encontrarse en un 80% de la dotación de agua potable.

3.4.5. Gastos máximos de aguas residuales

Según (INAA, 2003), sección 3.7, El gasto máximo de aguas residuales domésticas se deberá determinar utilizando el factor de relación de Harmon.

3.4.6. Gasto mínimo

Es el caudal mínimo calculado que correrá sobre la red hasta llegar a la PTAR.

3.4.7. Caudal de diseño

Es el caudal calculado que se utilizará para dimensionar las redes de alcantarillado sanitario.

3.5. Hidráulica de alcantarillas

3.5.1. Fórmula y coeficiente de rugosidad

Este cálculo hidráulico se realizará en base al criterio de la tensión de arrastre y a la fórmula de Manning. Las colectoras hasta 375 mm de diámetro son diseñadas para trabajar, como máximo, a media sección, destinándose la mitad superior de los conductos a la ventilación del sistema y a las imprevisiones y oscilaciones excepcionales. Las colectoras mayores que reciben efluentes de redes relativamente extensas, que corresponden a mayor población tributaria, están sujetas a menores variaciones del caudal y por eso pueden ser

dimensionadas para funcionar con tirantes de 0.70 a 0.80m del diámetro. La velocidad máxima de flujo deberá ser de 3 m/s. (INAA, 2003).

3.5.2. Diámetro mínimo

Recta que cruza el centro de un círculo uniendo dos puntos de su perímetro. Según (INAA, 2003), dice que el diámetro mínimo a utilizar es de 150mm.

3.5.3. Pendiente longitudinal mínima

“La pendiente longitudinal mínima deberá ser aquella que produzca una velocidad de auto lavado, la cual se podrá determinar aplicando el criterio de la Tensión de Arrastre”. (INAA, 2003).

3.5.4. Pérdida de carga adicional

Según (INAA, 2003). Establece que cuando haya un cambio de orientación ya sea vertical o horizontal se debe incluir entre la entrada y la salida del Pozo Sanitario de Visita (PVS), una pérdida de $0.25 \frac{Vm^2}{2g}$, y esta no puede ser menor a 3cm.

3.5.5. Cambio de diámetro

Según (INAA, 2003), Nos dice que el diámetro de cualquier tramo de tubería deberá ser igual o mayor, que el diámetro del tramo aguas arriba, por ningún motivo podrá ser menor. En el caso de que en un pozo de visita descarguen dos o más tuberías, el diámetro de la tubería de salida deberá ser igual o mayor que el de la tubería de entrada.

En los cambios de diámetro, deberán coincidir los puntos correspondientes a los 8/10 de la profundidad de ambas tuberías. En el caso de que en un pozo de visita descarguen dos o más tuberías, deberán de coincidir los puntos correspondientes a los 8/10 de la profundidad de la tubería de entrada a nivel más bajo con el de la tubería de salida.

3.5.6. Ángulos entre tuberías

Según (INAA, 2003), Establece que, en todos los pozos de visita o cajas de registro, el ángulo formado por la tubería de entrada y la tubería de salida deberá tener un valor mínimo de 90° y máximo de 270° medido en sentido del movimiento de las agujas del reloj y partiendo de la tubería de entrada.

3.5.7. Cobertura sobre tuberías

En el diseño se deberá mantener una cobertura mínima a lo largo de la tubería, esta cobertura será de acuerdo con la resistencia estructura de la tubería y que facilite el traslado a las tuberías recolectoras.

“Si por salvar obstáculos o por circunstancias muy especiales se hace necesario colocar la tubería a pequeñas profundidades, la tubería será encajonada en concreto simple con un espesor mínimo de 0.15 m alrededor de la pared exterior del tubo”. (INAA, 2003).

3.5.8. Ubicación de las alcantarillas

En las vías de circulación dirigidas de Este a Oeste, las tuberías se deberán ser ubicadas al Norte de la línea central de la vía. En las vías de circulación dirigidas de Norte a Sur, las tuberías se deberán ubicar al Oeste de la línea central de la vía.

En caso de pistas de gran anchura se deberán colocar dos líneas, una en cada banda de la pista. Las alcantarillas deberán colocarse debajo de las tuberías de agua potable y con una separación mínima horizontal de 1.50 m. (INAA, 2003).

3.5.9. Redes de alcantarillado convencional

Los sistemas convencionales de alcantarillado se clasifican en:

Alcantarillado separado: Es aquel en el cual se independiza la evacuación de aguas residuales y lluvia.

- a) Alcantarillado sanitario: Sistema diseñado para recolectar exclusivamente las aguas residuales domésticas e industriales.
- b) Alcantarillado pluvial: Sistema de evacuación de la escorrentía superficial producida por la precipitación.
- c) Alcantarillado combinado: Conduce simultáneamente las aguas residuales, domésticas e industriales, y las aguas de lluvia (comisión Nacional del Agua, 2009).

3.6. Dispositivos de inspección: Pozos de Visita Sanitarios (P.V.S.)

3.6.1. Características de los pozos de visita

- Los Pozos de visita sanitarios (PVS) podrá ser construidos totalmente de concreto, o con el cuerpo de ladrillo cuarterón apoyado sobre una plataforma de concreto. En el caso que el cuerpo sea de ladrillo éste deberá repellarse con mortero internamente y externamente para evitar la infiltración en ambos sentidos.
- Para pozos con profundidades mayores de 3 m, el proyectista deberá determinar el grosor de la pared, para que resista los esfuerzos a que será sometida durante el funcionamiento del sistema.

- El diámetro interno (D) del pozo será 1.20 m, para alcantarillas con diámetros de 750 mm y menores; para alcantarillas con diámetros mayores de 750 mm, D deberá ser igual a $\phi+600$ mm.
- Todo PVS deberá estar provisto en la parte superior de una tapa que permita una abertura de 0.60 m de diámetro, la cual deberá estar dotada de 2 orificios de 0.03 m de diámetros para proveer el escape de gases.
- Para alcantarillas con diámetros de 200 mm y menores, con profundidades de rasante de tubos hasta un máximo de 1.80 m, se usarán Dispositivos de Visita Cilíndricos (DVC) consistente en tubos de concreto precolado con diámetro interno de 760 mm.
- Para profundidades de rasante de tubos de 0.60 m a 1.00 m se usarán Cajas de Registro Sanitarias (CRS).
- Para cualquiera de las cámaras de inspección que se use el pasaje del agua a través de ella deberá efectuarse mediante canales que vayan en la dirección de la entrada de los tubos aguas arriba y en la salida aguas abajo.
- Estos canales deberán tener la sección del tubo de entrada en la parte superior y la sección del tubo de salida en la parte inferior. El acabado deberá ser totalmente fino y se redondeará la intersección de la superficie del fondo del pozo con la del canal.
- El fondo del pozo deberá tener un acabado fino, con pendiente transversal hacia los canales no menor del 2%. Todas las aristas vivas deberán ser redondeadas.
- El pozo de visita (PSV) deberá ser provisto en su interior, de peldaños con diámetro no menor de 15 mm de aleación de aluminio, separados verticalmente 0.30 m.

3.7. Características de las aguas residuales

Es muy importante para la definición del tipo de sistema de tratamiento conocer las características de las aguas a tratar. Estas características deben ser determinadas a partir de pruebas de laboratorio la calidad del agua.

La guía técnica para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales, establece:

- Toda caracterización de aguas residuales implica un programa de muestreo apropiado para asegurar representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio de conformidad con normas establecidas que aseguren precisión y exactitud. Un programa de muestreo para caracterización y control de calidad de aguas residuales, requiere un análisis cuidadoso del tipo de muestras, número de ellas y parámetros que se deben determinar (INAA, 2003).

3.7.1. Muestreo

El proceso de muestreo adecuado sigue un número de métodos estandarizados que garantizaran la caracterización de las aguas. Todo esto requiere una aplicación de técnicas que permita obtener las características de todo el caudal que será tratado.

La guía recomienda que para la muestra sea representativa se deben seleccionar sitios de muestreo donde el flujo sea turbulento, puesto que aquí el agua estará mezclada, sin embargo, también puede ser seleccionado a partir del problema de estudio.

Es importante siempre tener en cuenta diferentes consideraciones necesarias para un excelente resultado de las muestras, tales como: la cantidad, lo cual especifica el volumen necesario para realizar los análisis fisicoquímicos del agua; preservación de las muestras, es importante que la muestra mantenga las mismas características que tenía al ser extraída, para esto es necesario la aplicación de diferentes métodos; además debe considerarse la muestra a

extraer es una muestra instantánea o simple, una muestra compuesta o muestra integrada.

3.7.2. Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual

Es de vital importancia conocer los contaminantes más significativos presentes en las aguas residuales para conocer cómo tratar estas y minimizar la contaminación. En la guía INAA,(2003, pág. VIII-2) señala los siguientes contaminantes como los más importantes:

- Sólidos en suspensión, los cuales pueden originar depósitos de lodos y condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar en un entorno acuático.
- Materia orgánica biodegradable, compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas animales, la cual se mide en la mayoría de las veces, en función de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y de la DQO (Demanda Química de Oxígeno).
- Las aguas residuales domésticas crudas tienen un DBO entre 250 y 1000 mg/L, con relaciones de DQO/DBO que varían entre 1.2 y 2.5. Si las aguas residuales se descargan sin tratar al entorno, su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de oxígeno a los recursos naturales y al desarrollo de condiciones sépticas.
- Organismos patógenos, los cuales pueden transmitir enfermedades contagiosas.
- Nutrientes, tanto el Nitrógeno, como el Fósforo y el Carbono son esenciales para el crecimiento de plantas y protistas. Cuando se vierten al entorno acuático, éstos pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada.
- Materia orgánica refractaria, resiste tratamiento convencional, tales como los detergentes, fenoles y pesticidas agrícolas.

- Sólidos inorgánicos disueltos, algunos como el calcio, sodio y sulfatos son agregados al suministro de agua doméstico como resultado del uso y es posible que deban ser removidos para reúso del agua.

El proceso de tratamiento de las aguas está dividido en tres etapas fundamentales que son el tratamiento preliminar o pre tratamiento, tratamiento primario, tratamiento biológico o secundario y tratamiento terciario. Los cuales se detallarán más a fondo a continuación.

3.8. Dispositivos para la medición de caudal de aguas residuales

Es indispensable la inclusión de dispositivos de medición de caudales (gastos) en los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, los cuales deberán ser colocados a la entrada y a la salida. Según (INAA, 2003): “Son unidades de bajo costo, en relación con el costo total de la obra y suministran datos importantes para la operación de los sistemas de tratamientos”. (pág. X-1).

Dentro de estos dispositivos pueden considerarse los siguientes (INAA, 2003):

- **Medidor Parshall:** El medidor Parshall está incluido entre los medidores de flujo crítico es de fácil construcción, presenta la ventaja de depender de sus propias características hidráulicas, una sola determinación de carga es suficiente, la pérdida de carga es baja, posee sistema de auto limpieza que hace que no haya obstáculos capaces de provocar formación de depósitos, por lo tanto, es el más recomendable para medir caudales de aguas residuales sin tratar. Se deberá colocar a continuación del desarenador.
- **Medidor proporcional:** Para lograr que la velocidad sea constante a través de un desarenador se emplea el vertedero proporcional, localizado a la salida del desarenador y consta de una plancha a través de la corriente. El vertedero de flujo proporcional consiste en una combinación

de un vertedero con un orificio, el cual tiene una línea recta horizontal inferior que constituye la cresta del vertedero.

- **Vertedores rectangulares o triangulares:** Los vertederos rectangulares o triangulares se deberán instalar en las salidas de los sistemas de tratamiento, pues las aguas residuales ya han sido tratadas, no habiendo problemas de sólidos que puedan obstruir esos dispositivos. Estos vertederos deberán ser de pared delgada y arista viva y deberán trabajar a descarga libre.
- **Medidor Palmer-Bowlus:** El medidor Palmer-Bowlus es similar en su funcionamiento al medidor Parshall. Por lo general, el medidor se sitúa en el PVS de la alcantarilla. Para que el funcionamiento sea adecuado, el canal de aforo debe actuar como un control hidráulico en el cual se desarrollen condiciones de flujo crítico, lo cual se consigue fácilmente debido a la sobreelevación que se produce aguas arriba del medidor a causa del mismo y también cuando la descarga del canal de aforo es subcrítica.

3.9. Procesos de tratamiento preliminar de aguas residuales

Este proceso básicamente se encarga de eliminar todos los componentes que puedan dificultar más adelante otros procesos de tratamiento. Bermeo Garay, (2016) indica que: “La función es extraer de las aguas brutas la mayor cantidad posible de las materias que arrastran, y que posteriormente ocasionarían problemas en los tratamientos posteriores (tales como obstrucción de tuberías, formación de costras, enarenado de digestores anaerobios, etc.)”.

Para esto es necesario realizar diferentes operaciones tales como desbaste, desarenado y desengrasado. El uso los siguientes dispositivos permitirá un pretratamiento satisfactorio (INAA, 2003):

Rejillas: Las rejillas de barras pueden ser de limpieza manual o mecánica.

Según el tamaño de las aberturas se clasifican como rejillas gruesas o finas.

- **Tamices:** El uso de este tipo de tamices se limita a plantas pequeñas o plantas en las que las pérdidas de cargas no constituyan un problema. Se deberán usar en pretratamiento, tratamiento primario y secundario.
- **Desarenadores:** La función de los desarenadores en el tratamiento de aguas residuales es remover arena, grava, cenizas, partículas u otro material sólido pesado que tenga velocidad de asentamiento o peso específico bastante mayor que el de los sólidos orgánicos putrescibles de las aguas residuales.
- **Trampas para grasas y aceites:** Son tanques pequeños de flotación donde la grasa sale a la superficie y es retenida mientras el agua aclarada sale por una descarga inferior. No lleva partes mecánicas y el diseño es similar al de un tanque séptico.

3.10. Lagunas de estabilización

3.10.1. Clasificación y funcionamiento de lagunas de estabilización

Rolim (2000) clasifica las lagunas de estabilización en cuatro tipos: anaerobias, facultativas, de maduración o pulimiento y aerobias de alta tasa. El citado autor también clasifica las lagunas de estabilización de acuerdo con la función del lugar que ocupan, al propósito del tratamiento y a la secuencia de unidades del proceso.

3.10.2. Clasificación en función del lugar que ocupan las lagunas

Primarias: Se nombran así porque reciben el agua residual cruda y pueden ser lagunas facultativas o anaerobias.

Secundarias: Cuando se recibe agua residual de un estanque primario o cualquier otro proceso de tratamiento.

Maduración: Estas lagunas se utilizan cuando se pretende disminuir la concentración de coliformes fecales y son la última etapa del tratamiento con sistemas lagunares (Conagua / IMTA, 2007a; 2007b).

3.10.3. Clasificación de acuerdo con la secuencia de las unidades de tratamiento

Lagunas en serie. En esta categoría se incluyen sistemas de tratamiento seguidos; es decir: anaerobia, facultativa y maduración, aunque también puede considerarse una laguna facultativa seguida de otra facultativa y luego una de maduración. Cuando se diseñe solo una laguna, debe considerarse la facultativa.

Lagunas en paralelo. Con el propósito de llevar a cabo un adecuado mantenimiento del sistema lagunar, se recomienda incluir en la construcción series de lagunas en paralelo (Conagua/IMTA, 2007b). Según Metcalf y Eddy (1991), cuando se requiera una eficiencia mayor en la eliminación de contaminantes, en el diseño debe considerarse un arreglo de tres lagunas: anaerobia, facultativa y maduración.

3.10.4. Funcionamiento de lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización constituyen el método más sencillo de tratamiento de aguas residuales. Estas remueven, principalmente, la materia orgánica y los coliformes fecales (Rolim, 2000). En seguida, se describe su funcionamiento.

Lagunas facultativas: El tratamiento del agua residual en lagunas facultativas considera tres zonas: a) se establecen condiciones aerobias en la parte

superior; es decir, existe oxígeno disuelto, b) una parte facultativa intermedia en donde las bacterias aerobias, anaerobias y facultativas (las bacterias facultativas pueden vivir tanto en condiciones anaerobias como aerobias) llevan a cabo la descomposición de la materia orgánica (DBO), y c) una zona anaerobia en la parte inferior de la laguna, donde los sólidos que sedimentan se descomponen de manera fermentativa

Los factores ambientales que favorecen el adecuado proceso son: radiación solar, sedimentación, elevado potencial de hidrógeno (pH), altas concentraciones de oxígeno disuelto y tiempo de retención hidráulico, entre otros. El pH determina el grado de acidez o alcalinidad de una solución. Este puede encontrarse entre un rango de 0 a 14. Si el valor es 0, se dice que muy ácido; mientras que el 14 indica una alta alcalinidad. Una condición neutra se considera 7 (EPA, 1999).

La profundidad sugerida es de 1.5 a 2.5 metros. Si el proyecto solo considera lagunas facultativas y de maduración; es decir, lagunas facultativas como primarias, la profundidad mínima recomendada es de 1.5 metros.

Las algas, en este tipo de estanques, se generan por el contenido de nitrógeno, fósforo y carbono en el agua residual; luego, las algas producen oxígeno debido a la fotosíntesis. Enseguida, el oxígeno generado es usado por las bacterias aerobias; de esta forma se elimina la DBO. Después, las bacterias producen gas carbónico que, a su vez, es utilizado por las algas. Por dichas razones es que existe una relación simbiótica entre algas y bacterias (Gloyne, 1971; Feachem, et ál., 1977; Rolim, 2000; Oakley, 2005).

Lagunas de maduración: Las condiciones del tratamiento son totalmente aerobias en toda la laguna. El propósito es reducir los coliformes fecales hasta cumplir con la norma de descarga del agua residual tratada a los cuerpos receptores. Los factores que intervienen para el tratamiento son: potencial de

hidrogeno alto, rayos ultravioletas del sol, existencia de depredadores, existencia de oxígeno disuelto y carencia de nutrientes. Las lagunas de maduración o pulimiento pueden recibir aguas residuales previamente tratadas por otros sistemas de tratamiento secundario: lodos activados o biofiltros (Gloyna, 1971; Feachem et ál., 1977; Metcalf y Eddy, 1991; Conagua/IMTA, 2007b).

