

**UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES UTILIZANDO HUMEDALES ARTIFICIALES PARA  
RIEGO EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA LOS MODULOS,  
AYACUCHO”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:**

Bach. Serapio Flores Llantoy

**ASESOR:**

Ing. Henry Godíñ Calisaya

HUANCAYO – PERÚ

2016

## **DEDICATORIA**

*A la memoria de mis Padres (†), por iluminar mí camino y concederme fortaleza y sabiduría para culminar mi meta y cumplir el sueño que siempre quise.*

*A la madre de mi hija, por estar conmigo y por ser mi apoyo incondicional y a mi hija Rashel Shantal por ser la inspiración para poder superarme y por darme sonrisa en cada momento.*

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Peruana del Centro, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por abrirme las puertas del éxito, y culminar este trabajo de investigación.

Mi reconocimiento a aquellas personas que directa e indirectamente contribuyeron en la materialización del presente trabajo de tesis.

## RESUMEN

El presente trabajo tesis se realizó en la Ciudad Universitaria Los Módulos, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, iniciándose en el mes de Febrero del año 2015 y finalizándose el 31 de Marzo del 2016; y el motivo principal por el cual me atrevo a realizar el trabajo, es el, de plantear una estrategia de solución adecuada, funcional, ejecutable y sobre todo sostenible al problema de la falta de agua para el regadío de las áreas en la Ciudad Universitaria San Cristóbal de Huamanga, mediante un sistema de Planta de Tratamiento de aguas residuales (PTAR), utilizando humedales artificiales como tratamiento secundario, debido a su aspecto ecológico, su bajo costo de instalación, operación y mantenimiento y que pueda satisfacer las demandas específicas de cada área a regar.

Para el análisis experimental de las aguas residuales se determinó 05 muestras (Entrada Cono Oeste Unsch (Bz – 02), Unión Facultades (Bz – 09), Unión Facultades (Bz – 12), FACEA (Bz – 13) y Puerta N° 02 (Bz – 28)), los muestreos realizados se dieron con frecuencia durante el día, por la misma variación de la temperatura y clima, siendo el análisis de laboratorio DBO<sub>5</sub>, Coliformes Fecales y SST con 117.40 mg/L, 2.87E+06 NMP/100 ml y 1140.06 mg/L respectivamente y con la propuesta de la Planta de Tratamiento de Aguas residuales se ha obtenido DBO<sub>5</sub>, Coliformes Fecales y SST con 1.87 mg/L, 401.80 NMP/100 ml y 16.92 mg/L, en todos los casos se cumplió con las exigencias de los Límites Máximos Permisibles de la Clase IV, de agua para su reutilización en el riego de áreas verdes, plantaciones forestales y ornamentales.

Con los resultados obtenidos, se procedió a diseñar la Planta de Tratamiento de Aguas residuales proponiéndose según al clima y ubicación geográfica los siguientes componentes como Cámara de Rejas, Desarenador, Tanque Imhoff, Filtros Percolador Biológicos y Humedales Artificiales (Humedal Artificial Sub superficial), la gran ventaja de estos Humedales Artificiales es que las plantas y los microorganismos crean una “película purificadora” que se alimenta de los contaminantes, como la DBO, los SST, el nitrógeno del amoníaco y el fósforo, llegando a obtener entre 80 a 99% de grado de

remoción, según estudios ya realizados en otros países tales como EE.UU, Europa y Latinoamérica en su mayoría en zonas rurales.

Se empleará un sistema de bombeo con una potencia de 150 HP y se bombeará por medio de tuberías de diámetro de 8" hasta almacenar las aguas tratadas en un Reservorio de una capacidad de 1000.0 m<sup>3</sup> de acuerdo a la necesidad hídrica de las plantas a regar.

Finalmente, el costo de producción de metro cubico de agua residual es de S/.0.10, este costo es inferior al costo tarifario comercial de SEDA S.A, siendo la tarifa de agua de S/. 0.875, por tanto, el ahorro de agua es de 875.0 % y por su rentabilidad la PTAR se adapta mejor para su instalación en un futuro construcción.

## **ABSTRAC**

Summary this thesis study was conducted in the City University Los modules, the University National of San Cristóbal de Huamanga, beginning in the month of February of the year 2015 and ending 31 March 2016; and the main reason why I dare to perform the work, is, consider a solution proper, functional strategy, executable and above all sustainable to the problem of the lack of water for the irrigation of the areas in the City College San Cristobal de Huamanga, through a system of wastewater treatment plant (PTAR), using artificial wetlands as secondary treatment, due to its ecological appearance, its low cost of installation, operation and maintenance and which can meet the specific demands of each area to be watered.

For the experimental analysis of the wastewater was determined 05 samples (entrance cone West Unsch (BZ – 02), Union powers (BZ - 09), Union powers (BZ - 12), FACEA (BZ - 13) and door N ° 02 (BZ - 28)), the made samplings occurred frequently during the day, for the same variation of temperature and climate, being the analysis of BOD5, fecal coliforms and SST lab with 117.40 mg/L, 2. 87E 06 MPN/100 ml and 1140.06 mg/L respectively and with the proposal of the sewage treatment plant has been obtained BOD5, fecal coliforms and SST with 1.87 mg/L, 401.80 MPN/100 ml and 16.92 mg/L, in all cases met the demands of the allowable maximum limits of class III, water for reuse in irrigation of green areas, forest and ornamental plantings.

With the obtained results, proceeded to design the wastewater treatment plant proposed according to climate and geographical location the following components as Chamber of bars, Desander, Imhoff tank, filters percolator biological and artificial wetlands (wetlands Artificial Sub surface), the great advantage of these wetlands is that the plants and micro-organisms create a "purifying film" that feed contaminants, such as BOD, TSS, ammonia nitrogen and phosphorus, to get between 80-99% level of removal, according to studies already carried out in other countries such as USA. USA, Europe and Latin America mostly in rural areas.

It is subject to a system of pumping with an output of 150 HP and pumped through pipes 8" to store the treated water in a reservoir with a capacity of 1000.0 m<sup>3</sup> according to the need to water the plants to be watered.

Finally, the production cost of metro cubic wastewater is S/ 0.10, this cost is less than the commercial tariff cost of silk S.A, being the rate of water of S/ 0.875, therefore saving water is 875.0 % and profitability by the WWTP is better suited for installation in a future construction.

## INTRODUCCION

Debido a la creciente escasez de agua dulce, la necesidad de proteger el medio ambiente y aprovechar económicamente las aguas residuales se ha promovido internacionalmente el reúso controlado de efluentes lo que presenta mejorar importantes áreas agrícolas y verdes siendo este último lo más tolerantes aportándole materias orgánicas y nutrientes.

A fines del siglo XIX, surgió la necesidad de un tratamiento sistemático del agua residual debido a la concentración de la población en las áreas urbanas lo cual causa problemas en la salud pública, debido a la contaminación del agua de abastecimiento, produciendo enfermedades, malos olores y otros inconvenientes. En la región de América Latina y el Caribe, el 49 % de la población tiene servicio de alcantarillado, colectándose diariamente 40 millones de metros cúbicos de agua residual que se vierten a ríos, lagos y mares.

El panorama actual del agua es dramático, y el hombre aún hasta nuestros días, no es consciente de la grave situación que está generando su irresponsable actuación frente al cuidado de los recursos naturales, de la calidad del medio ambiente en general y del agua de manera particular, y, aunque en los últimos años se han ideado en todo el mundo proyectos diversos que buscan mejorar y optimizar no sólo los recursos económicos y/o materiales, sino que apuntan al uso racional del agua, de tal forma, no deben resultarnos extraño, que incluso se hayan ideado y planteado sistemas que contemplan la reutilización de aguas residuales con la finalidad de menguar el problema de las demandas cada vez más crecientes, y aunque éstos aún no se han constituido en soluciones de aplicación masiva, debido sobre todo a que tales soluciones implican, desde luego, presupuestos considerables, y al falso espejismo de que el agua es abundante, cuando la actual situación nos muestra de manera categórica lo contrario, definitivamente constituyen referentes muy importantes en lo que respecta a la mejor utilización del recurso hídrico.

El sistema de tratamiento de agua residual doméstica tiene como objetivo principal reducir algunas características indeseables, de manera tal que el uso o disposición final de estas aguas, cumpla con las normas y requisitos mínimos definidos por las autoridades sanitarias de un determinado país o región.

Las áreas verdes brindan un sin número de beneficios a las personas tanto en su salud como un estado anímico. La utilización de aguas tratadas en el riego de estas zonas, permitiría contar con más y mejores áreas verdes y de esparcimiento para la población, ayudando también a mitigar los efectos del clima todo lo anterior sin comprometer el agua para el consumo humano.

Con todo lo anteriormente dicho, creo de manera personal, que es responsabilidad nuestra el adecuado uso de los recursos en general y del recurso hídrico en particular para satisfacer nuestras necesidades actuales sin perjudicar las necesidades futuras.

El presente trabajo contiene seis capítulos de la siguiente manera:

El capítulo I. Se plantea un esquema sobre la problemática actual del agua en la ciudad Universitaria Los Módulos, así como la importancia de su uso racional para la supervivencia en el medio ambiente, y los desafíos que existen para superar la crisis del agua, y lo necesario que resulta la toma de decisiones oportunas en el manejo del agua, y contiene Planteamiento del Problema, Objetivos, Justificación del proyecto e Hipótesis.

El capítulo II. Consideraciones Preliminares, aborda el marco referente a la situación actual del agua en el mundo y en nuestro país, situación ligada estrechamente al tan difundido problema ambiental. Contiene los siguientes títulos: Generalidades, Enfoque Histórico Mundial del Recurso Agua, breves perspectivas acerca del uso racional del Agua, manejo de aguas residuales en el Perú y su reuso en el riego agrícola y su impacto ambiental.

Contiene los antecedentes internacional, nacional y local con respecto a las aguas residuales y base teórica desde el agua, aguas residuales, planta de tratamiento de aguas residuales, sistema de alcantarillado, sistema de

bombeo, línea de impulsión, reservorio y parámetros de calidad de agua para riego, así mismo el marco normativo peruano.

El capítulo III. Se plantea la Metodología empleada en el tipo, nivel y diseño de investigación, procesos de técnicas y análisis de datos, y las variables dependientes e independientes de acuerdo a los objetivos planteados.

El capítulo IV. En la presentación de resultados, se presentan los datos obtenidos de la investigación resumidos coherentemente, contiene la descripción y el proceso de obtención de los datos (Población de la Ciudad Universitaria, recolección y análisis de aguas residuales, necesidades hídricas de las áreas verdes), con el objetivo de diseñar el sistema de alcantarillado, planta de tratamiento de aguas residuales, sistema de bombeo, línea de impulsión, reservorio o regulación, línea de conducción.