Según Banda (2007) y Oakley (2005), el número de lagunas y sus dimensiones se determinan por el tiempo de retención necesario para la eliminación de coliformes fecales. Dos sugerencias importantes en el diseño de estas lagunas son: considerar la eliminación del organismo indicador hasta un 99.999% y definir la profundidad entre 0.6 a 1.5 metros (Conagua/IMTA, 2007a; Rolim, 2000; Oakley, 2005).

Como se indicó, el propósito de las lagunas de maduración es la eliminación de coliformes fecales; no obstante lo anterior, también remueven una cantidad pequeña de materia orgánica (Oakley, 2005).

3.11. Modelos para determinar el dimensionamiento de las lagunas

Se clasifican en empíricos y racionales.

3.11.1. Modelos empíricos

Según Rolim (2000), los modelos empíricos se limitan solo a la observación; es decir, se estudian los sistemas lagunares que han estado operando correctamente. En otras palabras, cuando se tenga una buena eficiencia en la eliminación de contaminantes: materia orgánica y organismos patógenos.

3.11.2. Modelos racionales

Utilizan estudios en laboratorio para determinar los procesos que se llevan a cabo en las lagunas. Generalmente incluyen correlaciones matemáticas; por

ejemplo: relacionan los resultados de una buena operación de un sistema lagunar con las expresiones numéricas obtenidas.

Hay muchos criterios para determinar el dimensionamiento de lagunas de estabilización. Por mencionar algunos y de manera general, existen para lagunas anaerobias: sudafricano y método basado en el tiempo de retención hidráulico; para lagunas facultativas: de Gloyna, método basado en el tiempo de retención hidráulico, sustentado en la carga superficial y las correlaciones por temperatura; para lagunas de maduración o pulimiento: método basado en el tiempo de retención hidráulico y usando los criterios de flujodisperso por el método de Yáñez (Rolim, 2000).

CAPÍTULO IV: DISEÑO METODOLÓGICO

A continuación, se describe la metodología empleada para el desarrollo del diseño del proyecto integral de construcción, que contempla la ampliación de la red de alcantarillado sanitario y la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para la ciudad de La Paz Centro, así como acciones para la protección de los recursos hídricos, enmarcando el contenido en los componentes estratégicos de las políticas en el sub sector agua y saneamiento.

4.1. Tipo de investigación

Aplicación destinada a la solución de problemas presentes en la red de alcantarillado sanitario existente y adición de nuevos contribuyentes.

4.1.1. Según su enfoque

Su enfoque será realizar un estudio socio económico.

4.1.2. Según el alcance

Diseñar la red de alcantarillado sanitario y del sistema de tratamiento de aguas residuales.

4.1.3. En cuanto al tiempo de ocurrencia

Realizar los planos del proyecto.

4.1.4. Según el periodo en el que se realiza el estudio

Determinar los costos de construcción.

Para el diseño de la red de alcantarillado sanitario y sistema de tratamiento de aguas residuales se tomó en consideración factores de eficiencia y economía para la realización de un proyecto adecuado de acuerdo a la situación

económica de la comunidad, y que garanticen un funcionamiento adecuado del diseño.

4.2. Realización del estudio socio económico

Esta actividad incluyó el levantamiento de datos (con una muestra significativa) mediante la aplicación de encuesta a los hogares que se ubican en el sitio del proyecto y además de levantamiento catastral que fijan la relación entre la ubicación de las viviendas. Una vez desarrolladas las actividades aquí mencionadas se sostuvieron reuniones comunitarias con los dirigentes de cada barrio y miembros de la alcaldía quienes validaron y enriquecieron con sus aportes la investigación desarrollada.

4.2.1. Análisis de la zona de estudio

Para el reconocimiento de la zona, se recopiló información existente en la alcaldía del municipio al que la comunidad pertenece, teniendo en cuenta el plan desarrollo que se tiene para la misma, uso de suelos y el tipo de receptor que tendrá el efluente de las aguas tratadas.

4.2.2. Estudio de población

Para definir la población actual del municipio se utilizó los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Información y Desarrollo (INIDE). Además, se realizó encuestas y se utilizaron los datos obtenidos a partir de la realización del estudio socio-económico.

El formato de encuesta a utilizar es el usado para la caracterización de la zona de desarrollo de proyectos del ENACAL.

4.2.3. Periodo de diseño

El periodo de diseño establecido por el INAA sugiere que periodos diseño para colectores principales y emisarios de descarga establece un periodo de 10 a 50 años; para tuberías secundarias, establece un periodo de 25 o más años; y para plantas de tratamiento de aguas servidas, el periodo debe ser de 10 a 25 años.

4.2.4. Cálculo de la tasa de crecimiento geométrica

Para el dimensionamiento de las obras que se necesitan estar al tanto de la población a la que se le va a brindar el servicio por lo tanto se llevó a cabo un análisis de crecimiento poblacional a lo largo de las últimas décadas.

El método utilizado para la determinación de la tasa de crecimiento para la proyección de la población es el de tasa de crecimiento geométrico el cual es aplicable para ciudades que no han alcanzado su desarrollo.

4.2.5. Población de diseño

Estimada la tasa de crecimiento se procedió a la proyección futura de la población para un tiempo de 25 años. A partir de la siguiente ecuación:

$$Pf = Po(1 + i)^n$$

Pf: Población al final del período de diseño

Po: Población inicial

i: Tasa de crecimiento

n: Período en años

4.2.6. Cálculo del aporte de aguas residuales

Dotación de agua potable y consumo doméstico:

Para la obtención de la cantidad de agua demandada por la población de La Paz Centro, se utilizó la población futura proyectada para obtener el valor de la dotación a partir de lo que especifica en la nueva Norma de Abastecimiento de Agua Potable NTON 09 007-19 Inciso 6.2.1.2. Poblaciones concentradas, pág. 11.

- Para poblaciones mayores de 20 000 se utilizará la siguiente fórmula:

$$Dotación = 7.7082 Ln (Pd) + 83.838$$

Donde:

Dotación expresada en litros por persona por día

Ln (Pd): Logaritmo natural de la población de diseño (Pd)

- **Caudal medio (Qm)**

El gasto medio de aguas residuales domésticas se estimó igual al 80% de la dotación del consumo de agua.

$$Qm = 0.8 * CPD$$

- **Caudal mínimo de aguas residuales (Qmín)**

Para la verificación del gasto mínimo en las alcantarillas se aplicó la siguiente relación:

$$Qmín = \frac{1}{5} Qm$$

- **Caudal máximo de aguas residuales (Q_{máx})**

El gasto máximo de aguas residuales domésticas se determinó utilizando el factor de relación de Harmon.

$$FH = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \quad \text{ec (1)}$$

$$Q_{máx} = FH * Q_m \quad \text{ec (2)}$$

FH: Factor Harmon.

Q_{máx} = Gasto máximo de aguas residuales domésticas.

P = Población servida en miles de habitantes.

Q_m = Gasto medio de aguas residuales domésticas.

Nota: FH deberá de tener un valor no menor a 1.80 ni mayor a 3.

- **Gasto de diseño (Q_d)**

El gasto de diseño hidráulico del sistema de alcantarillas se calculó de la forma siguiente:

$$Q_d = Q_{máx} + Q_{inf} + Q_{com} + Q_{ind} + Q_{inst}$$

Q_{com}: Gasto comercial

Q_{ind}: Gasto industrial

Q_{inst}: Gato institucional o público

Q_{inf}= 2 L/h/100 m de tubería de 150mm por cada 25mm de diámetro

4.3. Topografía

Trabajo de campo: El levantamiento se realizó por un equipo técnico conformado por un profesional con experiencia en levantamientos topográficos facilitado por la alcaldía municipal de La Paz Centro.

En el levantamiento topográfico se hizo uso de un equipo de precisión denominado Estación Total, en este caso Estación Total. Se Georreferencio con GPS, trabajando en conjunto con los técnicos municipales.

Análisis e interpretación de datos: El levantamiento de la planimetría con la altimetría es simultáneo y así mismo, se registraron las coordenadas (x, y, z) de cada punto observado. Además de esta versatilidad, se transfirió directamente del equipo a la computadora todos los datos tomados en campo para que luego estos se procesan por software especializado que automatiza el trabajo de modular digitalmente el terreno. El procesamiento de datos consistió en:

- Depuración de los puntos del levantamiento.
- Cálculos de precisiones
- Ajustes de cierre en poligonales
- Utilización del programa AutoCAD Civil 3d para realizar la superficie topográfica para establecer plano base, secciones, perfiles, movimiento de tierra.
- Elaboración final del documento
- Análisis de las muestras crudas que ingresan a la actual PTAR. ver tabla 13 p 75.

4.4. Diseño de la red de alcantarillado sanitario

Una vez obtenido el levantamiento topográfico se realizó el trazado de la red. En el diseño de la red se emplearon las especificaciones de: Guías técnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales del INAA, que es la guía de referencia nicaragüense.

Para el desarrollo de este proyecto se realizó el trazado de la red de acuerdo a la topografía del terreno, que se obtuvo a partir de los datos del levantamiento que fueron proporcionados, teniendo en cuenta que la colectora principal sea la de mayor pendiente, de manera que toda la red funcione por gravedad.

Las tuberías se proyectan de modo que sus pendientes estén, si es posible, en el mismo sentido que la pendiente natural del terreno, para así lograr un mínimo de excavación y un drenaje por gravedad.

4.4.1. Red de recolección

El sistema de alcantarillado sanitario a diseñar será del tipo convencional, siendo destinado por lo tanto únicamente al drenaje de aguas servidas, la cual drena por gravedad hasta el sistema de tratamiento.

Para el trazado de la red se utilizó como herramienta principal el software Sewercad V10.02.01.04 desarrollada por dibujo asistido por computadora (cad), es una aplicación de diseño y modelado del sistema de alcantarillado sanitario fácil de usar. Es la herramienta de confianza para miles de municipios y empresas de servicios públicos y de ingeniería en todo el mundo a la hora de diseñar, analizar y planificar sistemas de saneamiento. Permite a los ingenieros crear modelos de forma sencilla, tanto de conductos presurizados como de instalaciones hidráulicas por gravedad, a partir del análisis de estado estático con diversos estándares de factores de cresta y simulaciones de periodos extendidos.

4.4.2. Hidráulica de alcantarillas

- **Formula y coeficiente de rugosidad**

El cálculo hidráulico de las alcantarillas se realizó en base al criterio de la tensión de arrastre y a la fórmula de Manning. Se pueden usar diferentes clases de tuberías, las cuales se seleccionaron de acuerdo a las condiciones en que funcionará el sistema y a los costos de inversión.

Tabla 1. Coeficientes de Manning

Material	Coeficiente "n"
Concreto	0.013
Polivinilo (PVC)	0.009
Asbesto - Cemento	0.010

Fuente: Guía INAA,(2003)

Generalmente las colectoras hasta 375 mm de diámetro son diseñadas para trabajar, como máximo, a la media sección, destinándose la mitad superior de los conductos a la ventilación del sistema y a las imprevisiones y oscilaciones excepcionales. Las colectoras mayores que reciben efluentes de redes relativamente extensas, que corresponden a mayor población tributaria, están sujetas a menores variaciones de caudal y por eso pueden ser dimensionadas para funcionar con tirantes de 0.70 a 0.80 del diámetro. La velocidad máxima de flujo deberá ser de 3 m/s.

- **Pendiente de longitud mínima**

La pendiente longitudinal mínima deberá ser aquella que produzca una velocidad de autolavado, la cual se podrá determinar aplicando el criterio de la Tensión de Arrastre, según la siguiente ecuación:

$$f = w * R * s$$

En la cual:

f = Tensión de arrastre en Pa

W = Peso específico del líquido en N/m³

R = Radio hidráulico a gasto mínimo en m

S = Pendiente mínima en m/m

Nota: Se recomienda un valor mínimo de f = 1 Pa

Además, se deben considerar también los siguientes parámetros INAA,(2003): pérdida de carga adicional, cambio de diámetro, ángulos entre tubería, cobertura sobre tubería ubicación de las alcantarillas y conexiones domiciliarias.

- **Diámetro mínimo**

El diámetro mínimo de las tuberías deberá ser de 150 mm.

4.4.3. Pozos de Visita Sanitarios (PVS)

- **Distancia máxima entre pozos**

El espaciamiento entre los pozos de visita va a variar dependiendo de los métodos y equipo de mantenimiento disponible.

Con equipo tradicional:

Diámetro (mm)	Separación Máxima (m)
150 a 400	100
450 y Mayores	120

4.5. Diseño del sistema de tratamiento

Es claro establecer de antemano que se utilizó para el diseño del sistema de tratamiento las siguientes normas:

- Guías técnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales del INAA, que es la norma de referencia nicaragüense.
- Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización, OPS/CEPIS (Organización Mundial de la Salud) y, (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y medio ambiente) como norma de ayuda.

Para el diseño del sistema de tratamiento se consideran varias opciones, la selección del mismo dependerá de la calidad del efluente que se obtenga al tratar el agua y los costos de construcción del mismo.

4.6. Realización de los planos del proyecto

Para la realización de los planos del proyecto se hará uso del software AUTOCAD de Autodesk, donde se incluirán todo el contenido en orden para la correcta ejecución del mismo.

Los planos se presentarán en el siguiente orden:

- Portada.
- Plano de conjunto.
- Plano topográfico.
- Planos de sistema de red de alcantarillado sanitario.
- Plano de plantas perfiles.
- Plano de conjunto de planta de tratamiento.
- Plano de detalles de componentes.

4.7. Determinación de los costos de construcción

- Cálculo de costos directos
- Cálculos de costos indirectos
- Cálculos de los costos totales

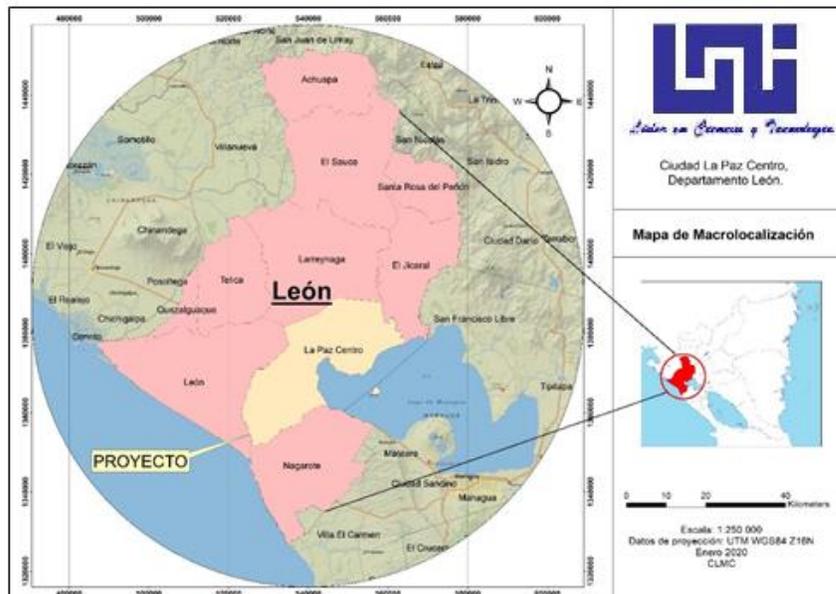
Se elaboró una tabla de Excel que refleja la descripción de las actividades a realizarse en la obra, unidades de obra, cantidades de obra, costos unitarios y costos totales; tanto de materiales como de mano obra. Para esto se utilizará el listado maestro de precios del Fondo de Inversión Social de Emergencia (FISE).

CAPITULO V: DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

5.1. Macro y micro localización del proyecto

El proyecto se localiza en el casco urbano del municipio de La Paz Centro, Departamento de León, Región Pacífico de Nicaragua; el cual, por su ubicación física, tiene límites al Norte con los Municipios de Larreynaga y El Jicaral; al Sur con el Municipio de Nagarote; al Este con el Municipio de Nagarote y el Lago Xolotlán; al Oeste con el Municipio de León. La ciudad de La Paz Centro es la cabecera del municipio de su mismo nombre, y se ubica a 57 Km. al noroeste de la ciudad de Managua, capital de la República y 35 km al este de la ciudad de León. A continuación, se describe la macro y micro-localización del proyecto:

Figura. 1 Macro localización.

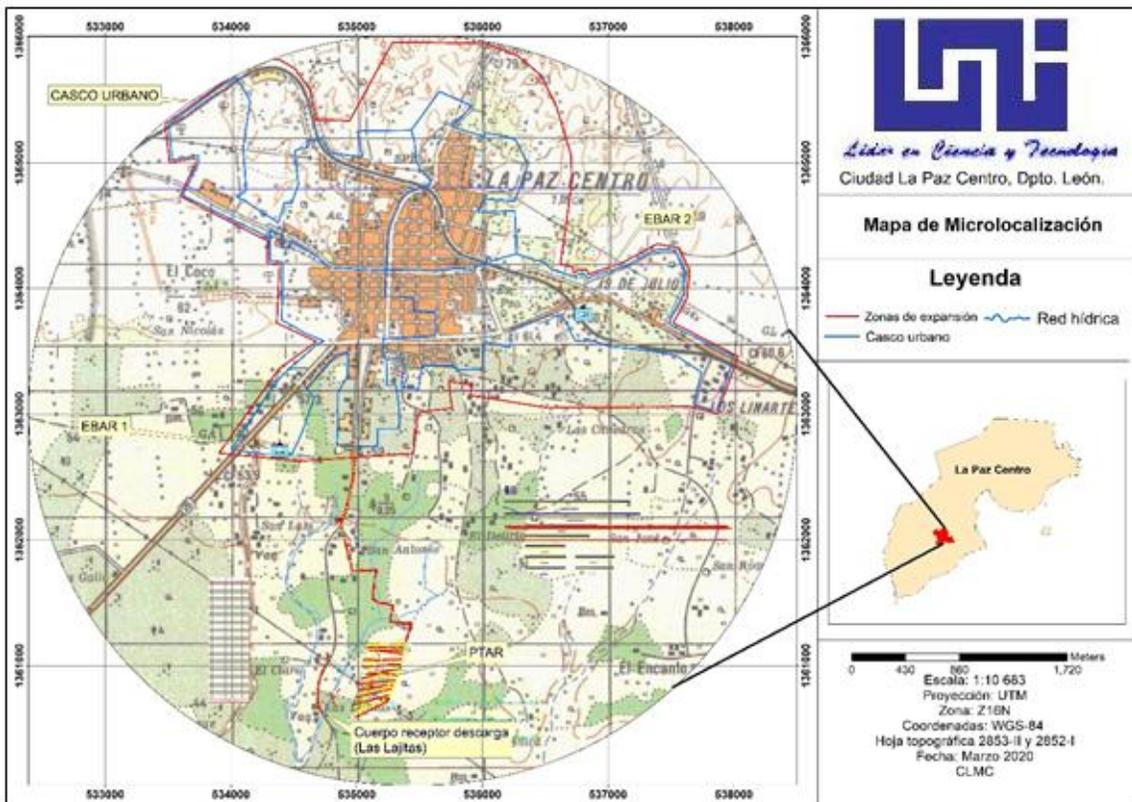


Fuente: Instituto de Estudios Territoriales (INETER)

Desde el punto de vista de la macro-localización, el proyecto se encuentra en el Departamento de León, el cual limita al norte con los departamentos de Chinandega y Estelí, al sur con el departamento de Managua y al oeste con el océano Pacífico. La siguiente figura muestra el mapa de macro-localización del proyecto:

El acceso al casco urbano de La Paz Centro desde la capital, Managua, se realiza a través de la carretera Nueva a León, la cual es la vía principal de acceso, la cual está totalmente asfaltada. En el siguiente mapa se presenta la micro localización del área de este proyecto en la hoja topográfica 2853-II y 2852-I de La Paz Centro, en donde estarán emplazadas las obras del proyecto.