El capítulo V. En el análisis de resultados, se explica cómo se analizaron los datos obtenidos de acuerdo a la pregunta de investigación o hipótesis, contiene el proceso de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales utilizando los humedales artificiales y los cálculos hidráulicos elaborados detalladamente con procesos matemáticos para el diseño del sistema de bombeo, línea de impulsión y reservorio, así mismo se detalla la propuesta de la Planta de Tratamiento de Aguas residuales en la Ciudad Universitaria Los Módulos, y los resultados de las aguas residuales en comparación a los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua, Clase IV (agua para riego) regido por la Ministerio del Ambiente (MINAM), y por último la rentabilidad del proyecto de investigación.

El capítulo VI. En la discusión de los resultados, se hace la evaluación e interpretación de los resultados obtenidos en la investigación de acuerdo con los objetivos, Hipótesis y/o Preguntas de Investigación establecidas

En las conclusiones, se presenta de acuerdo con los datos y hallazgos obtenidos por el investigador, su interpretación y lo que representa para la solución del problema.

En las recomendaciones, básicamente corresponde una recomendación para cada conclusión realizada y algunas recomendaciones dirigido a la autoridad máxima de la Universidad Nacional de San Cristóbal, así mismo a entidades públicas y privadas, orientadas a captar la atención e interés de funcionarios de gobiernos e instituciones públicas, inversionistas privados y de la comunidad en general en la formulación de políticas y estrategias que propicie una tendencia creciente al reúso de aguas residuales tratados.

Revisión Bibliográfica. Concierne a los autores nacionales e internacionales utilizados durante la elaboración de la tesis.

Finalmente, en los anexos se incluyen:

- Panel fotográfico que permita visualizar las condiciones actuales de la Ciudad Universitaria San Cristóbal de Huamanga.
- Los análisis Físico, Químico y bacteriológico de las aguas residuales realizadas en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Biológicas.
- Boletín Estadístico 2011 – 2014, referente a la población estudiantil en la Universitaria San Cristóbal de Huamanga.
- Planos que contiene el presente trabajo.

## **INDICE GENERAL**

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRAC	
INTRODUCCION	
INDICE GENERAL	xi
INDICE DE CUADROS	xix
INDICE DE FIGURAS	xxiii
INDICE DE GRAFICOS	xxv
INDICE DE PLANOS	xxvi

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

1.1.	TEMA DE INVESTIGACIÓN	27
1.2.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	27
1.3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	29
1.3.1.	PROBLEMA GENERAL	29
1.3.2.	PROBLEMAS ESPECÍFICOS	29
1.4.	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	29
1.4.1.	OBJETIVO GENERAL	29
1.4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30
1.5.	JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	30
1.6.	RAZONES QUE MOTIVAN LA INVESTIGACIÓN	31
1.7.	HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION	32
1.7.1.	HIPÓTESIS GENERAL	32
1.7.2.	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	32

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

2.1.	ANTECEDENTES	33
2.1.1.	A NIVEL INTERNACIONAL	33
2.1.2.	A NIVEL NACIONAL	40
2.1.	A NIVEL LOCAL	46
2.2.	BASES TEORICAS	48
2.2.1.	AGUA	48

2.2.1.1. COMPOSICIÓN DEL AGUA	50
2.2.1.2. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA	50
2.2.2. CALIDAD DE AGUA	51
2.2.3. FUENTES DE LA CONTAMINACION DEL AGUA	51
2.2.4. AGUAS RESIDUALES	53
2.2.5. CLASIFICACION DE LAS AGUAS RESIDUALES	54
2.2.5.1. AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS	54
2.2.5.2. AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES	54
2.2.5.3. AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES	54
2.2.6. CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES	55
2.2.6.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	55
a. PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN, (SÓLIDOS TOTALES)	56
b. OLORES	56
c. TEMPERATURA	56
d. DENSIDAD	57
e. COLOR	57
f. TURBIEDAD	57
2.2.6.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	57
a. MATERIA ORGANICA	58
b. GRASAS Y ACEITES	58
c. MEDIDA DEL CONTENIDO ORGÁNICO	58
- DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO <sub>5</sub> )	59
- DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	59
- CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT)	59
d. PH	60
e. ALCALINIDAD	60
f. NITRÓGENO	60
g. FÓSFORO	60
h. AZUFRE	61
i. COMPUESTOS TÓXICOS INORGÁNICOS	61
j. METALES PESADOS	61
k. GASES	62
l. OXIGENO DISUELTO	62
m. SULFURO DE HIDROGENO	62
n. METANO	63
2.2.6.3. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS	63

a. MICROORGANISMOS	63
b. BACTERIAS	64
c. HONGOS	65
d. ALGAS	66
e. PROTOZOOS	66
f. VIRUS	66
g. ORGANISMOS PATOGENOS	66
h. ORGANISMOS INDICADORES	67
2.2.7. CONTAMINANTES DE IMPORTANCIA EN EL TRATAMIENTO DEL AR	68
2.2.8. CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE PTAR	69
2.2.8.1. PROCESOS UNITARIAS FÍSICAS	69
2.2.8.2. PROCESOS UNITARIAS QUÍMICAS	69
2.2.8.3. PROCESOS UNITARIAS BIOLOGICAS	69
2.2.9. ETAPAS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES	69
2.2.10. GRADO DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES	70
2.2.11. IMPORTANCIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	72
2.2.12. COMPONENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	73
2.2.12.1. TRATAMIENTO PRELIMINAR	75
➤ REJAS	75
➤ DESARENADOR	81
2.2.12.2. TRATAMIENTO PRIMARIO	86
➤ EL TANQUE IMHOFF	87
2.2.12.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO	94
➤ FILTROS PERCOLADORES BIOLÓGICOS	95
➤ HUMEDALES	99
2.2.12.4. TRATAMIENTO DE LODOS	108
➤ LECHO DE SECADO	109
2.2.12.5. DESINFECCIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS	111
2.2.12.6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	114
2.2.13. REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES	117
2.2.14. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	118
2.2.15. SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE AGUAS RESIDUALES	120
2.2.15.1. DISEÑO DE REDES DE ALCANTARILLADO	122
2.2.15.2. FÓRMULAS PARA EL DISEÑO	123

2.2.15.3. COEFICIENTE DE RUGOSIDAD	124
2.2.15.4. DIÁMETRO MÍNIMO DE ALCANTARILLAS	124
2.2.15.5. VELOCIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA DE ALCANTARILLADO	124
2.2.15.6. PENDIENTE EN ALCANTARILLADOS	125
2.2.16. CRITERIOS BASICOS DE DISEÑO HIDRAULICO	125
2.2.16.1. FLUJO DE TUBERIAS	125
2.2.16.2. ECUACIONES PARA EL DISEÑO DE TUBERIAS CIRCULARES	125
2.2.16.3. CONCEPTO DE PÉRDIDA DE CARGA	132
2.2.16.4. DOTACIONES DE AGUA PARA DIFERENTES SOLICITACIONES	135
2.2.16.5. VARIACIONES PERIODICAS	137
a. CONSUMO PROMEDIO DIARIO ANUAL (Qm)	138
b. CAUDAL MÁXIMO DIARIO (Qmd)	139
c. CAUDAL MÁXIMO HORARIO (Qmh)	139
2.2.16.6. PERIODO DE DISEÑO	139
2.2.16.7. METODOS DE ESTIMACION DE LA POBLACION FUTURA	141
- MÉTODOS ANALÍTICOS	142
- MÉTODOS COMPARATIVOS	142
- MÉTODO RACIONAL	142
2.2.17. SISTEMA DE BOMBA – TUBERIA	145
2.2.17.1. LINEA DE IMPULSION O ADUCCION	145
2.2.17.2. LA LÍNEA DE GRADIENTE HIDRÁULICA (L.G.H)	145
2.2.17.3. BOMBAS	147
2.2.17.4. CAUDAL DE BOMBEO	151
2.2.17.5. DIAMETRO DE LA TUBERÍA DE SUCCIÓN	152
2.2.17.6. DIAMETRO DE LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN	152
2.2.18. DISEÑO DE RESERVORIO O REGULACION	154
2.2.18.1. CAPACIDAD DEL RESERVORIO	154
2.2.18.2. TIPOS DE RESERVORIO	154
2.2.18.3. CALCULO DE LA CAPACIDAD DEL RESERVORIO	154
2.2.19. MARCO NORMATIVO	155
2.2.19.1. MARCO LEGAL NACIONAL	156
2.3. MARCO CONCEPTUAL	161
2.3.1. DEFINICIONES CONCEPTUALES	161
A. AGUAS NEGRAS	161
B. AGUAS GRISES	162
C. AGUAS RESIDUALES	162

D. AGUAS SERVIDAS	162
E. AGUAS DE INFILTRACION	162
F. AFLUENTE O TRIBUTARIO	162
G. CAUDAL	162
H. EFLUENTE	162
I. LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (LMP)	162
J. PARÁMETROS DE CALIDAD	163
K. PATÓGENO	163
L. PLANTA DE TRATAMIENTO	163
M. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	163
N. PROCESO BIOLÓGICO	163
O. REUSO DE AGUAS RESIDUALES	163
P. SÓLIDOS	163
Q. TRATAMIENTO BIOLÓGICO	163
R. TRATAMIENTO CONVENCIONAL	163
S. VERTIMIENTO	163

### **CAPITULO III METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN**

3.1. DISEÑO METODOLOGICO	164
3.1.1. TIPO DE INVESTIGACION	164
3.1.2. NIVEL DE INVESTIGACION	164
3.1.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION	164
3.1.4. POBLACION Y MUESTRA	164
3.1.5. UNIDAD U OBJETO DE LA INVESTIGACION	164
3.1.6. TECNICAS DE RECOLECCION DE DATOS	164
3.1.7. TECNICA DE ANALISIS DE DATOS	165
3.1.8. DEFINICIONES OPERACIONALES	167
3.1.8.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	167
3.1.8.2. VARIABLE DEPENDIENTE	167

**CAPITULO IV**  
**PRESENTACION DE RESULTADOS**

4.1. DESCRIPCION DE LA CARACTERISTICAS DE LA ZONA	
TRABAJO DE INVESTIGACION	168
4.1.1. UBICACIÓN	168
4.1.2. LOCALIZACION Y TOPOGRAFIA DEL AREA DE ESTUDIO	168
4.1.3. REGISTROS CLIMATOLOGICOS	170
4.2. PROCEDIMIENTO METODOLOGICO	172
4.2.1. DATOS DE POBLACION	172
4.2.2. SERVICIOS ACTUALES DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA	174
A) SERVICIOS BASICOS	174
B) INVENTARIO AMBIENTES EXISTENTES	178
C) SERVICIOS SANITARIOS EXISTENTES	178
4.2.3. UNIDADES ACADEMICAS QUE BRINDA LA UNIVERSIDAD	179
4.2.4. LOCALIZACION DE PUNTOS DE MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES	180
4.2.5. IDENTIFICACION Y UBICACION DE LAS AREAS VERDES ACTUALES	182