Figura1. Micro localización



Fuente: Instituto de Estudios Territoriales (INETER)

5.2. Población y vivienda

La Paz Centro se caracteriza por estar distribuida en 4 Distritos que agrupan 34 barrios:

- Distrito 1: Santa Emilia; Manuel Velázquez; Enrique López; Enrique Martínez; Felipe López; Otilio García; Tomás Ocampo; y Raúl Cabezas.
- Distrito 2: Betania; Rubén Vílchez; Elías Téllez; Osman Zapata; Tomás Borge; René Linarte; Nicolás Bolaños; A La Esperanza; Madre Teresa de Calcuta; La Paz Vieja; Los jirones; A. Alfonso Cortés; y A La Paz de Cristo..
- Distrito 3: Marcial Muñoz; Valerio Linarte; 17 de julio; Antonio Ulloa; Ausberto Narváez; Agapito Osorio; y Villa San Nicolás.
- Distrito 4: Pancasán; Adrián Reyes; Nelson Medrano; maría Elena Narváez; 19 de julio; y Hermanos Reyes.

Los resultados del conteo de lotes y/o viviendas realizado en febrero de 2023 como parte del presente estudio indica que, en la actualidad, en el área del proyecto habitan 20,228 personas en 4,808 viviendas contabilizadas como ocupadas, con un índice promedio de ocupación de 4.21 habitante/vivienda.

5.3. Servicios básicos y equipamiento social

5.3.1. Servicio de agua potable

El sistema de agua potable de La Paz Centro es administrado por ENACAL mediante una filial a cargo de un funcionario administrativo. El acueducto funciona en la actualidad bajo el esquema Fuente – Tanque – Red.

La fuente de abastecimiento del sistema son las aguas subterráneas mediante un campo de pozos.

A partir de los datos recolectados de la filial ENACAL en 2023, se identificaron 4,471 viviendas con conexión domiciliar, representando el 87.68% del total de edificaciones (5,099).

- El restante 14.53% utilizan sumidero; cauce y pila séptica entre otros para la eliminación de sus aguas residuales.
- El 1.58% no genera aguas residuales.

Servicio de energía

En el municipio se encuentra la Empresa Nicaraguense de Electricidad , la cual brinda el servicio de energía domiciliar y alumbrado público. Existen 4,742 viviendas servidas.

En el municipio existe una planta geotérmica de generación de energía y una sub-estación eléctrica. La cobertura urbana es del 92 % de los barrios y la rural del 96% de las comunidades.

5.3.2. Infraestructura en salud

El sector salud del municipio cuenta con un Centro de Salud y 11 Puestos de Salud, de los cuales 7 son rurales y 4 urbanos. Se dispone de 80 recursos humanos entre médicos, enfermeras y personal de apoyo, de los cuales 65 son permanentes y el resto son de servicio social y temporales. El estado físico de la infraestructura de salud es regular.

De las estadísticas del SILAIS de La Paz Centro, sobre los Motivos de Consulta del año 2023, se tomaron aquellas que tienen más de mil consultas las que se podrían considerar como las enfermedades más comunes y son las siguientes:

Tabla 2. Estadísticas de consultas médicas en SILAIS La Paz Centro

No.	Enfermedad	Hombres	Mujeres	Total	%
1	Infección de vías urinarias	1,695	5,685	7,376	20.71
2	Rinofaringitis aguda (resfriado común)	2,651	3,661	6,312	17.71
3	Hipertensión esencial (primaria)	1,511	4,589	6,100	17.12
4	Tos	952	1,005	1,957	5.50
5	Diabetes Mellitus no identificada	519	1,368	1,887	5.30
6	Artritis reumatoide	402	1,344	1,746	4.90
7	Insuficiencia renal crónica	977	623	1,600	4.50
8	Parasitosis intestinal	481	1,115	1,596	4.48
9	Otras afecciones inflamatorias de la vagina y de la vulva	0	1,534	1,534	4.31
10	Diabetes Mellitus insulinodependiente	224	982	1,206	3.39
11	Diabetes Mellitus no insulinodependiente	346	766	1,112	3.12
12	Amigdalitis aguda	468	604	1,072	3.00
13	Epilepsia	583	486	1,069	3.00
14	Diarrea y gastroenteritis	552	504	1,056	2.96
Total		11,361	24,266	35,623	100

Fuente: MINSA – Silais La Paz Centro

5.3.3. Infraestructura educativa

En el municipio existen 39 centros educativos, 24 rurales y 15 urbanos con una población estudiantil de 8,006 y 375 profesores (personal en nómina y profesores comunitarios).

5.3.4. Comunicación

El Municipio presta servicio de comunicación telefónica a cargo de la Empresa Nicaragüense de Telecomunicaciones.

5.3.5. Transporte

El sistema vial urbano se estructura a partir de la intersección de la carretera hacia León y Managua, con calle de acceso pavimentada hacia el norte con el parque Central. De eje la ciudad forma una trama rectangular de vías ortogonales que se fragmentan al llegar las calles a la periferia de la ciudad en las cuatro direcciones.

5.4. Servicios municipales

5.4.1. Recolección, transporte y disposición de residuos sólidos

El porcentaje de cobertura del servicio de recolección, es 80% en el área urbana y el 20% el área rural algunos barrios no reciben el servicio por problemas de acceso en dichos lugares, la población urbana se estima en 32,148 habitantes aplicando la fórmula del manual elemental de los servicios municipales, los ciudadanos del área urbana producen 42.34 m³ de basura al día. Según el área de epidemiología del MINSA del municipio de La Paz Centro, los que son retirados por el equipo recolector los días lunes a domingo.

5.4.2. Cementerio

El sector urbano de La Paz Centro cuenta con 1 cementerio, ubicado al noroeste de la ciudad; tiene una superficie de terreno calculada por el área de catastro en 33,304.24 m². El 75% de su superficie se utiliza para uso o asignación de fosas; y el restante 25% es para andenes, muro perimetral, oficina del cementerio y calles internas.

5.4.3. Parques

La ciudad de La Paz Centro, dispone de tres parques: Central, Recreativo periférico y Sectorial.

5.4.4. Mercado

Existe un único mercado ubicado en el casco urbano de La Paz Centro. Sin embargo, esta infraestructura no está funcionando debido a que se está organizando para ponerlo nuevamente en funcionamiento.

5.5. Características del medio abiótico

5.5.1. Clima

El territorio de La Paz Centro se encuentra en la zona climática de la Sabana, siendo su precipitación anual de 500 – 2000 mm máximo. Posee dos estaciones: estación lluviosa que abarca desde mediados de mayo o a inicios de junio hasta finales de octubre o a inicios de noviembre (5 meses aproximadamente) y la estación seca que va de noviembre hasta mayo (siete meses aproximadamente).

La temperatura media anual es de 27°C, la humedad relativa media anual es de 76 %. La velocidad media anual de los vientos es de 1.8 m/s, 5.75 Km/h, con un mínimo de 3.25 Km/h y un máximo de 10.15 Km/h, los vientos tienen mayores velocidades en los meses secos con un máximo en marzo de 8.64 Km/h y menores velocidades en septiembre con un mínimo de 3.6 Km/h. La dirección predominante de los vientos es de este a oeste. La altitud comprende de 0 a 100 msnm. (Alcaldía La Paz Centro, 2008).

5.5.2. Geomorfología

El municipio de La Paz Centro se ubica en las provincias geomorfológicas: Planicie o Llanura del Pacífico, también llamada Planicie Nagrandanos; Cordillera Volcánica del Pacífico, y Depresión Nicaragüense. La Cordillera Volcánica del Pacífico atraviesa el territorio municipal en dirección noroeste a

este, constituyéndose en el parte agua de dos cuencas: la de la planicie o llanura costera del Pacífico, con elevaciones de 0 msnm a 300 msnm., al sur, y la de la depresión nicaragüense, con elevaciones desde los 30 msnm. (Nivel del lago) hasta los 300 msnm al norte.

Además, en la Planicie Nagrandanos, al norte de la cabecera municipal se ubica una zona fisiográfica de Lomeríos de La Paz Centro, de baja altura asociada con pequeñas planicies; las alturas varían de 100 msnm., a 181 msnm.; también en el sector sureste se encuentran Las Mesas del Tamarindo constituidas por un conjunto de lomeríos encadenados de baja altura, 63 msnm. la mayor, con pendientes entre de 5 a 50 %.

El área del proyecto se ubica dentro de la planicie Nagrandanos, la cual es una extensa llanura de origen volcánico, con una pendiente de más o menos 2% hacia el suroeste, ocupa un 70% del área de estudio y comprende las partes bajas de los departamentos de Chinandega y León (incluyendo los municipios de Nagarote, La Paz Centro, León, Chinandega, El Viejo y Tola). Hacia el suroeste bordea casi en su totalidad las zonas más altas que corresponden a las mesetas del Tamarindo.

5.5.3. Uso potencial del suelo

En cuanto al uso actual del suelo, en el municipio de La Paz Centro predomina el uso para cultivo anual, vegetación arbustiva y tacotal. Según refiere el Plan de Desarrollo Municipal de La Paz Centro la mayor parte del territorio del municipio está ocupado en la siembra de cultivos agrícolas anuales con alto grado de mecanización entre los que se puede mencionar: Soya, Maní, Sorgo. La pequeña y mediana producción, usan la tierra en otros cultivos como: Maíz, Sorgo, Ajonjolí.

5.5.4. Hidrología

Hidrológicamente el municipio de La Paz Centro se ubica en la vertiente del Pacífico y comprende tres cuencas hidrográficas:

- La Cuenca 64 o cuenca entre Cosigüina y Tamarindo
- La Cuenca 69 o cuenca río San Juan
- La Cuenca 66 o cuenca río Tamarindo

El casco urbano del municipio de La Paz Centro, y área de estudio, está comprendida específicamente entre la cuenca 64 y la cuenca 66, siendo ésta última la que abarca la mayor parte del territorio del casco Urbano.

La principal fuente hídrica superficial es la cuenca 66 constituida por el río Tamarindo, el cual cuenta con 33 Km. de longitud, con un área de drenaje de 318.0 Km². Tiene sus cabeceras en la amplia llanura situada entre Nagarote y La Paz Centro, donde confluyen las quebradas de San Antonio, San Gabriel y Paso de Don Diego, que la conforman.

CAPITULO VI: ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

6.1. Estudio socioeconómico

Se aplicó una muestra de 1,063 viviendas las que fueron seleccionadas al azar llenando el formulario por manzana en los barrios que conforman el área urbana del municipio, a partir de una encuesta cuyo formato es recomendado por el FISE, para conocer la situación en la que se encuentran actualmente las viviendas. La muestra fue obtenida a través de la fórmula de Piure López 2008.

- Nivel de confianza asignada = 1.96.
- Proporción de individuos que poseen en la población la característica del estudio = 0.50.
- Proporción de individuos que no poseen esas características = 0.50.
- Error muestral admitido = 2.50 %
- tamaño de la población en estudio = 4,808 Viviendas.

Este estudio permitió conocer la situación actual de la población de la ciudad y así mismo comprobar la necesidad de un sistema de alcantarillado. A continuación, se presenta el resumen de los resultados obtenidos del procesamiento de las encuestas socioeconómicas.

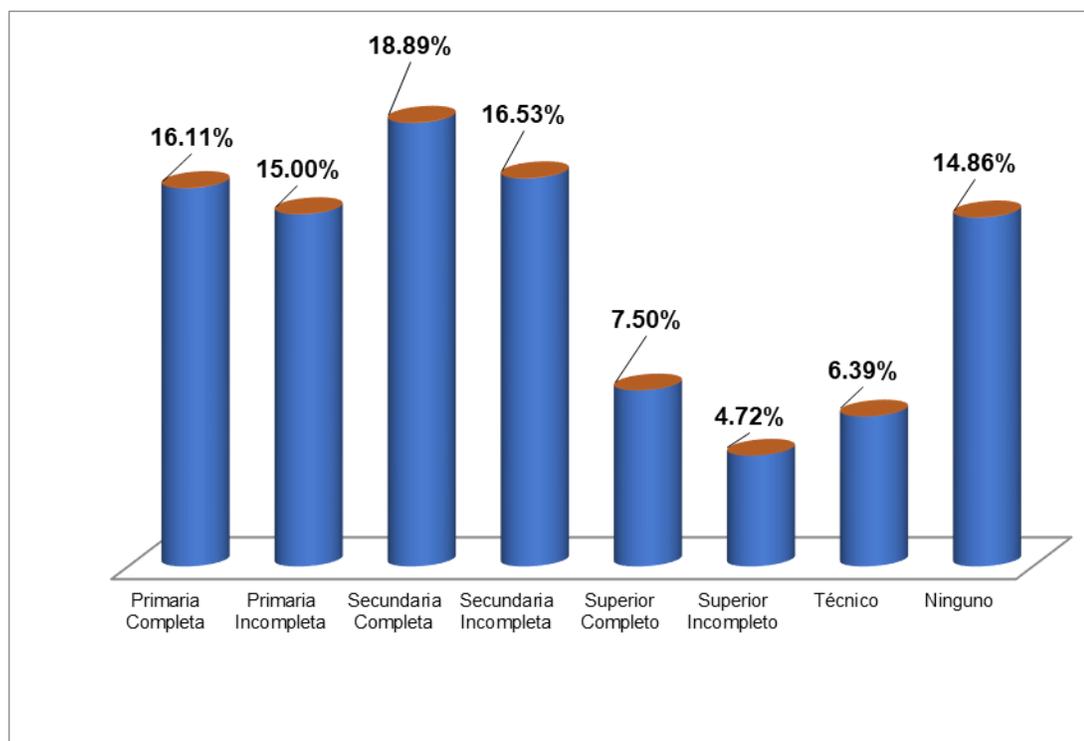
6.1.1. Grado de instrucción de la persona encuestada

Del total de personas encuestadas el mayor porcentaje se concentra entre primaria completa y secundaria incompleta. Se presenta un análisis por separado de hombres y mujeres. En el caso de los hombres el mayor porcentaje es Secundaria completa con 18.89%.

Las mujeres poseen los porcentajes más altos con ninguna instrucción con el 14.86% en relación a los hombres que tienen el 11.95%. En primaria completa

las mujeres presentan el porcentaje un poco más bajo que los hombres que tienen un 20.99%; en el nivel superior completo el porcentaje de mujeres es mayor 7.50% con relación a los hombres con 6.41%. Estos datos reflejan que hay una brecha corta en el nivel de instrucción de hombres y mujeres en la ciudad de La Paz Centro (ver figura siguiente).

figura2: Grado de instrucción de la persona encuestada (femenino)

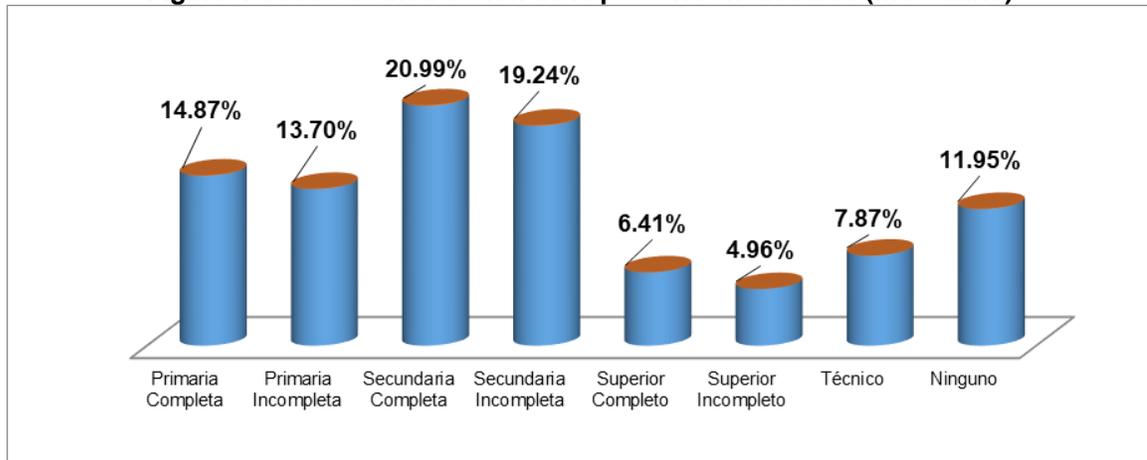


Fuente: Elaboración propia

Se observa que el porcentaje más alto de instrucción de los hombres igual que las mujeres es secundaria completa con el 20.99% con una poca diferencia en el porcentaje (ver figura3). Estos datos del grado de instrucción de las personas encuestadas nos brindan también evidencia de la calidad de la información recopilada a través de la encuesta.

Con relación al grado de instrucción, el censo de edificaciones del Banco Central de Nicaragua año 2015 registro 4688 viviendas y el censo del INIDE refleja a las personas que al momento del censo estaban cursando un nivel escolar asistiendo a un centro de estudios, y de acuerdo a las edades establecidas para el curso de los mismos (primaria de 6 a 12 años y secundaria de 13 a 17 años) concepto diferente al aplicado en la encuesta de este estudio pues se refiere a las personas que han concluido un nivel de instrucción y con una edad mayor de 16 años. Solo hay coincidencia en la población con ningún nivel de instrucción.