**CAPITULO V**  
**ANALISIS DE RESULTADOS**

5.1. DESCRIPCION DEL PROCESO DE DISEÑO	184
5.1.1. POBLACION UNIVERSITARIA DE DISEÑO	184
5.1.1.1. METODO ARITMETICO	184
5.1.1.2. METODO GEOMETRICO	186
5.1.1.3. METODO MINIMOS CUADRADOS	188
5.1.2. CAUDAL DE DISEÑO DE LAS AGUAS RESIDUALES	191
5.1.3. SISTEMA DE ALCANTARILLADO	193
5.1.4. DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	196
5.1.4.1. CARACTERIZACION Y ANALISIS EXPERIMENTALES DE AR	196
5.1.4.2. CARACTERISTICAS FISICOQUÍMICAS - BIOLOGICO DE LAS AR	203
5.1.4.3. TRATAMIENTO PRELIMINAR	204
a. CANAL DE ENTRADA	204
b. CAMARA DE REJAS	206
c. DESARENADOR	211
5.1.4.4. TRATAMIENTO PRIMARIO	215
a. TANQUE IMHOFF	215
5.1.4.5. TRATAMIENTO SECUNDARIO	225
A. FILTRO PERCOLADOR BIOLOGICO	225

B. SISTEMA DE HUMEDAL DE FLUJO SUB SUPERFICIAL	228
5.1.4.6. TRATAMIENTO DE LODOS	231
A. LECHO DE SECADO	232
5.1.5. DISEÑO DE SISTEMA DE BOMBEO	234
5.1.5.1. NECESIDADES HIDRICAS DEL CULTIVO	234
5.1.5.2. CAUDAL DE BOMBEO	241
5.1.5.3. DIÁMETRO DE LA TUBERÍA DE SUCCIÓN	241
5.1.5.4. DIÁMETRO DE LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN	242
5.1.5.5. ALTURA MANOMÉTRICA DE BOMBEO	243
a. PERDIDAS DE CARGAS POR FRICTION (hf)	244
b. PERDIDAS DE CARGAS LOCALES (ACCESORIOS)	245
5.1.5.6. POTENCIA DEL EQUIPO DE BOMBEO	247
5.1.5.7. COMPROBACION DEL DISEÑO DE TUBERIAS	247
5.1.6. VOLUMEN DEL RESERVORIO	250
5.1.7. DISEÑO HIDRAULICO DE LA RED DE DISTRIBUCION	251
5.2. PROPUESTA DE LA PTAR	259
5.2.1. UBICACIÓN DE LA PTAR	260
5.2.2. AREA REQUERIDA DE CADA COMPONENTE	262
5.2.3. DESCRIPCION DEL PROCESO	262
5.2.4. CARACTERISTICAS DEL AGUA RESIDUAL	264
5.3. COSTOS DE CONSTRUCCION, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	266
5.4. DETERMINACION DE LA RENTABILIDAD	267
5.4.1. INVERSION INICIAL	268
5.4.2. EGRESOS ANUALES	268
5.4.3. INGRESOS ANUALES	268
5.4.4. COSTO DE DEPRECIACION	268
5.4.5. FLUJO ECONOMICO NETO	269
5.4.6. VALOR PRESENTE NETO	269
5.5. COSTO DE PRODUCCION DE AGUA RESIDUAL	271