Figura3: Grado de instrucción de la persona encuestada (masculino)



Fuente: Elaboración propia

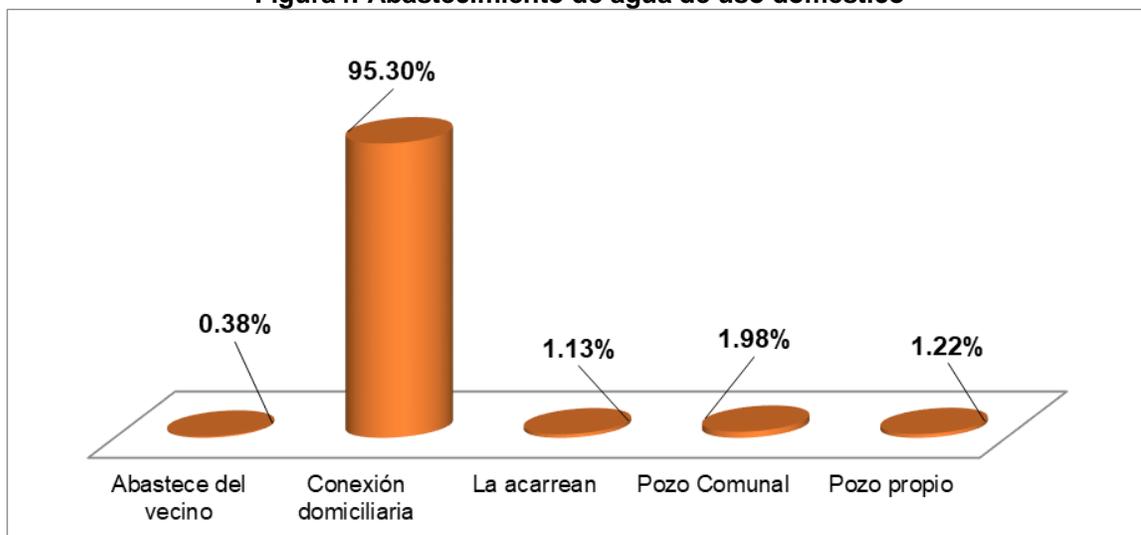
6.1.2. Abastecimiento de agua para uso doméstico

El 95.30% de las familias entrevistadas dicen que se abastece de la red de agua potable administrada por la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados, ENACAL. En el año 2005 con el censo de población y viviendas de INIDES se identifica una cobertura del 87.42% de las viviendas.

En el año 2015 el Banco Central de Nicaragua con el censo de edificaciones indica que el 99.60% de las viviendas cuentan con el servicio de agua potable en un universo de 4,688 viviendas.

El 4.70% de las familias entrevistadas, la obtiene mediante otros medios: pozo comunal son principalmente un barrio periférico; tiene pozo propio y lo utiliza como fuente de abastecimiento; otros la acarreas o se la regala el vecino mediante manguera o la van a traer en baldes (ver figura siguiente).

Figura4: Abastecimiento de agua de uso doméstico



Fuente: Elaboración propia

El 63.20%, que representa la mayoría de los encuestados, consumen menos de 30 m³ por mes, el 6.03% consumen entre 31 a 105 m³ al mes. Los altos consumidores son pocos que consumen más de 76 m³.

Hay un 30.86% que no sabe cuánto consume por tener conexión directa del servicio de agua potable o no quiso responder por no contar con una factura del servicio de agua potable; algunos no tienen idea del consumo de agua en su vivienda ya que tienen pozo propio, o pozo comunal sin micro medición, o se abastece del vecino.

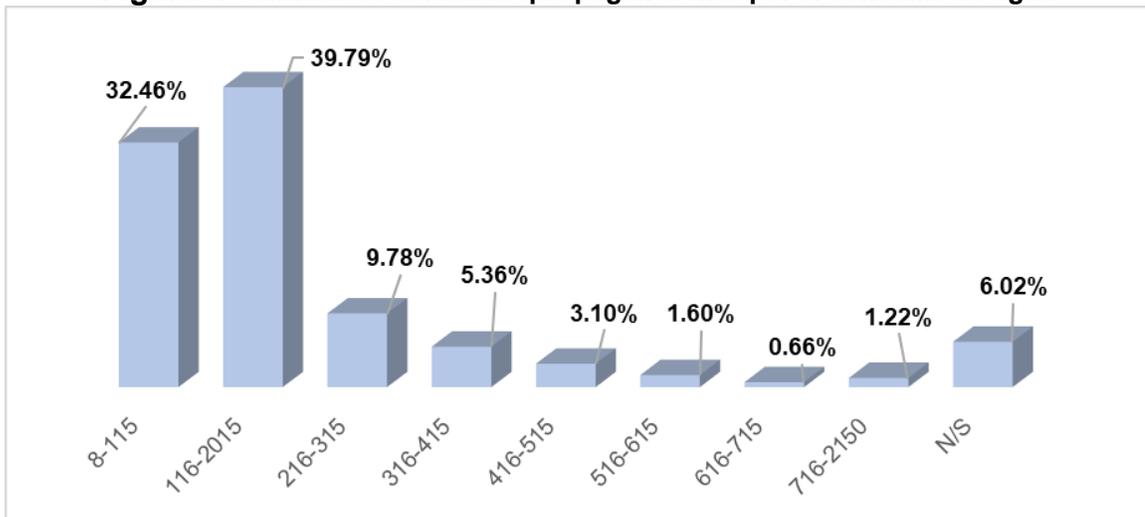
Tabla 3. Cantidad de agua que se consume en las viviendas (m³/mes)

Etiquetas de fila	Frecuencia	Porcentaje
1-15	492	46.28%
16-30	179	16.84%
31-45	43	4.05%
46-60	13	1.22%
61-75	2	0.19%
76-90	4	0.38%
91-105	2	0.19%
No sabe (N/S)	328	30.86%
Total	1,063	100.00%

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al monto pagado por el abastecimiento de agua potable se observa que el 39.79% paga entre C\$ 116 y C\$ 215 córdobas al mes por el consumo de agua y, en segundo lugar, el 32.46% paga un monto menor de C\$ 115 córdobas al mes. Al sumar estas cifras se obtiene que el 72.25% de los hogares paga menos de C\$ 215 córdobas, porcentajes que es cercano con el porcentaje de hogares que consumen menos de 30 m³ (63.2%).

Figura5: Cantidad de córdobas que pagan al mes por el consumo de agua



Fuente: Elaboración propia

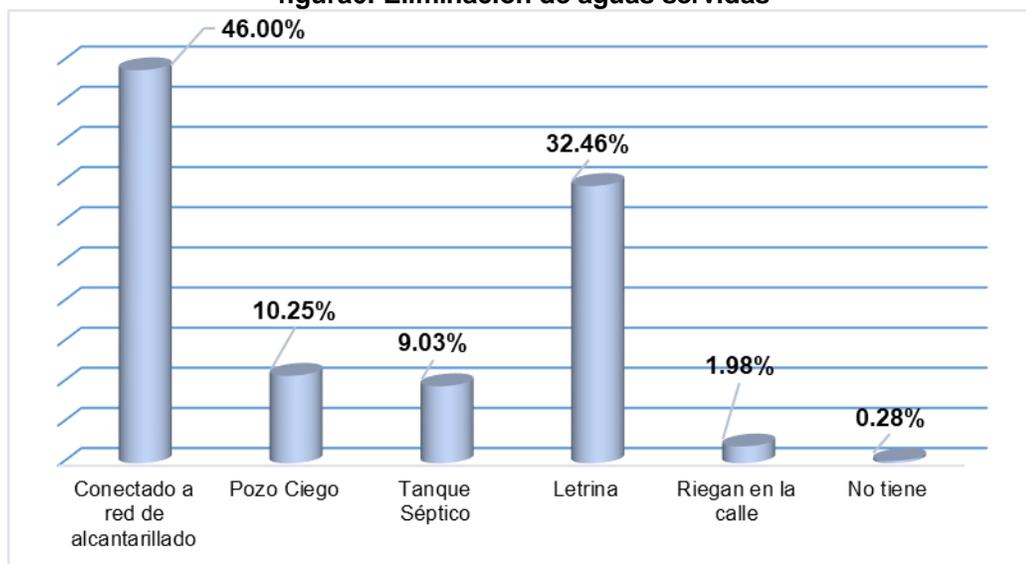
6.1.3. Eliminación de aguas servidas

Las aguas servidas se eliminan de la siguiente forma:

- 46%, que es la mayoría, están conectados a la red de Alcantarillado sanitario existente en una parte del área urbana del municipio.
- El 32.46% utiliza letrina.
- El 10.25% elimina las aguas servidas a un pozo ciego o sumidero.
- El 9.03% tienen tanque séptico
- Solamente el 1.98% elimina las aguas dejándolas correr al patio, calle, cauce o quebrada.
- 0.28% no tiene ningún tipo de servicio higiénico

Acerca del monto en córdobas pagado por servicio de alcantarillado sanitario, se obtuvo que el 26.81% paga menos de C\$ 110 córdobas por servicio de alcantarillado sanitario; el 10.34% expresa que paga entre C\$ 111 y C\$ 210 córdobas por alcantarillado sanitario. Son pocas las familias que pagan un monto mayor de C\$ 211 córdobas por servicio de AS. El resto 60.21% que no respondieron es porque no están conectados a la red de alcantarillado sanitario por no contar con la misma en el lugar donde habitan

figura6: Eliminación de aguas servidas



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Monto de pago por alcantarillado sanitario

Monto C\$	Valores	
	Frecuencia	Porcentaje
0 - 110	285	26.81%
111 - 210	96	9.03%
211 - 310	23	2.16%
311 - 800	19	1.79%
N/S(no tienen servicio)	640	60.21%
Total	1,063	100

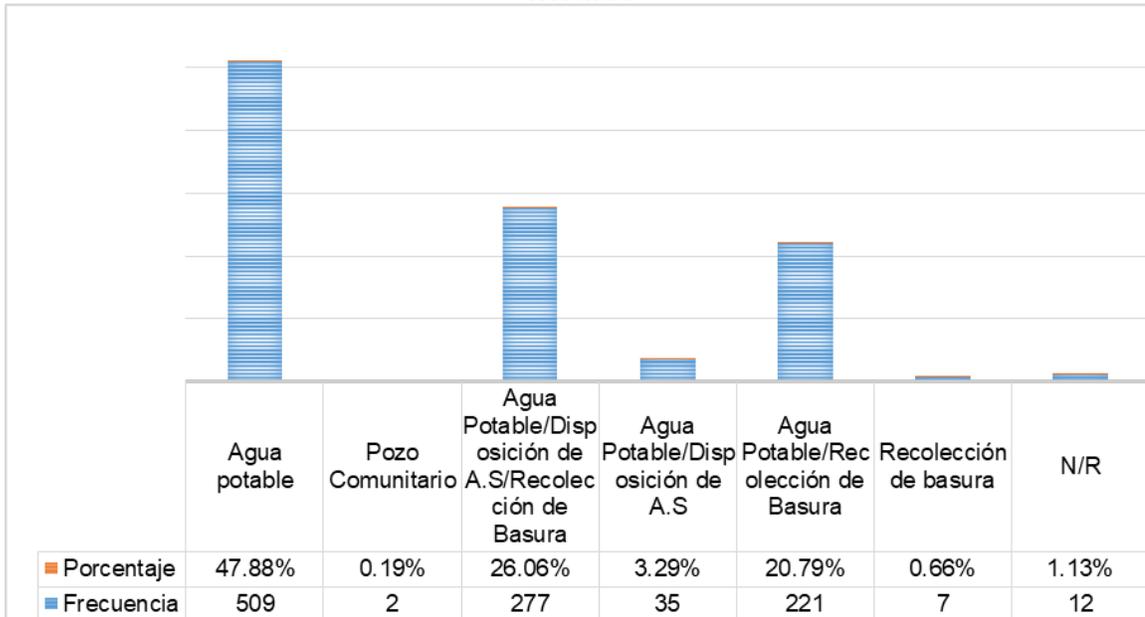
Fuente: Elaboración propia

6.1.4. Tipo de vivienda y servicios de la vivienda

El tipo de vivienda es mayoritariamente una vivienda unifamiliar con el 72.62%, el 27.28% es de tipo familiar donde habitan más personas además del núcleo familiar, solamente el 0.09% es un cuarto en casa de inquilinato.

El 47.88% de las viviendas cuenta solamente con servicio de agua potable, el 26.06% cuenta con los tres servicios básicos de agua y saneamiento (agua potable, disposición de aguas servidas y recolección de basura). El 20.06% cuenta con dos servicios: agua potable y recolección de basura. Se observa en la Figura siguiente que la mayoría, el 98.02% de las viviendas, cuenta con servicio de agua potable, el 47.51% con recolección de basura y el 29.35% tienen servicio de alcantarillado sanitario.

Figura 7: Servicios de la vivienda



Fuente: Elaboración propia

6.1.5. Percepción de los problemas de saneamiento

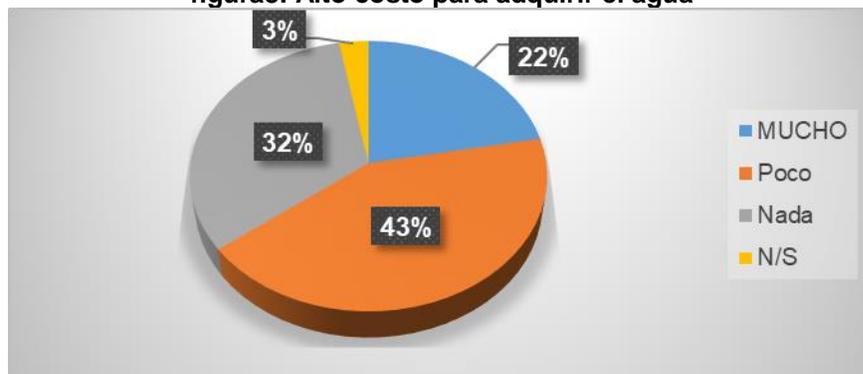
En esta sección se exponen las respuestas obtenidas de las personas encuestadas, al presentarles los problemas relacionados con el abastecimiento de agua potable y el saneamiento para conocer la percepción que tienen sobre cuánto afectan al barrio estos temas. La pregunta es: ¿De los siguientes problemas cómo cree usted que afectan a los habitantes del barrio?

Falta de higiene personal: La respuesta obtenida para este ítem es que el 70.46% considera que en “Nada” afecta este problema al barrio siendo ésta la respuesta de más alto porcentaje. El 17.50% considera que incide “Poco” y el 11.85% consideran que “Mucho”.

Enfermedades por falta de agua: El 40.64% y el 35.18% consideran que hay poca o no hay afectación al barrio por enfermedades relacionadas con la falta de agua, lo cual está relacionado con que el 98.02% de las viviendas, cuenta con servicio de agua potable.

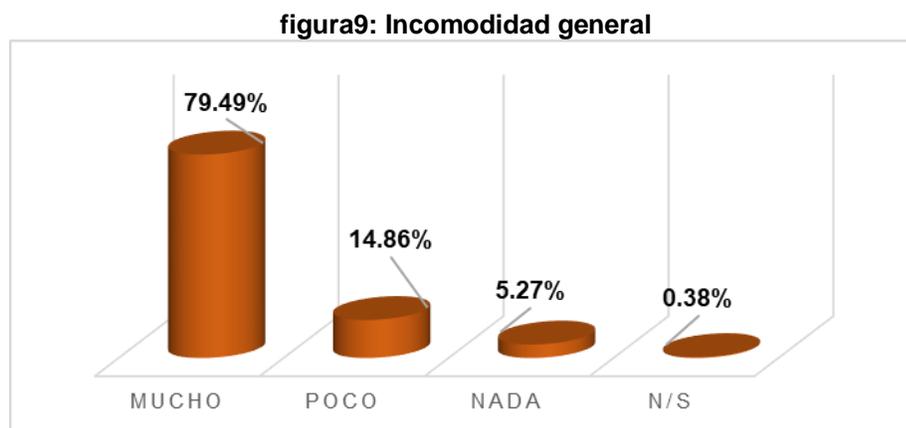
Alto costo por adquirir agua: El 42.62% y el 32.46% consideran que “Nada” o hay poca afectación al barrio por el alto costo para adquirir el agua. Es casi coincidente con el 72.25% que paga menos de C\$215 córdobas al mes por el consumo de agua. El 22.01% considera que hay mucha afectación.

figura8: Alto costo para adquirir el agua



Fuente: Elaboración propia

Incomodidad general: El 79.49% consideran que en “Mucho” afecta al barrio la incomodidad general; el 14.86% dicen que hay poca afectación y el 5.27% considera que hay “Nada” de afectación, solamente el 0.38% no respondió.



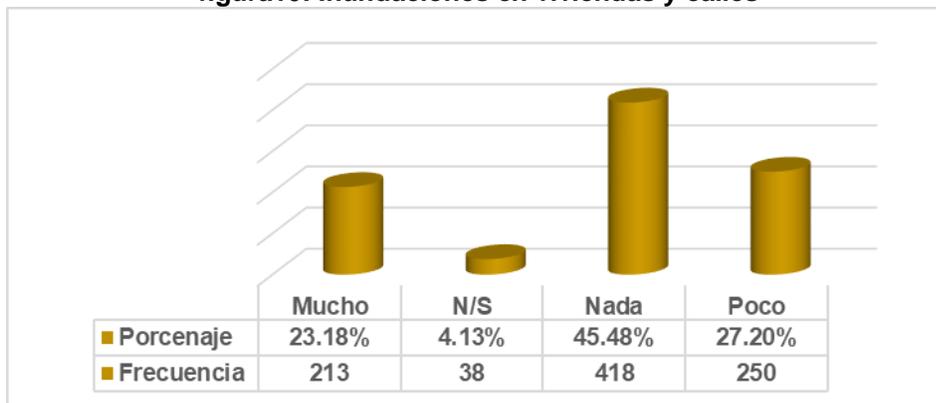
Fuente: Elaboración propia

Baja calidad de vida: El 34.43%, considera que en “Nada” afecta la baja calidad de vida a los habitantes del barrio; no obstante, son pocas las diferencias en porcentajes entre la percepción de “poco y mucho” esto podría indicar que hay cierto grado de conciencia acerca de la incidencia que hay entre la calidad de vida con el agua potable y las condiciones de saneamiento.

Mal olor por alcantarillado sanitario: El 72.06% de los encuestados considera que el mal olor del alcantarillado sanitario afecta “nada o poco”. El 24.37%, percibe que sí afecta en mucho. Hay que tomar en cuenta que solamente el 29.35% de la población respondió que tiene acceso al servicio de alcantarillado sanitario.

Inundaciones en viviendas y calles: Las personas encuestadas perciben que las inundaciones en las viviendas y calles es poca o nada con el 72.68%. Solamente el 23.18% percibe que ese problema les afecta mucho.

figura10: Inundaciones en viviendas y calles



Fuente: Elaboración propia

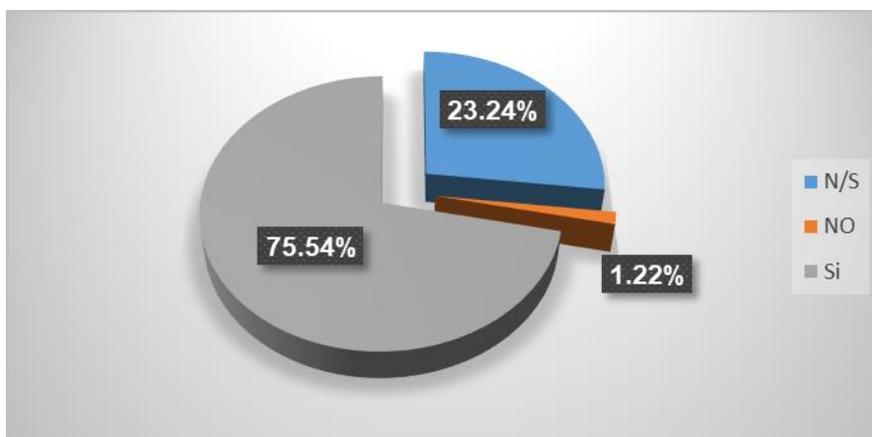
6.1.6. Interés por resolver estos problemas

El 98.8% de las personas encuestadas está “muy interesado” o “interesado” en que se resuelvan estos problemas de saneamiento y de salud de la población.

6.1.7. Dispuesto a conectar a la red de alcantarillado sanitario

El 75.54% de las personas encuestadas estaría dispuesto a conectarse a dicho sistema si frente a su casa pasara la red. Solamente el 1.22% expresó que no está dispuesto

figura11: Dispuesto a conectar a la red de alcantarillado sanitario



Fuente: Elaboración propia

6.1.8. Personas con ingreso:

En el 59.08% de las viviendas hay solamente 1 persona que tiene ingresos económicos, y en el 25.49% hay dos personas que tienen ingresos en la familia lo cual les permite su subsistencia. Solamente el 10.16% de las familias tienen más de 3 personas con ingresos.

Existen dos actividades económicas principales, sobresaliendo el comercio en primer lugar (25.02%), en segundo lugar, la construcción (25.02%) y en tercer lugar la industria con el 5.83%. En otro con el 11.64% están actividades como, mecánico, peluquera, domésticas, guardas de seguridad, entre otros.

En el año 2005 con el censo de población y viviendas de INIDES se aprecia que hay 1,738 hombres y 1,941 mujeres desde la edad de 10 años que tienen un trabajo permanente ambos suman 3,679 personas que cuentan con un ingreso, comparada con las 3,247 viviendas identificadas se concluye que al momento de la realización del censo al menos 1 persona llevaba ingresos a la vivienda (1.13 personas por vivienda).

Tabla 5. Actividad principal de las personas con ingreso

Etiquetas de fila	Valores	
	Frecuencia	Porcentaje
Agricultura	37	3.48
Comercio	266	25.02
Construcción	266	25.02
Empleo Público	57	5.36
Industria	62	5.83
Jubilado	36	3.39
Ninguna	50	4.70
Profesional	6	0.56
Remesas	20	1.88
Técnico	59	5.55
Transporte	163	15.33
Otro	41	3.86
Total	1,063	100

Fuente: Elaboración propia

6.2. Diagnóstico físico del sistema de alcantarillado sanitario y tratamiento existente

La delegación de ENACAL de la Ciudad de La Paz Centro es la encargada de prestar los servicios de distribución de agua potable y red de recolección de aguas servidas, esta institución es la encargada de administrar, operar y dar mantenimiento a los sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario público de la ciudad.

6.2.1. Alcantarillado sanitario existente

El sistema de alcantarillado sanitario existente es del tipo convencional reducido, que hidráulicamente drena por gravedad hacia la planta de tratamiento existente.

El Alcantarillado sanitario existente está conformado por una red de tuberías y pozos de visitas que recolectan el agua residual del tipo doméstico, las aguas servidas domésticas son recolectadas en la red de alcantarillado sanitario para un posterior tratamiento en la planta de tratamiento de la ciudad.

En época de invierno la escorrentía pluvial genera un gran caudal en el sistema de alcantarillado sanitario, por lo que las capacidades de la red de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento son altamente superadas, provocando reboses en la red de alcantarillado sanitario y provocando sedimentación de arena en las tuberías

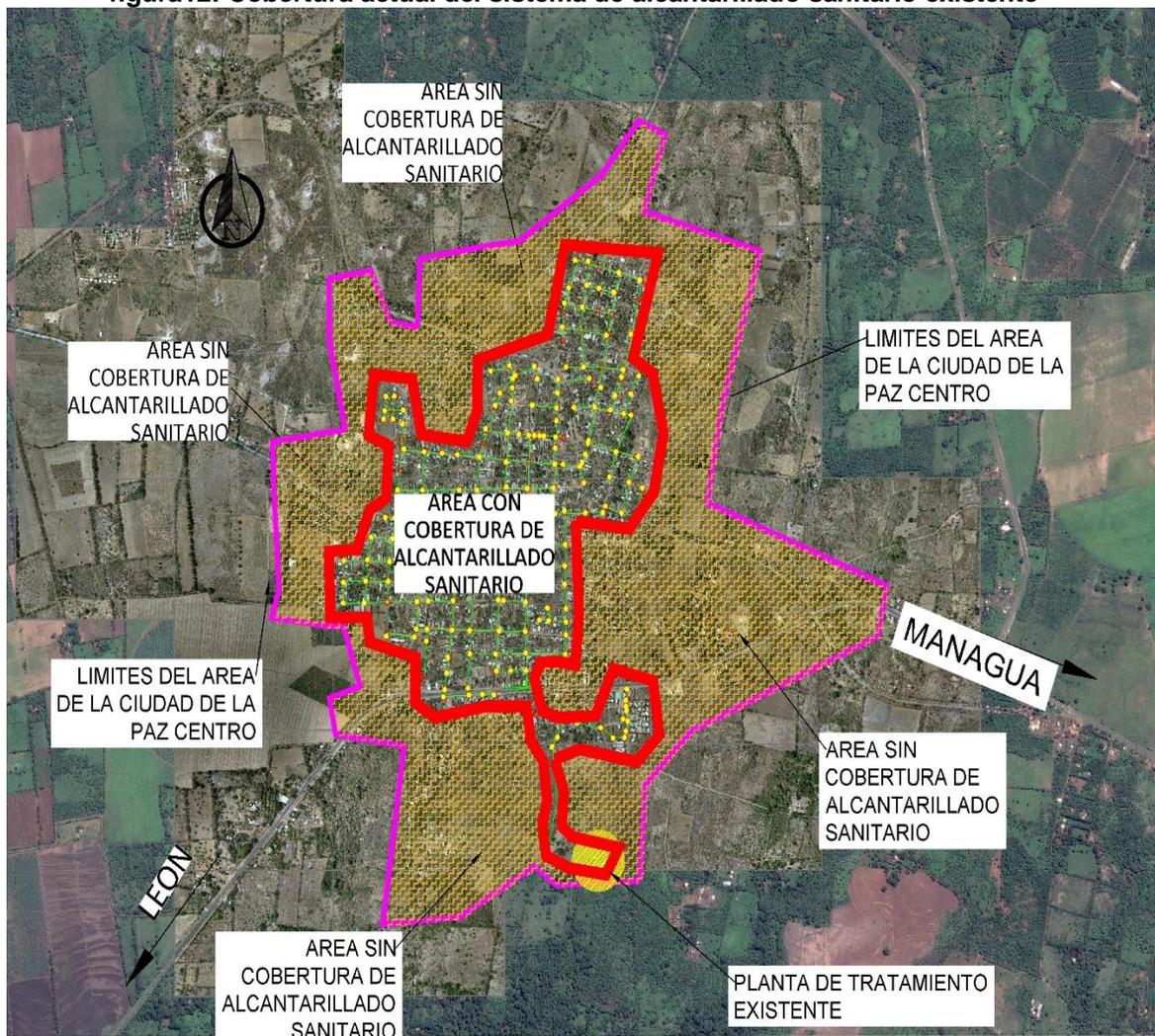
El sistema de alcantarillado está compuesto por 201 pozos de inspección y una red de tuberías de 21,884.20 m de tuberías de 150 mm, 200 mm, 250 mm, 300 mm y 375 mm de diámetro en tuberías de concreto.

La red de alcantarillado, solamente tiene contribuciones domiciliarias, Institucional (institutos e instituciones de gobierno) comerciales (negocios) e

industriales (pequeñas fábricas lácteas que drenan al alcantarillado), que vierte sus aguas a la red de alcantarillado sin previo tratamiento.

Diámetros pequeños para atender a los caudales aportados, los cuales se localizan principalmente en la zona del casco urbano sin definir colectores generales de mayor diámetro que recojan el agua de los conductos de la ciudad. Las falencias del sistema se centran principalmente, en que no se realiza un mantenimiento preventivo a las redes, en consecuencia, se encontraron, muchos pozos y cajas de registro domiciliar rebosados.

figura12: Cobertura actual del sistema de alcantarillado sanitario existente



Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Planta de Tratamiento de aguas residuales existente

Las instalaciones del sistema de tratamiento están situadas en un predio ubicado en la parte sur del barrio Agapito Osorio. El acceso consiste en un camino vecinal que usualmente sirve como basurero, dado que se observan desde restos de basura domiciliar hasta despojos de construcción. El camino es irregular en su conformación y se encuentra en mal estado. De acuerdo a las fuentes consultadas, en la estación lluviosa el camino se hace a veces intransitable.

El terreno donde se encuentran construidas las instalaciones de tratamiento tiene lados irregulares y forma rectangular. En la parte Este, colinda con el camino cauce El Cacao, mientras que en el Oeste colinda con un camino vecinal. El área total del terreno es de 4.82 hectáreas, de los cuales cerca del 50 % es ocupado por las instalaciones actuales de tratamiento, y solamente esta área está cercada con malla ciclón y estructura de hierro, el otro 50% adyacente hacia el sur pertenece a ENACAL, pero no está cercado.

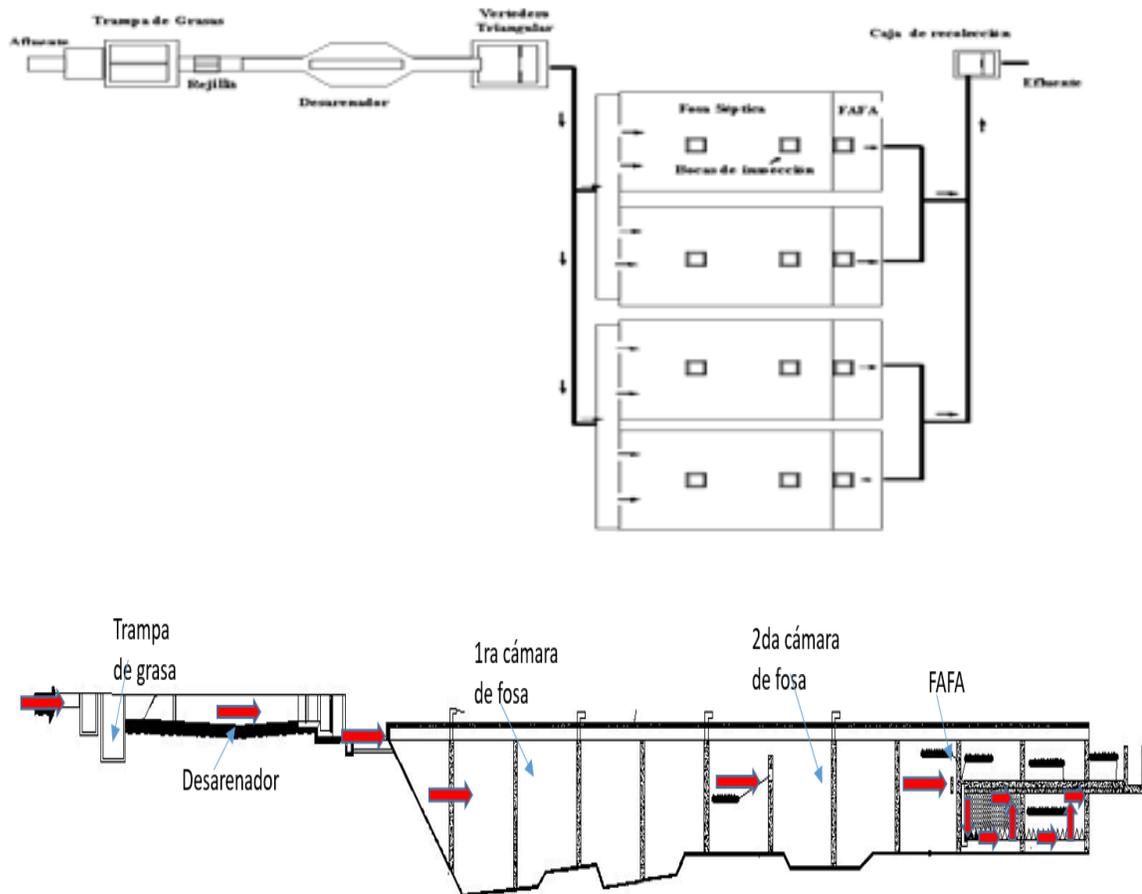
figura13: Ubicación de la antigua Planta de Tratamiento de Aguas Residuales



Fuente: Elaboración propia

El sistema de tratamiento para la ciudad de La Paz Centro está constituido por 4 fosas sépticas con filtro anaeróbico cada uno, cada fosa está diseñado para tratar el caudal de 2,000 personas (ver Figurasiguiente). Para la disposición final del efluente, se cuenta con una estación de bombeo de 15 HP, del tipo sumergible.

figura14: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, ciudad La Paz Centro



Fuente: ENACAL – La Paz Centro

Las instalaciones acusan la carencia sistemática de mantenimiento: El predio, especialmente en su parte este, se encuentra lleno de arbustos y maleza que imposibilitan la circulación. Las partes metálicas del cerco presentan indicios de corrosión.

La infraestructura de tratamiento comprende: a) Estructuras de entrada y tratamiento preliminar b) Tratamiento propiamente dicho, constituido por 4 fosas sépticas colocadas en paralelo y con capacidad de tratar los efluentes de 8,000 personas que producen 4,060.8 m³/día de aguas residuales; c) Estructuras de salida y disposición final.

Inicialmente el punto de descarga de la planta de tratamiento de La Paz Centro fue el camino cauce El Cacao, sin embargo, por las irregularidades del mismo, se formaban lagunas en su recorrido lo que comenzó a crear malestar en los pobladores, ya que sus animales tenían que caminar por esas lagunas lo que provocaba algunas enfermedades en ellos, esto obligo a la institución a la construcción de una estación de bombeo, compuesta por un pozo húmedo de con una bomba y motor sumergible de 15 HP que bombea el agua del efluente hasta 2 km de la PTAR, en este punto existe un cabezal de descarga que sigue el rumbo sur hasta interceptar con el río Tamarindo.

Tabla 6. Calidad del efluente en la PTAR La Paz Centro

Parámetro	Efluente	Decreto 21-2017	Observación
	Valor	Valor	
pH por ciento de hidrógeno	7.2	6 a 9	Cumple
Temperatura °C	28.0	---	
SST(mg/l)	354	100	No cumple
G y A (mg/l) (grasas y aceites)	23.1	20	No cumple
SS (ml/l)Sólidos suspendidos	4.9	1	No cumple
DBO (mg/l)	191	110	No cumple
DQO (mg/l)	288	220	No cumple
Nitrógeno Total (mg/l)	92.3	45	No cumple
Fósforo Total (mg/l)	20.1	15	No cumple
Coliforme Total (UFC)	10E05	10E05	Cumple

Fuente: ENACAL – La Paz Centro

En el efluente ninguno de los parámetros cumple con lo establecido en el Decreto 21-2017, aunque los coliformes cumplen.

6.3. Proyección de Población y caudales de diseño del proyecto

6.3.1. Periodo de diseño

En base a lo especificado en la tabla 4-1 (Periodo de diseño económico para las estructuras de los sistemas) del INAA, teniendo en cuenta la vida útil de las estructuras que componen el sistema; se ha definido un periodo de 25 años, tiempo en el cual se estima un funcionamiento adecuado, siempre y cuando se realice el debido mantenimiento del conjunto en su totalidad.

6.3.2. Población de diseño para el proyecto

6.3.3. Población base:

Con los resultados obtenidos de la encuesta socioeconómica y el conteo de viviendas, se toman las 4,808 viviendas reportadas en el conteo como “Ocupada hay gente” y “Ocupada no hay gente” y se multiplica por el índice de hacinamiento de la encuesta que es de 4.21 habitantes/vivienda para obtener una población actual de 20,228 habitantes que son la referencia para el diseño del sistema de alcantarillado sanitario.

Análisis de la tasa anual de crecimiento poblacional:

La encuesta socio-económica permitió obtener una fuente de información primaria para la elaboración de la línea base. El Universo de viviendas de la ciudad de La Paz Centro es de 4,808 viviendas reportadas en el conteo incluyendo como “Ocupada hay gente alquiler o pretamo” y “Ocupada no hay gente en custodia.

En la siguiente Tabla se analiza las tasas de crecimiento con el dato presente de población del censo realizado por este trabajo de investigación.