**CAPITULO VI**  
**DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

DISCUSIÓN DE RESULTADOS 272

CONCLUSIONES 274

RECOMENDACIONES 276

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA 278

**ANEXOS**

ANEXO N° 01: FOTOGRAFIAS

ANEXO N° 02: ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES

ANEXO N° 03: REGISTRO DE POBLACION ESTUDIANTIL

ANEXO N° 04: PLANOS

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro N° 2.1.</b> Resultados obtenidos en diferentes países mediante la utilización de humedales para el tratamiento de aguas residuales.	37
<b>Cuadro N° 2.2.</b> Registro de Plantas de Tratamientos a Nivel Nacional	41
<b>Cuadro N° 2.3.</b> Planta de Tratamientos operativos a nivel nacional.	41
<b>Cuadro N° 2.4.</b> Clasificación de los parámetros del agua residual	55
<b>Cuadro N° 2.5.</b> Clasificación de los Microorganismos	64
<b>Cuadro N° 2.6.</b> Composición de las excretas.	65
<b>Cuadro N° 2.7.</b> Parámetros en descargas de aguas residuales y aportes por persona.	67
<b>Cuadro N° 2.8.</b> Contaminantes de importancia en el agua residual.	68
<b>Cuadro N° 2.9.</b> Eficiencia de Remoción de constituyentes en los diferentes procesos de tratamiento.	71
<b>Cuadro N° 2.10.</b> Remoción esperada de algunos parámetros físico, químico y biológico en los diferentes procesos de tratamiento.	71
<b>Cuadro N° 2.11.</b> Rango de eficiencia en las etapas de cada tratamiento.	72
<b>Cuadro N° 2.12.</b> Unidades de tratamiento de aguas residuales	74
<b>Cuadro N° 2.13:</b> Parámetros de diseño de Cámara de Rejas.	76
<b>Cuadro N° 2.14.</b> Parámetros de diseño del Desarenador	83
<b>Cuadro N° 2.15.</b> Parámetros de diseño de Tanque Imhoff	88
<b>Cuadro N° 2.16.</b> Parámetros Temperatura – Factor de Capacidad Relativa.	92
<b>Cuadro N° 2.17.</b> Parámetros Temperatura – Frecuencia de remoción de lodos.	93
<b>Cuadro N° 2.18.</b> Constantes Empíricas.	94
<b>Cuadro N° 2.19.</b> Parámetros de diseño del Filtro Percolador Biológico	96
<b>Cuadro N° 2.20.</b> Ventajas y Desventajas de los Humedales Artificiales	103
<b>Cuadro N° 2.21.</b> Ecuaciones para el diseño de humedales artificiales de flujo subsuperficial, con base en remoción de DBO	105
<b>Cuadro N° 2.22.</b> Reducción de DBO5 como función del tiempo de retención y temperatura	106
<b>Cuadro N° 2.23.</b> Características típicas de los medios para SSF	107
<b>Cuadro N° 2.24.</b> Composición típica de los lodos.	108
<b>Cuadro N° 2.25.</b> Producción de lodos en litros por persona por día	109
<b>Cuadro N° 2.26.</b> Ventajas y desventajas de algunos de los procesos de tratamiento de aguas residuales	114
<b>Cuadro N° 2.27.</b> Tipos de alcantarillado en una Red.	118
<b>Cuadro N° 2.28.</b> Propiedades físicas del agua	131

<b>Cuadro Nº 2.29.</b> Rulosidad Absoluta de Materiales	131
<b>Cuadro Nº 2.30.</b> Perdida de carga en Accesorios	133
<b>Cuadro Nº 2.31.</b> Características de las tuberías NTP ISO 4422	134
<b>Cuadro Nº 2.32.</b> Tuberías de Presión PVC - U NTP ISO 1452	135
<b>Cuadro Nº 2.33.</b> Dotaciones domesticas de agua	136
<b>Cuadro Nº 2.34.</b> Dotación de acuerdo a clima l/hab/día	136
<b>Cuadro Nº 2.35.</b> Cuadro Comparativo de Dotaciones de agua	137
<b>Cuadro Nº 2.36.</b> Valores del periodo óptimo de diseño	140
<b>Cuadro Nº 2.37.</b> Periodo de Diseño Estructuras de Saneamiento	141
<b>Cuadro Nº 2.38.</b> Clasificación de las Aguas Residuales.	156
<b>Cuadro Nº 2.39.</b> Límite Máximo Permisible para cada tipo de agua.	157
<b>Cuadro Nº 2.40.</b> LMP de Efluentes de PTAR	158
<b>Cuadro Nº 2.41.</b> Cuadro de Normas Legales de Aguas y Efluentes Líquidos.	160
<b>Cuadro Nº 3.1.</b> Técnicas de Recolección de datos.	165
<b>Cuadro Nº 3.2.</b> Operacionalizacion de la variable independiente	167
<b>Cuadro Nº 3.3.</b> Operacionalizacion de la variable dependiente	167
<b>Cuadro Nº 4.1.</b> Registro de Temperaturas Máxima Absolutas Diarias (°C)	170
<b>Cuadro Nº 4.2.</b> Registro de Temperaturas Mínimas Absolutas Diarias (°C)	170
<b>Cuadro Nº 4.3.</b> Temperaturas Medias Mensual (TMM, °C)	171
<b>Cuadro Nº 4.4.</b> Registro de Precipitaciones Mensual (mm)	171
<b>Cuadro Nº 4.5.</b> Población Estudiantil, Docentes y Personal Administrativos entre los años 2000 – 2014	172
<b>Cuadro Nº 4.6.</b> Tarifa por el servicio de Agua y Alcantarillado	175
<b>Cuadro Nº 4.7.</b> Control de Suministro mensual de Agua y Desagüe correspondiente a los años 2011 – 2014	176
<b>Cuadro Nº 4.8.</b> Inventariado de Ambientes de la Ciudad Universitaria	178
<b>Cuadro Nº 4.9.</b> Servicios Sanitarios Existentes	179
<b>Cuadro Nº 4.10.</b> Relación de Escuelas de Formación Profesional	179
<b>Cuadro Nº 4.11.</b> Coordenadas de los puntos de muestreo de aguas residuales	181
<b>Cuadro Nº 4.12.</b> Identificacion y Ubicación de las Areas verdes	182
<b>Cuadro Nº 5.1.</b> Tasa de Crecimiento Poblacional por el Método Aritmético	185
<b>Cuadro Nº 5.2.</b> Tasa de Crecimiento Poblacional por el Método Geométrico	185
<b>Cuadro Nº 5.3.</b> Variables de la población de la Ciudad Universitaria	188
<b>Cuadro Nº 5.4.</b> Comparación de Crecimiento Población por los diferentes Métodos	191