Tabla 7. Tasa de crecimiento, ciudad de La Paz Centro

Descripción	Año	Población (Habitantes)	Tasa de crecimiento (%)	Diferencia de habitantes
INIDE, censo 2005	2005	14,718		
BCN, 2015	2015	18,198	1.78	3480
2023 Encuesta UNI	2023	20,228	1.33	2003

Fuente: Elaboración propia

Lo indicado en la Tabla anterior, concluye que la tasa de crecimiento desde el año 2005 al 2023 fue de 1.78% y que la Tabla de crecimiento desde el año 2015 al 2023 fue de 1.33%

En base a los datos del párrafo anterior y con el fin de proyectar la población al horizonte del proyecto (25 años) y conforme a las normas establecidas por INAA, se aplicará para la proyección de población objeto de estudio una tasa de crecimiento geométrica promedio del 2.50%.

Proyección de población:

Proyectando la población a partir del año 2023 con una población inicial 20,228 habitantes, se obtiene una población al fin del período de diseño de 37,502 habitantes. En la siguiente Tabla se presenta la proyección de población para el período de diseño.

$$Pf = Po(1+TC)^n$$

Donde:

Pf- Población final

Po-Población inicial

TC-Tasa de crecimiento anual

n- Número de años del período de diseño

Tabla 8. Proyección de población, ciudad La Paz Centro

Año	Periodo de Diseño	Población (habitantes)	Año	Periodo de Diseño	Población (habitantes)
2023	Año 1	20,228	2036	Año 14	28,582
2024	Año 2	21,253	2037	Año 15	29,297
2025	Año 3	21,784	2038	Año 16	30,029
2026	Año 4	22,328	2039	Año 17	30,780
2027	Año 5	22,887	2040	Año 18	31,549
2028	Año 6	23,459	2041	Año 19	32,338
2029	Año 7	24,045	2042	Año 20	33,146
2030	Año 8	24,646	2043	Año 21	33,975
2031	Año 9	25,263	2044	Año 22	34,824
2032	Año 10	25,894	2045	Año 23	35,695
2033	Año 11	26,541	2046	Año 24	36,587
2034	Año 12	27,205	2047	Año 25	37,502
2035	Año 13	27,885	(Fin del periodo de diseño)		

Fuente: Elaboración propia

6.3.4. Distribución espacial de la población

La ciudad de La Paz Centro cuenta con una población de 20,228 habitantes distribuidas en un área aproximada de 446.45 Ha, la relación entre población y el área urbana de la ciudad resulta en una densidad población de 45.76 hab/Ha.

Los datos de la encuesta socioeconómica y del conteo de viviendas se obtuvieron otros datos de interés, los cuales son:

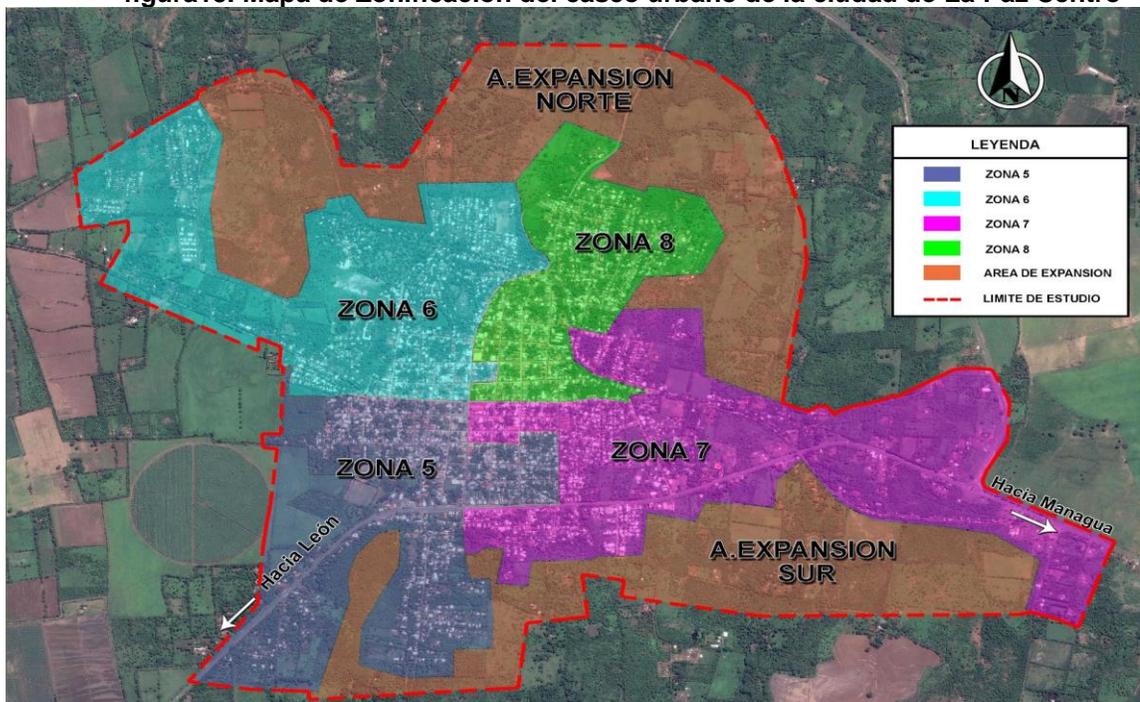
- Vivienda en construcción = 150
- Vivienda desocupada = 178
- Vivienda demolida = 26
- Viviendas en alquileres o venta = 47
- Lotes baldíos = 815

Los datos anteriores indican que existen 1,216 posibles viviendas y/o lotes que serán utilizados durante los 25 años de vida útil del proyecto, utilizando el índice

poblacional de 4.21 hab/viv, tendremos una población igual a 5,119 habitantes que saturarán el casco urbano de la ciudad. La población de saturación es 25,347 habitantes y esta saturación se podrá dar entre el año 9 y el año 10 del periodo de diseño.

Las 4,808 viviendas reportadas en el conteo como “Ocupada hay gente” y “Ocupada no hay gente” y las 1,216 posibles viviendas y/o lotes que serán utilizados durante los 25 años de vida útil del proyecto, se dividen en 4 zonas que se muestran en la siguiente Figura

figura15. Mapa de Zonificación del casco urbano de la ciudad de La Paz Centro



Fuente: Elaboración propia

6.3.5. Caudal de diseño para el sistema

Los caudales de aguas residuales fueron determinados en base a la fórmula para poblaciones mayores de 20,000 de la NTON 09 007-19 Inciso 6.2.1.2, en la siguiente Tabla se exponen los caudales de aguas residuales para una población proyectada de 25 años. Para el caudal de infiltración se definió lo siguiente:

- Para el área de cobertura de alcantarillado existente se utilizó 10,000 L/Ha/día debido a que las tuberías existentes son de concreto.

Área Cobertura AS existente= 113 HA

Qinf área cobertura AS existente= 13.07 L/s

- Para las áreas sin cobertura y/o ampliación de alcantarillado sanitario, se estimaron los diámetros y longitudes de la red de alcantarillado a ampliar, se asignó un caudal para tuberías plásticas de 2 L/hora/100 m por cada 25 mm de diámetro.

Tabla 9. Caudal medio de Aguas Residuales, ciudad La Paz Centro

	Año	Población Proyectada (Hab)	Dotación AP (Lppd)	Consumo AP (L/s)	Caudal Medio Doméstico AR (L/s)	Caudal extra Doméstica AR (L/s)	Caudal Medio Total de AR (L/s)
1	2023	20,228	160.26	37.52	30.02	4.80	34.82
2	2024	21,253	160.64	39.52	31.61	5.06	36.67
3	2025	21,784	160.83	40.55	32.44	5.19	37.63
4	2026	22,328	161.02	41.61	33.29	5.33	38.62
5	2027	22,887	161.22	42.71	34.16	5.47	39.63
6	2028	23,459	161.41	43.82	35.06	5.61	40.67
7	2029	24,045	161.60	44.97	35.98	5.76	41.73
8	2030	24,646	161.79	46.15	36.92	5.91	42.83
9	2031	25,263	161.98	47.36	37.89	6.06	43.95
10	2032	25,894	162.17	48.60	38.88	6.22	45.10
11	2033	26,541	162.36	49.87	39.90	6.38	46.28
12	2034	27,205	162.55	51.18	40.95	6.55	47.50
13	2035	27,885	162.74	52.52	42.02	6.72	48.74
14	2036	28,582	162.93	53.90	43.12	6.90	50.02
15	2037	29,297	163.12	55.31	44.25	7.08	51.33
16	2038	30,029	163.31	56.76	45.41	7.27	52.67
17	2039	30,780	163.50	58.25	46.60	7.46	54.05
18	2040	31,549	163.69	59.77	47.82	7.65	55.47
19	2041	32,338	163.88	61.34	49.07	7.85	56.92
20	2042	33,146	164.07	62.94	50.35	8.06	58.41
21	2043	33,975	164.26	64.59	51.67	8.27	59.94
22	2044	34,824	164.45	66.28	53.03	8.48	61.51
23	2045	35,695	164.64	68.02	54.42	8.71	63.12
24	2046	36,587	164.83	69.80	55.84	8.93	64.77
25	2047	37,502	165.02	71.63	57.30	9.17	66.47

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados de la tabla anterior, se calculó un caudal de diseño para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de 66.47 l/s para el final del periodo en el año 2047. En la tabla siguiente se presenta los resultados del cálculo del caudal de diseño para la red de alcantarillado sanitario de la ciudad de La Paz Centro

Tabla 10. Caudales mínimos, máximos y de diseño de Aguas Residuales, ciudad La Paz Centro

	Año	Población Proyectada (Hab)	Q mínimo Doméstico (L/s)	Q máximo Doméstico (L/s)	Caudal de Infiltración (L/s)	Caudal de Diseño (L/s)
1	2023	20,228	6.00	71.53	15.14	91.47
2	2024	21,253	6.32	75.33	15.14	95.53
3	2025	21,784	6.49	77.30	15.14	97.63
4	2026	22,328	6.66	79.33	15.14	99.79
5	2027	22,887	6.83	81.41	15.14	102.02
6	2028	23,459	7.01	83.54	15.14	104.29
7	2029	24,045	7.20	85.73	15.14	106.63
8	2030	24,646	7.38	87.98	15.14	109.02
9	2031	25,263	7.58	90.28	15.14	111.49
10	2032	25,894	7.78	92.65	15.14	114.01
11	2033	26,541	7.98	95.07	15.14	116.60
12	2034	27,205	8.19	97.57	15.14	119.26
13	2035	27,885	8.40	100.12	15.14	121.99
14	2036	28,582	8.62	102.75	15.14	124.79
15	2037	29,297	8.85	105.44	15.14	127.66
16	2038	30,029	9.08	108.20	15.14	130.61
17	2039	30,780	9.32	111.04	15.14	133.63
18	2040	31,549	9.56	113.94	15.14	136.73
19	2041	32,338	9.81	116.93	15.14	139.92
20	2042	33,146	10.07	119.99	15.14	143.18
21	2043	33,975	10.33	123.13	15.14	146.54
22	2044	34,824	10.61	126.35	15.14	149.98
23	2045	35,695	10.88	129.66	15.14	153.51
24	2046	36,587	11.17	133.06	15.14	157.13
25	2047	37,502	11.46	136.54	15.14	160.85

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla anterior, para el año 2047 resulta un caudal mínimo de 11.46 l/s, Caudal máximo de 136.54 l/s y un caudal de diseño de la red de alcantarillado sanitario de 160.85 l/s; cabe resaltar que el caudal de infiltración resultó moderadamente alto dado el tipo de tubería existente en la ciudad (tuberías de concreto).

6.4. Diseño del sistema de alcantarillado sanitario

6.4.1. Levantamiento topográfico

Para realizar el levantamiento topográfico fue utilizado un teodolito electrónico de alta precisión denominado Estación Total marca Leica , modelo FlexLine TS 02, cual realiza simultáneamente la planimetría con la altimetría y así mismo, registra en su memoria interna las coordenadas (x,y,z) de cada punto observado. Además de esta versatilidad, se transfieren directamente del equipo a la computadora todos los datos tomados en campo para que luego estos fueran procesados por software especializado que automatizan el trabajo de modular digitalmente el terreno

Los equipos utilizados fueron facilitados y operados por el personal técnico de la dirección de proyectos de la alcaldía municipal de La Paz Centro.

Se procedió al desarrollo de los trabajos de la siguiente manera: Georreferenciación y colocación de mojones geodésicos de concreto, colocación de mojones de las poligonales bases, levantamiento y Cierre de Poligonales base, corrida de niveles, referenciación de BM, levantamiento de secciones del predio de la PTAR, levantamiento de pozos de visita sanitarios existentes y como última actividad se desarrolló el seccionamiento de todo el casco urbano de la ciudad de La Paz Centro.

Nivelación:

Para realizar la nivelación de las poligonales bases de primer y segundo orden, se utilizó el Monumento Geodésico denominado GPS-1, ubicado sobre la ruta Managua -León en el KM 57 de la Carretera (Panamericana) al centro de la vía en boulevard, fijando este punto como referencia de partida para la nivelación de todo el proyecto.

El punto de partida para el trazado de la línea de nivelación fue la estación, GPS-1 teniendo una elevación de 61.464 msnm. Los bancos de nivel son los mismos puntos de la poligonal base, el traslado de la cota entre una estación y otra fue realizada con nivel de precisión haciendo el recorrido en ida y vuelta, con la precisión de cierre menor a $12 \text{ mm } \sqrt{k}$ (k), siendo k la distancia en kilómetros o fracción.

La corrida de niveles se realizó desde la estación GPS-1 hacia las estaciones de la poligonal base de 1ra categoría, siguiendo la secuencia de los 4 circuitos que circundan la ciudad.

Posterior a la nivelación de las poligonales bases de 1ra categoría, se procedió a banquear la poligonal de segundo orden, en la secuencia misma de los 3 circuitos de BM, Esta metodología de trabajo permite mantener un mismo sistema de niveles a lo largo de todo el proyecto.

En Anexo se presentan las Tablas de los cierres de nivelación.

Levantamiento de red sanitaria:

Se levantó el 100 % de secciones y detalles, lo que responde a un total de levantamiento ejecutado de 53.73 Km.

Levantamiento de detalles de Pozos de Visita Sanitarios (PVS):

El levantamiento de los Pozos de Visita Sanitario, consistió en recabar la información y características de los PVS existentes en la ciudad, la información recolectada se obtuvo a través de los siguientes criterios:

- Niveles de Tapa
- Niveles de Fondo
- Niveles de Invert y Lomo de tubería (diámetro efectivo), en todas las entradas y salidas del pozo de visita (N, S, E, O).

Se localizaron un total de 201 PVS, distribuidos en el casco urbano de la ciudad.

Concluidos los trabajos topográficos, se tomó la información topográfica recolectada y se procesó para elaborar el Modelo Digital del Terreno (conocido como DTM o TIN), haciendo uso del programa AutoDesk Civil 3D 2018.

6.4.2. Descripción de la red de alcantarillado sanitario propuesta

La red contempla hacer uso de la mayor cantidad de infraestructura existente, Por lo tanto, se proyecta continuar utilizando las tuberías que tengan la capacidad hidráulica para transportar el caudal de diseño.

Aprovechando al máximo el alcantarillado sanitario existente y siguiendo la pendiente natural del terreno (pendiente de norte a sur), se decidió que las tuberías existentes que drenan de norte a sur, en ambos extremos del casco urbano serán reemplazadas debido a que éstas funcionarán como subcolectoras que recogerán el agua servida proveniente de la zona de expansión norte y de las áreas sin cobertura ubicadas al este y oeste de la ciudad.

Se proyecta la ampliación de la red de alcantarillado sanitario, atendiendo las áreas localizadas al este, oeste y sur del casco urbano de La Paz Centro. La red alcantarillado sanitario recolectará las aguas servidas generadas en estas zonas y las transportará (por gravedad) hacia las subcolectoras que se instalaran de norte a sur del casco urbano de la ciudad.

Los subcolectores propuestos drenarán, por gravedad, de norte a sur, hacia una colectora que se ubicará a lo largo de la carretera panamericana. Esta colectora cruzará la carretera en un único punto para dirigirse al sur donde se encuentra el predio de la nueva PTAR.

6.4.3. Modelación hidráulica de la red de alcantarillado sanitario

Los cálculos hidráulicos se efectuaron con el programa SewerCad Connect edition. Los datos de ingreso son principalmente las cotas de nudos, los aportes por nudo, el coeficiente de Manning y las dimensiones (diámetro interior), tipo y material de las tuberías (PVC).

Teniendo en cuenta las profundidades de los pozos de registro de la red existente a los que se debe conectar, se han realizado los trazos de la red secundaria y su respectivo dimensionamiento. En los cálculos, se busca que las profundidades de los pozos de registro tengan pendientes mínimas, por ejemplo, en tramos de arranque que la pendiente; $S_{\text{mín}} = 5.50 \text{ m/Km}$.

Para el diseño se escogieron las tuberías de material de PVC coeficiente de rugosidad de Manning ($n=0.009$). Se verificaron y se garantizó que la evacuación de las aguas residuales no tenga problemas de asentamiento o deposición de sólidos en el fondo de las tuberías, mediante el cálculo de los valores de la fuerza tractiva.

Trazado de las redes en Civil 3D 2018:

Para el trazo de las redes se hizo uso de la herramienta Pipe Networks que posee Civil 3D, esta permite colocar los pozos de visita (Structures) y tuberías (Pipes) con las dimensiones que el usuario requiera. De igual manera el usuario puede definir las longitudes de tuberías; el tipo de material a usar, en este caso se ha utilizado PVC; las profundidades mínimas y máximas de los pozos.

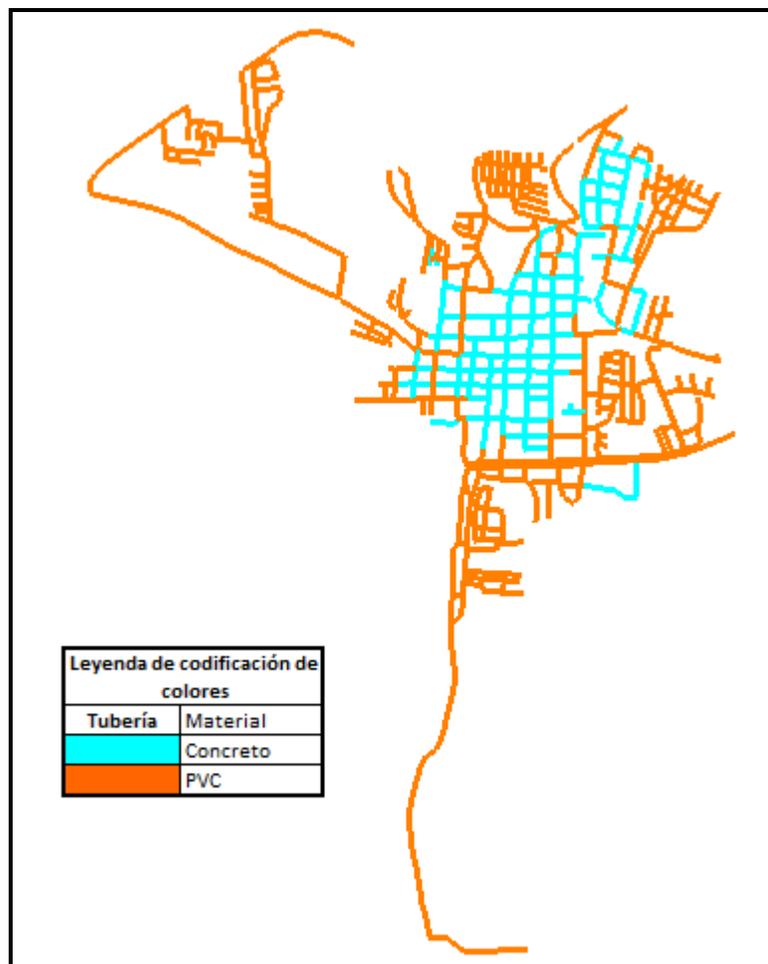
Posteriormente realizada la configuración de la red, se trazaron polilíneas de pozo a pozo en ambas redes. Con las polilíneas trazadas, se copian en un archivo nuevo el cual se guardó como .dxf para luego fuera importado en el software SewerCAD CONNECT Edition.

Los pozos de visita se generan en la red automáticamente, ya que el programa reconoce el inicio y/o fin de las polilíneas como nodos.

Así mismo, desde la información topográfica generada en Civil 3D, se importó la superficie del área con un archivo LandXML para asignar las elevaciones de terreno y, por ende, las cotas de tapa a cada uno de los pozos de visita.

Se ingresó la información recopilada de los Pozos de Visita Sanitarios (PVS) existentes, levantada en campo anteriormente.

figura 16. Red de alcantarillado sanitario propuesta, según tipo de material.



Fuente: Elaboración propia

Asignación de los caudales a los PVS:

Para el cálculo del caudal unitario se ha tomado el caudal de diseño del año horizonte (2047), siendo este de 160.85 l/s y la longitud total de los colectores para obtener el caudal unitario por metro lineal de tubería.

La longitud total de tuberías modelada en este diseño asciende a 56,848.80 m de los cuales 2,015.10 m son de colector que no tiene aporte de caudal. Por tanto, el caudal unitario por metro longitudinal de tubería es de 0.0019914 l/s/m correspondiente a la urbanización existente.

El caudal de infiltración se obtiene de dividir el caudal total de infiltración considerado en la red (15.14 l/s) entre la longitud total de la tubería de la red obteniéndose un caudal de infiltración por metro de 0.00026632 l/s/m.

Obtenido este caudal unitario por metro longitud de tubería total suma del caudal de aporte más el de infiltración este se multiplica por la longitud del tramo de tubería considerado obteniéndose el caudal total del tramo. Este caudal obtenido fue asignado al pozo de vista situado aguas arriba del conducto.

Para dimensionar la red con el aporte de caudal de las zonas de ampliación se ha considerado que el caudal de cada una de ellas ingresa en unos pozos puntuales y así poder dimensionar la red aguas abajo:

Tabla 11. Pozos de inserción de caudales de zonas de expansión

Zona de expansión	Caudal (L/s)	PVS de inserción
Área Norte	5.11	PVS-701
	5.00	PVS-693
	5.00	PVS-619
Área Sur	3.55	PVS-892
	3.00	PVS-882
	3.00	PVS-908
Total	24.66	

Fuente: Elaboración propia

Establecer los parámetros de diseño de acuerdo a las normativas nacionales:

Una vez fueron asignadas las cargas a cada pozo de visita, fue necesario configurar los parámetros con los cuales el programa realizó el diseño, esto para ambas redes.

Es muy importante mencionar ante todo que SewerCad es un software que permite dos opciones, ya sea analizar un sistema de red existente para ver su funcionalidad o diseñar una red completamente nueva. Para este caso, al ser un sistema completamente nuevo, su opción de cálculo será de diseño.

En el panel de la herramienta análisis, se configuren la opción design constraints, todos los criterios con los que la red se diseñó. Aquí se cambió los valores de pendiente mínima, velocidad máxima de diseño y el más importante, la tensión de arrastre o tensión tractiva, el cual debe ser mayor a 1 Pa como especifica INAA; además, se configura la pendiente en el fondo del pozo (2%).

Luego se hizo una revisión exhaustiva en las redes para estar seguro de que tanto a los PVS como a las tuberías se les haya asignado las propiedades correspondientes, como son: El catálogo a usar, tipo de material y el diámetro de tuberías, los diámetros de los dispositivos de inspección. Con la herramienta valídate (Validación de datos) el programa hace saber si se hay errores en el sistema. Hasta que la validación de datos no arrojó ningún error, se procedió a computar las redes.

Resultados del modelo hidráulico:

Tras la modelación realizada se obtienen los siguientes resultados:

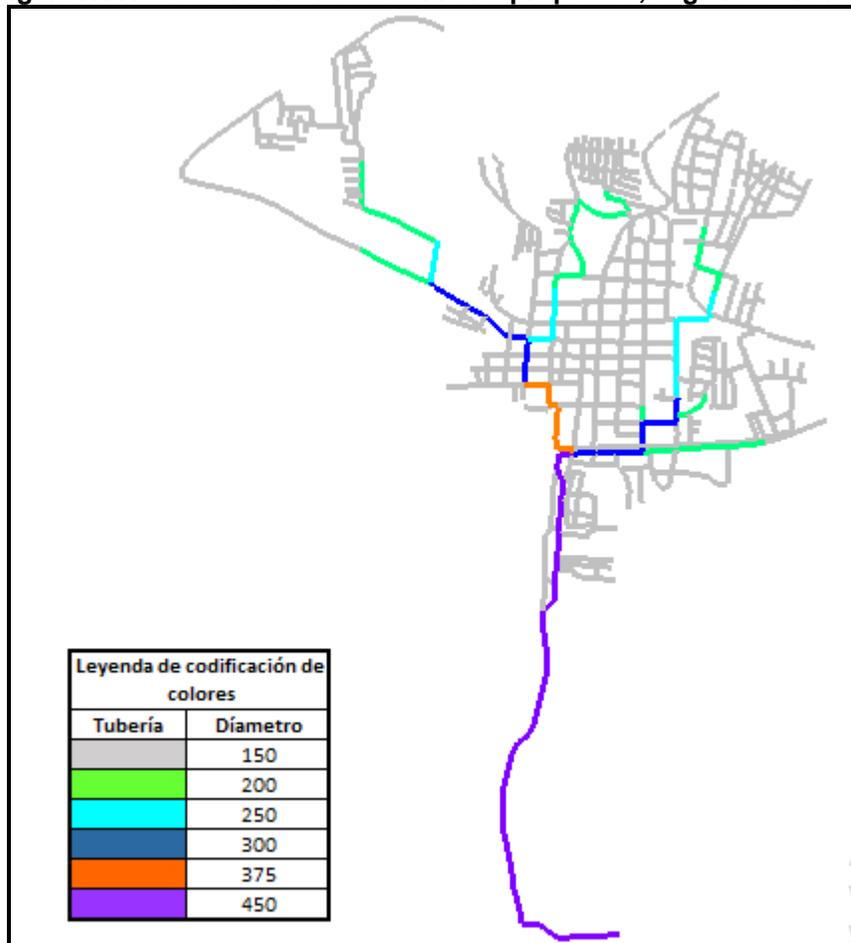
En la red diseñada se conservan 15,065.70 metros de la tubería existente y se instalan 41,782.90 metros de tubería de PVC repartidos según la siguiente tabla:

Tabla 12. Red de alcantarillado mejorado y ampliado, ciudad La Paz Centro

Diámetro (mm)	Longitud (m)			Total
	Existente	Reemplazo	Nuevo	
150	15,036.50	2,342.20	29,541.80	46,920.50
200	0.00	946.90	2,454.10	3,401.00
250	0.00	1,077.80	211.90	1,289.70
300	0.00	1,095.50	505.60	1,601.10
375	29.40	503.90	79.20	612.50
450	0.00	67.90	2,956.10	3,024.00
Longitud Total:	15,065.90	6,034.20	35,748.50	56,848.80

Fuente: Elaboración propia

figura17. Red de alcantarillado sanitario propuesta, según diámetros.



Fuente: Elaboración propia

El sistema actual se mantiene prácticamente en su totalidad, excepto 6,034.20 metros de tubería que amplían el diámetro por razones de capacidad hidráulica y

410 metros que se abandonan, que corresponden principalmente al colector que encauza las aguas a la antigua PTAR. Existen algunos tramos de conducto, contenidos en los 6,034.20 m que se modifican manteniendo el diámetro puesto que la conexión de las zonas de ampliación del alcantarillado sanitario motiva que estos tramos deban ir a mayor profundidad para evacuar las aguas por gravedad.

La tensión tractiva para el caudal de diseño es siempre mayor que 1 Pa en todas las conducciones por las que circula un caudal mayor a 1,5 l/s. Este caudal de 1.5 l/s es el flujo mínimo aplicado en el diseño de alcantarillas, representa el flujo pico que resulta de la descarga de un inodoro, de acuerdo los criterios técnicos para el diseño establecido en la guía de alcantarillado.

La profundidad de los pozos de visita varía entre 1,35 m y los 9.50 m de profundidad máxima.

6.5. Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales

La nueva PTAR es conformada por las siguientes unidades:

- Sistema de Tratamiento Preliminar
- Lagunas Facultativas
- Laguna de Maduración

6.5.1. Calidad del agua residual que ingresará a la nueva PTAR

ENACAL facilitó resultados de calidad de agua residuales de la PTAR existente, con estos datos se realizó la caracterización de las aguas residuales que ingresan a la actual PTAR; los parámetros determinados corresponden a los indicados en el Decreto 21-2017, y son expuestos en la Tabla siguiente.

Tabla 13. Resultados del muestreo de calidad de aguas residuales que ingresan a la Actual PTAR

Parámetro	Valor Agua Residual Cruda			
	2019	Histórico ENACAL ¹		
		Promedio	Máximo	Mínimo
pH	7.30	6.81	7.32	6.00
Temperatura °C	28.50	29.60	30.60	29.00
SST(mg/l)	405.00	194.75	285.00	136.00
Grasas y Aceite (mg/l)	24.20	53.88	84.00	20.00
SS (ml/l)	11.70	2.43	3.00	2.00
DBO ₅ (mg/l)	225.00	171.71	220.00	123.00
DQO (mg/l)	320.00	307.25	422.00	133.00
Nitrógeno Total (mg/l)	95.90	-	-	-
Fósforo Total (mg/l)	19.50	3.35	5.20	1.49
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	1 E+07	1.01 E+08	2.80 E+08	2.20 E+06

Fuente: ENACAL

Para el Nitrógeno total, ENACAL no tiene datos en su registro histórico, y el resultado del muestreo realizado por la Facultad de Ingeniería Química de la UNI, resultó ser muy alto, mayor de 95.90 mg/L, por lo que se adoptó el valor de 20 mg/L, conforme lo sugiere el apartado 7.3 de Metcalf & Eddy, Tratamiento y depuración de las aguas residuales, para una calidad de composición débil para agua residual doméstica.

Para el Fósforo Total, se observa que los resultados del histórico de ENACAL, se encuentra en un rango débil, sin embargo, el valor de monitoreo realizado por laboratorio de la UNI en 2019, resultó un valor muy alto 19.50 resultando con el

¹ Valores promedios del período desde 23/04/2013 al 27/02/2017.

histórico de ENACAL de 3.35 mg/L. Por lo que se adoptó el valor de 4 mg/L conforme lo sugiere el apartado 7.3 de Metcalf & Eddy, Tratamiento y depuración de las aguas residuales, para una calidad de composición débil para agua residual doméstica.

Tabla 14. Calidad de aguas residuales crudas que ingresarán a la nueva PTAR, ciudad La Paz Centro

Parámetro	Valor Agua Residual Cruda
pH	7.30
Temperatura °C	29.60
SST(mg/l)	405.00
Grasas y Aceite (mg/l)	84.00
SS (ml/l)	11.70
DBO ₅ (mg/l)	225.00
DQO (mg/l)	320.00
Nitrógeno Total (mg/l)	20.00
Fósforo Total (mg/l)	4.00
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	1.01 E+ 08

Fuente: Elaboración propia

6.5.2. Caudal de aguas residuales a tratar

Los caudales de diseño determinados para el fin del periodo de diseño de 25 años (año 2047), se presentan en la Tabla siguiente:

Tabla 15. Caudales de aguas residuales, ciudad La Paz Centro

Descripción	Año		
	2023	2032	2047
Caudal mínimo doméstico (L/s)	6.00	7.78	11.46
Caudal medio total (L/s)	34.82	45.10	66.47
Caudal máximo (L/s)	91.47	114.01	160.85

Fuente: Elaboración propia

Dado que la planta de tratamiento de aguas residuales es diseñada con el caudal medio total que llega a la planta, y ésta será modular (tres trenes de tratamiento), de los cuales dos trenes serán construidos en la primera fase para cubrir la demanda del año 2032, el Q medio que se utilizó para el diseño de cada módulo corresponde a 23 L/s. De esta forma la capacidad instalada durante la Fase 1 (período 2023 – 2032) es de 46 L/s; y a inicios de la Fase 2 (período 2032 – 2047), se construirá un tercer módulo adicional de igual capacidad (23 L/s), alcanzando una capacidad instalada total de 69 L/s, valor que supera ligeramente el caudal de aguas residuales esperado para el fin del período de diseño (66.47 L/s).

6.5.3. Descripción de la nueva PTAR

Con los antecedentes antes mencionados en el acápite 6.2.2, la propuesta es abandonar la actual PTAR por las capacidades no adecuadas, su baja eficiencia, deterioro de la infraestructura, y sitio que estará en corto plazo inmerso en el desarrollo poblacional.

La propuesta de la nueva PTAR para la ciudad de La Paz Centro consiste en Pre tratamiento – Laguna Facultativa + Laguna de Maduración.

Las aguas residuales procedentes de la red de alcantarillado sanitario ingresarán a un pozo de gruesos, el cual estará comunicado con la cámara o cárcamo de bombeo desde donde se impulsan las aguas residuales hacia una cámara de estanqueidad.

Después de entrar a la cámara, serán conducidas hasta una estructura de entrada compuesta por un canal de aproximación donde se instalará una estructura de cribado. El agua residual circulará en el canal en donde estará instalada la reja de gruesos con una inclinación de 30° donde quedan retenidos

los sólidos gruesos. Posteriormente, el agua residual atravesará una reja fina en donde serán retenidos los sólidos de menor tamaño.

De la zona de cribado, el agua residual pasará a la unidad de desarenado, compuesta por dos cámaras de flujo horizontal. Esta unidad estará compuesta por dos canaletas parabólicas de velocidad constante y disposición en paralelo, provistas de caja de fondo en donde se retienen las arenas para su evacuación posterior. Para controlar la velocidad transversal uniforme del flujo en el desarenador y registrar el caudal que ingresará a las unidades depuradoras, se instalará una canaleta Parshall prefabricada.

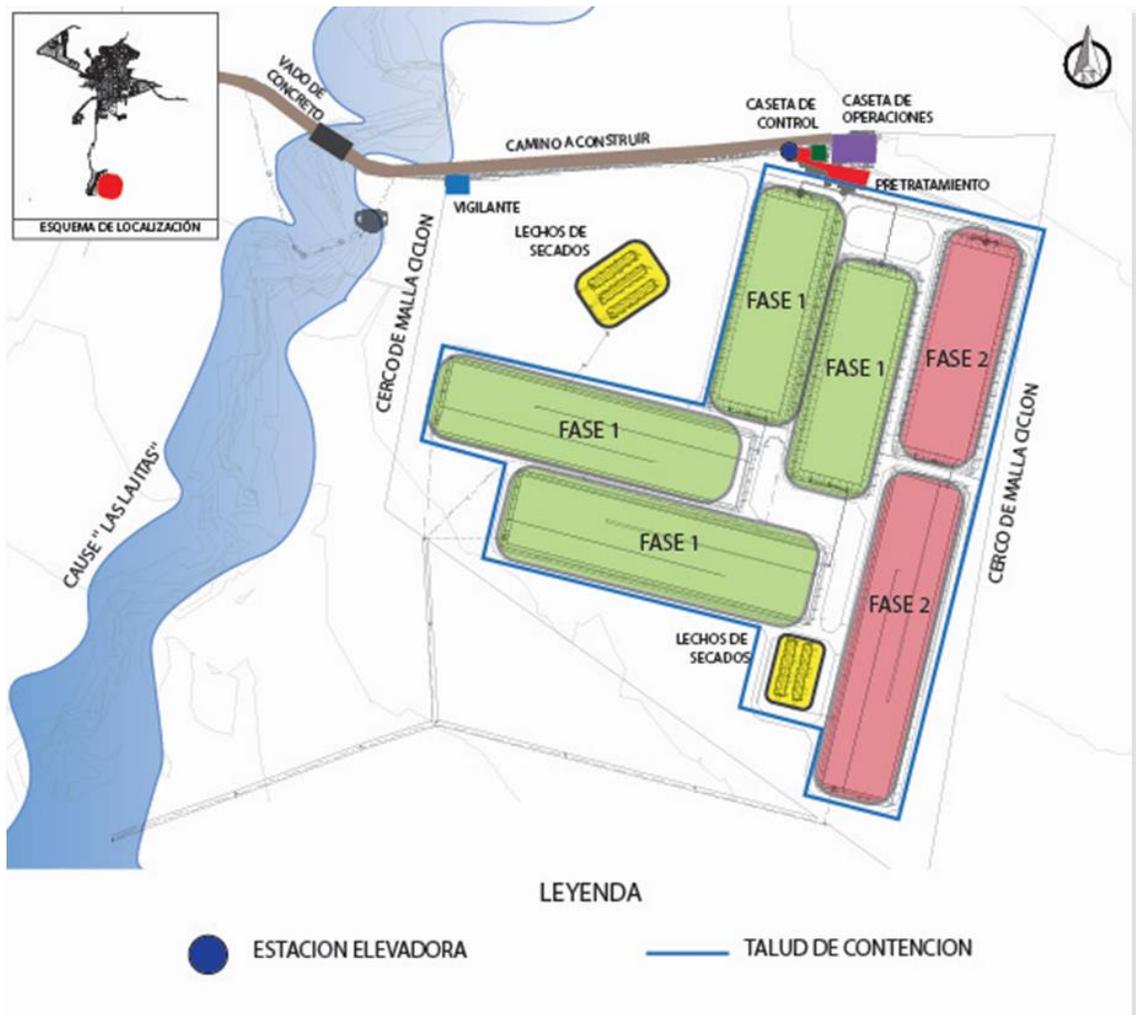
figura18. Ubicación de la nueva PTAR



Fuente: Elaboración propia

Seguidamente se ubicará la unidad desengrasadora para la primera fase del proyecto. Desde esta unidad se distribuirá el agua residual a los 2 módulos de tratamiento secundario. Para la segunda fase (2032 – 2047) se prevé la construcción de otra unidad desengrasadora, a partir de la cual se transportará el caudal hacia un módulo de tratamiento secundario.