<b>Cuadro N° 5.5.</b> Valores de pH, turbiedad, conductividad, sales, Alcalinidad, dureza calcica, dureza total, cloruros, dureza magnesica en aguas residuales generadas en la Ciudad Universitaria	196
<b>Cuadro N° 5.6.</b> Resultados de los Solidos Disueltos, suspendidos, totales y sedimentales, en aguas residuales generadas en la Ciudad Universitaria.	200
<b>Cuadro N° 5.7.</b> Resultados de la Demanda quimica de Oxigeno (DQO), Demanda Bioquimica de Oxigeno (DBO5)	201
<b>Cuadro N° 5.8.</b> Resultados de numeros de coliformes fecales en aguas residuales generadas en la Ciudad Universitaria	202
<b>Cuadro N° 5.9.</b> Valores representativos de los Análisis de Laboratorio	204
<b>Cuadro N° 5.10.</b> Diámetro de Partículas y su respectiva velocidad	212
<b>Cuadro N° 5.11.</b> Parámetros Temperatura – Factor de Capacidad Relativa	219
<b>Cuadro N° 5.12.</b> Resumen de las dimensiones del tanque Imhoff	223
<b>Cuadro N° 5.13.</b> Constantes Empíricas	224
<b>Cuadro N° 5.14.</b> Reducción de DBO5 como función del tiempo de retención y temperatura	229
<b>Cuadro N° 5.15.</b> Características típicas de los medios para HSS	230
<b>Cuadro N° 5.16:</b> Factor Mensual Latitud Sur (MF)	235
<b>Cuadro N° 5.17.</b> Obtención de ETo	236
<b>Cuadro N° 5.18.</b> Resultados de los percentiles al 25%, 50%, 75% y 95%	237
<b>Cuadro N° 5.19.</b> Distribución de la Precipitación Efectiva por el método WPRS- USA	238
<b>Cuadro N° 5.20.</b> Calculo de la Precipitación Efectiva por meses	238
<b>Cuadro N° 5.21.</b> Cedula de cultivo de <i>Kikuyo pennisetum</i>	239
<b>Cuadro N° 5.22.</b> Balance Hídrico por el Método de HARGREAVES	240
<b>Cuadro N° 5.23.</b> Características de la Bomba	244
<b>Cuadro N° 5.24.</b> Pérdida de Accesorios en la Bomba y Línea de Impulsión.	246
<b>Cuadro N° 5.25.</b> Características de la Tubería.	248
<b>Cuadro N° 5.26.</b> Iteraciones para la obtención de la velocidad, hf,	249
<b>Cuadro N° 5.27:</b> Longitudes de los tramos de tuberías de la red de distribución y datos altimétricos de los nodos	251
<b>Cuadro N° 5.29.</b> Calculo del caudal (m <sup>3</sup> /s) de la red de distribución – Sistema ramificado	253
<b>Cuadro N° 5.30.</b> Calculo del Diámetro (") de la red de distribución – Sistema ramificado	254
<b>Cuadro N° 5.31.</b> Calculo de la Velocidad (m/s) en la red de distribución – Sistema ramificado	256

<b>Cuadro N° 5.32.</b> Calculo de la Presión (m H <sub>2</sub> O) en la red de distribución – Sistema ramificado	258
<b>Cuadro N° 5.33.</b> Componentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y sus respectivas áreas	262
<b>Cuadro N° 5.34.</b> Composición del Agua Residual obtenida en la Ciudad Universitaria	264
<b>Cuadro N° 5.35.</b> Grado de Remoción de cada Fase de Tratamiento	265
<b>Cuadro N° 5.36.</b> Cuadro Comparativo entre LMP, Análisis de Laboratorio y Efluente final.	265
<b>Cuadro N° 5.37.</b> Costo de Inversión de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.	266
<b>Cuadro N° 5.38.</b> Costo de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	267
<b>Cuadro N° 5.39.</b> Interpretación del VPN	269
<b>Cuadro N° 5.40.</b> Costo de Producción de m <sup>3</sup> de Agua Residual	271

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 2.1.</b> Eliminacion de las aguas residuales a un cuerpo receptor.	34
<b>Figura N° 2.2.</b> Contaminación de las Aguas Residuales al medio ambiente.	34
<b>Figura N° 2.3.</b> Humedal construido en la ciudad de California, EE.UU.	36
<b>Figura N° 2.4.</b> Humedal de flujo Sub Superficial en Venezuela.	37
<b>Figura N° 2.5.</b> Cantidad de Agua residual por persona	42
<b>Figura N° 2.6.</b> Vista del humedal artificial con los carrizos sembrados	44
<b>Figura N° 2.7.</b> Vista Panorámica de la PTAR de “La Totora”.	47
<b>Figura N° 2.8.</b> Ciclo del agua	49
<b>Figura N° 2.9.</b> Distribución mundial del agua.	50
<b>Figura N° 2.10.</b> Fuentes de contaminación de origen antropogénicas	52
<b>Figura N° 2.11.</b> Ciclo de Manejo del Agua Residual	53
<b>Figura N° 2.12.</b> Esquema de la clasificación de las aguas residuales	54
<b>Figura N° 2.13.</b> Etapas del Tratamiento de aguas residuales	70
<b>Figura N° 2.14.</b> Grado de Remoción en cada Tratamiento	70
<b>Figura N° 2.15.</b> Importancia de las aguas residuales.	73
<b>Figura N° 2.16.</b> Componentes Básicos de tratamiento de aguas residuales	73
<b>Figura N° 2.17.</b> Rejilla fija con limpieza manual	76
<b>Figura N° 2.18.</b> Desarenadores de flujo horizontal en paralelo	81
<b>Figura N° 2.19.</b> Vista en planta y elevación de la canaleta de Parshall.	82
<b>Figura N° 2.20.</b> Conducción elevada Parshall	83
<b>Figura N° 2.21.</b> Tanque Imhoff en zonas rurales.	87
<b>Figura N° 2.22.</b> Vista frontal del tanque Imhoff	88
<b>Figura N° 2.23.</b> Vista general de un filtro percolador circular.	96
<b>Figura N° 2.24.</b> Plantas acuáticas adaptados a la humedad.	99
<b>Figura N° 2.25.</b> Rendimientos de remoción típicos.	100
<b>Figura N° 2.26.</b> Sistema de Agua Superficial libre (FWS).	102
<b>Figura N° 2.27.</b> Humedal de Flujo Sub superficial (SSF)	103
<b>Figura N° 2.28.</b> Corte Transversal de Lecho de Secado	109
<b>Figura N° 2.29.</b> Cámara de contacto	113
<b>Figura N° 2.30.</b> Reciclaje y reúso de agua	118
<b>Figura N° 2.31.</b> Flujograma de Planta Tratamiento de Aguas Residuales para su reutilización.	120
<b>Figura N° 2.32.</b> Componentes de un alcantarillado.	121
<b>Figura N° 2.33.</b> Tipos de alcantarillado de Aguas Residuales.	122
<b>Figura N° 2.34.</b> Trayectoria de las partículas en un Flujo Laminar	126