Figura 19. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Propuesta



Fuente: Elaboración propia

El agua residual procedente de los desengrasadores será conducida mediante un canal a los módulos de lagunas facultativas primarias. Para la fase 1, se proyectaron dos lagunas facultativas en paralelo de 23 L/s de capacidad cada

una; y para la fase 2, se proyecta 1 laguna facultativa de 23 L/s. El efluente de las 3 lagunas facultativas será conducido hacia igual número de lagunas de maduración (con 2 mamparas). La capacidad total instalada será a partir del año 2032 es de 69 L/s. El efluente tratado será conducido, mediante una tubería de 300 mm y 388 m de longitud, hasta el sitio de vertido denominado cauce “Las Lajitas”.

Los sólidos generados del tratamiento preliminar serán almacenados de forma temporal en contenedores para su posterior traslado y disposición al botadero municipal. Los lodos generados del proceso depurador (lagunas de estabilización) serán retirados con frecuencia mínima de 5 años y trasladados a los lechos de secado. Una vez los lodos estén deshidratados serán trasladados y vertidos en el sitio de disposición que autorice la alcaldía municipal.

6.5.4. Dimensionamiento de la nueva PTAR

El diseño de las unidades de tratamiento de aguas residuales se fundamentó en el cumplimiento de los límites máximos establecido en los Artículos 24 y 25 del Decreto 21 – 2017, cuyos parámetros y concentraciones límites son los expuestos a continuación:

Tabla 16. Rangos y valores máximos para los vertidos de las aguas residuales provenientes de los sistemas de tratamiento

Parámetro	Decreto 21-2017 (Arto.24 y 25)
pH	6 a 9
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	100
Sólidos sedimentables (ml/L)	1
Aceites y Grasas (mg/L)	20
DBO ₅ (mg/L)	110
DQO (mg/L)	220
Nitrógeno Total (mg/l)	45
Fósforo Total (mg/l)	15
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	1.00E+03

Fuente: Decreto 21-2017

Tratamiento preliminar:

El tratamiento preliminar o pre tratamiento consiste en unidades de cribado grueso y fino, estructura de desarenador y canaleta Parshall de 0.229 m de garganta, seguido de una unidad de desengrase. Sus dimensiones son mostradas en la Tabla siguiente:

Tabla 17. Dimensiones de estructuras del sistema de pre tratamiento

Unidad	Ancho m	Largo m	Área superficial m²
Criba gruesa	0.49	1.0	0.49
Criba fina	0.59	1.0	0.59
Desarenador	1.70	7.60	12.92
Desengrasador Fase 1	5.70	5.06	28.84
Desengrasador Fase 2	2.55	4.56	11.63

Fuente: Elaboración propia

Tratamiento secundario:

El tratamiento secundario consiste en 2 unidades de lagunas facultativas con capacidad de 23 L/s., en una primera fase y 1 tercera laguna con capacidad de tratar 23 L/s., en una segunda fase. Sus dimensiones son mostradas en la Tabla a continuación:

Tabla 18. Dimensiones de estructuras del sistema de tratamiento secundario

Unidad	Cantidad de unidades	Ancho m	Largo m	Tirante Agua m	Profundidad Total m	Área Superficial Has
Lagunas facultativas	Fase 1: 2	57.00	161.00	2.50	3.25	0.92
	Fase 2: 1					

Fuente: Elaboración propia

Tratamiento terciario:

El tratamiento terciario, consiste en la proyección de 2 unidades de lagunas de maduración para una primera fase y 1 tercera laguna en segunda fase. Todas ellas, con iguales capacidades que las lagunas facultativas que les preceden. Sus dimensiones son mostradas en la Tabla a continuación:

Tabla 19. Dimensiones de estructuras del sistema de tratamiento terciario

Unidad	Cantidad de unidades	Ancho m	Largo m	Tirante Agua m	Profundidad Total m	Área Superficial Has
Lagunas maduración	Fase 1: 2	54.00	233.00	1.00	1.50	1.26
	Fase 2: 1					

Fuente: Elaboración propia

Lechos de secado:

Consiste en 5 unidades para el secado de los lodos que serán retirados de las lagunas facultativas. Sus dimensiones son las siguientes:

Tabla 20. Dimensiones de estructuras de los lechos de secado

Unidad	Ancho m	Largo m	Área Superficial m ²	Cantidad de Unidades	Área Total m ²
Lechos de secado Fase 1	6.00	40.00	240.00	5	1,240.00

Fuente: Elaboración propia

6.5.5. Calidad del agua residual tratada

El efluente final del tren de tratamiento alcanza niveles de remoción de los contaminantes de control excelentes y cumplen con lo establecido en el Arto. 24 y 25 del Decreto 21-2017 (ver Tabla siguiente).

Tabla 21. Calidad del agua residual efluente de la nueva PTAR, La Paz Centro

Parámetro	Unidad	Eficiencias de remoción/Calidad del agua residual				Límite Máximo Permissible
		Ingres a al Pre tratamiento	Ingres a Laguna Facultativa	Ingres a Laguna Maduración	Vertido	
pH		7.30			7.30	6 - 9
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	22.5%	70.0%	80.0%	18.83	100
		405.00	313.88	94.16		
Grasas y aceites	mg/L	22.5%	60.0%	60.0%	10.42	20
		84.00	65.10	26.04		
Sólidos	mg/L	22.5%	70.0%	80.0%	0.54	1

Parámetro	Unidad	Eficiencias de remoción/Calidad del agua residual				Límite Máximo Permissible
		Ingresas al Pre tratamiento	Ingresas a Laguna Facultativa	Ingresas a Laguna Maduración	Vertido	
Sedimentables		11.70	9.07	2.72		
DBO₅	mg/L	0%	88.49%	69.60%	7.87	110
		225.00	225.00	25.89		
DQO	mg/L	0%	88.44%	69.61%	11.24	220
		320.00	320.00	36.99		
Nitrógeno Total	mg/L	0%	45.0%	57.5%	8.99	45
		20.00	20.00	11.00		
Fósforo Total	mg/L	0%	15.0%	35.0%	2.76	15
		4.00	4.00	3.40		
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	0%	99.81%	99.83%	3.3E+02	1.0E+03
		1.01 E+08	1.01 E+08	1.9 E+ 05		

Fuente: Elaboración propia

6.5.6. Gestión de lodos

Las lagunas de estabilización representan una tecnología cuya principal ventaja es la acumulación de sólidos en el fondo, donde son digeridos bajo condiciones anaerobias. Publicaciones internacionales de estudios efectuados en relación al tratamiento de lagunas facultativas de estabilización en condiciones de laboratorio. Revista EIA, año XI, volumen 11, n°21 Enero a Junio (2014). Colombia registran tasas de acumulación de lodos en el fondo de las lagunas de estabilización de 0.050 a 0.052 m³/persona * año. Por su parte, La Guía INAA establece una contribución de 40 l/habitante * año. A partir de este dato se estima la siguiente generación de lodos:

Tabla 22. Volumen de lodos generados en la PTAR La Paz Centro

Año	Población contribuyente (hab)	Generación de lodos (m ³)				
		Año 1	Año 5	Año 10	Año 15	Año 20
1	21,536	861.44				
5	24,301		982.28			
10	28,001			1.120.04		
15	31,929				1.277.16	
20	36,407					1.456.28

Fuente: Elaboración propia

La acumulación de lodos será únicamente en las lagunas facultativas primarias que puede afectar el rendimiento de la PTAR por la disminución del volumen efectivo. Por ello, la evacuación periódica de éstos es necesaria cada 10 años, como máximo; y de preferencia cada 5 años. Como parte de las infraestructuras que conforman la PTAR, se ha destinado un área específica de 1,200 m² para el almacenamiento temporal y secado de los lodos extraídos de las lagunas de estabilización.

Oportuno mencionar que este lodo se caracteriza por su estabilización. Por ello, una vez está deshidratado (de forma natural por incidencia de la luz solar, ya sea permaneciendo en la laguna de estabilización que lo alberga o en un área destinada para lecho de secado) se le deberá aplicar cal hasta elevar el pH por encima de 11, reduciendo el contenido de patógenos debido a la creación de un entorno que no favorece la supervivencia de los microorganismos.

El tiempo en que debe permanece el lodo con cal es de 2 a 24 horas. Estudios han demostrado que la calidad microbiológica de los lodos de un sistema de tratamiento de lodos de fondo de lagunas facultativas con estabilización en condiciones de laboratorio. Revista EIA INSSN 1797-1237/Año XI / Volumen 11 / Edición N° 21 (Enero – Junio 2014), reunía los requisitos para ser clasificados en la categoría B, en las dos primeras horas del ensayo a un pH de 12. Mientras que, para ser clasificados en la categoría A, la inactivación de Salmonella y Coliformes fecales se lograba después de 2 y 24 horas, respectivamente.

Jhon Jairo Feria, Luisa Martínez

Finalmente, el lodo deshidratado será retirado y trasladado al sitio de disposición que autorice la Alcaldía Municipal.

6.6. Estimación de costos de construcción

El costo total de venta del proyecto asciende a US\$ 13, 276,364.74. De los cuales, la Fase 1 representa el 90.78% (equivalente a: US\$ 12, 052,492.89) y el

9.22% son necesarios para ejecutar la Fase 2 (valor que asciende US\$ 1, 223,871.85).

A continuación, se muestra un resumen de los costos de venta correspondientes a la Fase 1:

Tabla 23. Costo de venta del proyecto de alcantarillado sanitario, ciudad La Paz Centro

Ítem	Descripción	Costo Directo Total US\$
1.	RED DE ALCANTARILLADO	3,764,170.60
1.1	Excavación, relleno y compactación	1,219,007.49
1.2	Suministro e instalación de tubería	646,730.38
1.3	Pozos de visita	951,429.09
1.4	Conexiones domiciliarias	765,055.75
1.5	Remoción y restauración	179,562.45
1.6	Remoción de tuberías y PVS existentes	2,385.44
2	SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	5,351,923.59
2.1	Movimiento de tierra	2,426,003.46
2.2	Estación de bombeo de aguas residuales	161,818.01
2.3	Pre tratamiento	76,444.84
2.4	Lagunas Facultativas	906,857.50
2.5	Lagunas de Maduración	770,555.76
2.6	Lechos de Secado	88,816.50
2.5	Tubería de procesos	59,001.30
2.6	Obras exteriores conexas	636,651.41
2.7	Instalaciones eléctricas	225,774.80
3	SISTEMAS DE TRATAMIENTO INDIVIDUALES	333,095.32
3.1	Soluciones de saneamiento individuales	333,095.32
TOTAL COSTO DIRECTO DE EJECUCION DE OBRAS		9,449,189.51
COSTO INDIRECTO DE CAMPO		1,216,733.40
COSTO DIRECTO MAS COSTO INDIRECTO		10,665,922.91
GASTOS ADMINISTRATIVOS CENTRALES		853,273.83
UTILIDAD ESTIMADA		533,296.15
TOTAL COSTO DE VENTA		12,052,492.89
(NO INCLUYE 1% DE IMPUESTO MUNICIPAL NI 15% DE IVA) Tasa de cambio respecto al dólar americano		\$ 36.62

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

1. Se realizó la caracterización del área y el estudio socioeconómico a partir del cual se pudo determinar que la población estaría dispuesta a conectarse a la red de alcantarillado sanitario. El proyecto está dirigido para solventar, al 100% de la población de la ciudad de La Paz Centro, la necesidad inminente de un sistema de alcantarillado y, por consiguiente, el tratamiento debido de las aguas residuales.
2. La población para el año 2023 se estima en 20,228 habitantes. Para el año 2047 se ha calculado en 37,502 habitantes.
3. Los caudales de aguas residuales estimados para el fin del período de diseño (año 2047), son:
 - Caudal mínimo : 11.46 L/s
 - Caudal medio total : 66.47 L/s
 - Caudal de diseño : 160.85 L/s
4. La modelación hidráulica del nuevo sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad se ha realizado considerando el caudal de diseño del año horizonte (año 2047). De esta forma se asegura que la red de alcantarillado tendrá la capacidad de evacuar el agua residual generada por la población del año 2047.
5. La longitud total de tuberías modelada para esta red asciende a 56,943.10 m; de los cuales El material de la tubería a utilizar será PVC ASTM F949 con diámetros desde 150 mm hasta 450 mm, para una longitud aproximada de 56,848.80 m y 813 PVS. De éstos, 15,065.90 m (equivalente a 26.5%) corresponden a tubería existente que continuarán en funcionamiento; 10.6% (6,034.20 m) es tubería a reemplazar para

ampliar su diámetro; y los restantes 35,748.7 m (62.9%) es tubería nueva. El total de PVS asciende a 813. De los cuales, el 18.2% (148) corresponden a unidades existentes a conservar; 9% (73) son PVS a reemplazar; y el restante 72.8% son PVS nuevos.

6. El proyecto se ejecutará en dos Fases. En la primera fase se construirán la red de alcantarillado sanitario con capacidad para recolectar y transportar el caudal máximo de diseño esperado para el año 2047; las unidades del pre tratamiento y 2 módulos de lagunas facultativas y de maduración, de 23 L/s cada uno, para una capacidad instalada de 46 L/s. En la segunda fase (año 2032) se construirá 1 módulo de tratamiento (de 23 L/s) conformado por laguna facultativa seguido de laguna de maduración, para una capacidad instalada de 69 L/s.
7. La planta de tratamiento de aguas residuales proyectada garantiza que el efluente final cumple con los límites máximos permisibles establecidos en los artículos 24 y 25 de reglamento de vertido, Decreto 21-2017.

7.2.Recomendaciones

1. Se recomienda el replanteo del levantamiento topográfico de la ciudad al momento de la construcción. Esto es debido a que las condiciones topográficas pueden variar entre el período de aprobación del proyecto y la ejecución del mismo.
2. Ante la problemática que presenta el actual sistema de alcantarillado sanitario, se recomienda gestionar financiamiento para la pronta ejecución del proyecto diseñado; el cual incidirá positivamente en el nivel de vida de la población.

3. El tipo de proyecto que aquí se presenta se caracteriza por no tener impactos ambientales adversos de gran magnitud, que causen riesgos fatales en la salud de las personas o el medio ambiente, por el contrario, ayuda a mejorar la calidad de vida de los beneficiados. Sin embargo, se recomienda que, a la hora de construirse el proyecto, se realice un estudio de impacto ambiental debido a las actividades más comunes que se deben realizar durante el proceso de construcción.
4. Si el proyecto es ejecutado fuera del periodo establecido, se tiene que realizar un ajuste para la determinación de nuevos costos de construcción.
5. Para el funcionamiento eficiente del proyecto, es estrictamente necesaria la ejecución tal como lo establecen los planos constructivos, ya que para su diseño se tomó en cuenta todas las especificaciones que el INAA dicta en su guía.

CAPITULO VIII: BIBLIOGRAFÍA

- 1. Azevedo Netto, Guillermo Acosta. Manual de Hidráulica.** Editorial Harla, México. 1976.
- 2. Bermeo Garay, M. M. “Tratamiento de aguas residuales: Técnicas convencionales”. Segunda Edición Mejorada y Actualizada.** Guayaquil, Ecuador. 2016.
- 3. Comisión Nacional del Agua. “Diseño de lagunas de estabilización”.** México. Diciembre, 2007.
- 4. Escuela Colombiana de Ingeniería. “Diseño de acueductos y alcantarillados”.** Colombia. 2003.
- 5. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (INTA). “Dimensionamiento de lagunas de estabilización”.** México, 2017.
- 6. Instituto Nicaraguense de Acueductos y Alcantarillados (INAA). “Guías Técnicas para el diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales”.** Managua, Nicaragua. 2003.
- 7. Ministerio de Hacienda y Crédito Público – Dirección General de Inversiones Públicas (DGIP). “Metodología de Pre inversión de Proyectos de Agua y Saneamiento”.** Managua, Nicaragua. Abril, 2012.
- 8. Ministerio de Fomento Industria y Comercio – Comisión Nacional de Normalización Técnica y Calidad. “NTON 09 001-19 Normas técnicas para el Diseño de sistemas de abastecimiento. Agua potable”.** Managua, Nicaragua. Junio, 2000.

9. **Organización Panamericana de la Salud (OPS). “Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización”.** Lima. 2005.
10. **Romero Rojas, J. A. “Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y Principios de diseño”.** Colombia. 1999.
11. **Vladimir Arana, Y. “Guía para la toma de decisiones en la selección de sistemas de tratamiento de aguas residuales no convencionales”.** Lima, Peru. 2009.
12. **John A. Roberson. “Mecánica de Fluidos”.** México 8.DF, 1982.
13. **Tratamiento de lagunas facultativa de estabilización en condiciones de laboratorio.** Revista EIA, Año XI Volumen 11. Edición No. 21. Enero a Junio 2014. Colombia.
14. **Tratamiento de lodos de fondo de lagunas facultativas con estabilización en condiciones de laboratorio.** Jhon Jairo Feria, Luisa Martínez. Revista EIA INSSN 1797-1237/Año XI / Volumen 11 / Edición N° 21 / Enero – Junio 2014.