<b>Figura N° 2.35.</b> Trayectoria de las partículas en un Flujo Turbulento	126
<b>Figura N° 2.36.</b> Aspereza del contorno de la tubería.	127
<b>Figura N° 2.37.</b> Línea de Gradiente Hidráulico en tuberías	128
<b>Figura N° 2.38.</b> Pérdida de carga local	132
<b>Figura N° 2.39.</b> Líneas de gradiente Hidráulico y energía total	146
<b>Figura N° 2.40.</b> Altura de elevación de una bomba	148
<b>Figura N° 2.41.</b> Tipos de Bombas.	149
<b>Figura N° 2.42.</b> Curvas Características de las bombas.	149
<b>Figura N° 2.43.</b> Eficiencia vs Caudal	150
<b>Figura N° 2.44.</b> Curva de variaciones horarias del día de máximo consumo	155
<b>Figura N° 2.45.</b> Manejo del Agua Residual	159
<b>Figura N° 4.1.</b> Vista Aerea de la Ciudad Universitaria Los Modulos	169
<b>Figura N° 4.2.</b> Localización de puntos de muestreo de aguas residuales	182
<b>Figura N° 5.1.</b> Determinación de las Características Hidráulicas y Velocidad	194
<b>Figura N° 5.2.</b> Detalle de Sección Transversal de Canal de Entrada	206
<b>Figura N° 5.3:</b> Área de Ventilación del Tanque Imhoff	221
<b>Figura N° 5.4.</b> Altura total del Tanque Imhoff.	222
<b>Figura N° 5.5.</b> Forma geométrica del Tanque Imhoff	223
<b>Figura N° 5.6:</b> Sistema de Bombeo - Diseño de línea de impulsión en la ciudad universitaria Los Módulos.	243
<b>Figura N° 5.7.</b> Dimensionamiento del Reservorio Circular	250
<b>Figura N° 5.8:</b> Ubicación de la PTAR, línea de impulsión y reservorio en la ciudad universitaria Los Módulos	261
<b>Figura N° 5.9.</b> Flujograma Final de la Planta de Tratamiento de Agua Residual generado en la Ciudad Universitaria Los Módulos.	266

## INDICES DE GRAFICOS

<b>Gráfico N° 2.1.</b> Riego con aguas servidas en el Perú	45
<b>Grafico N° 4.1.</b> Población Universitaria	173
<b>Gráfico N° 4.2.</b> Facturación mensual, por el uso de la red de agua y alcantarillado	177
<b>Grafico N° 4.3.</b> Importe Anuales correspondiente a los años 2011 – 2014	177
<b>Grafico N° 5.1.</b> Crecimiento Poblacional de la ciudad Universitaria mediante el Método Aritmético	185
<b>Grafico N° 5.2.</b> Crecimiento Poblacional de la ciudad Universitaria mediante el Método Geométrico	187
<b>Grafico N° 5.3.</b> Crecimiento Poblacional de la ciudad Universitaria mediante la ecuación de regresión Lineal Simple	190
<b>Gráfico N° 5.4.</b> Comportamiento del pH en las aguas residuales de los puntos de muestreo	197
<b>Gráfico N° 5.5.</b> Comportamiento de la Turbiedad en las aguas residuales de los puntos de muestreo	197
<b>Gráfico N° 5.6.</b> Comportamiento de la Conductividad Eléctrica en las aguas residuales de los puntos de muestreo	198
<b>Gráfico N° 5.7.</b> Comportamiento de la Concentración de Sales en las aguas residuales de los puntos de muestreo	199
<b>Gráfico N° 5.8.</b> Comportamiento de alcalinidad en las aguas residuales de los puntos de muestreo	199
<b>Gráfico N° 5.9.</b> Comportamiento de Concentraciones de sólidos en las aguas residuales de los puntos de muestreo	200
<b>Gráfico N° 5.10.</b> Comportamiento de la DBO <sub>5</sub> en las aguas residuales de los puntos de muestreo	201
<b>Gráfico N° 5.11.</b> Comportamiento de la DQO en las aguas residuales de los puntos de muestreo	202
<b>Gráfico N° 5.12.</b> Comportamiento de los Coliformes en las aguas residuales de los puntos de muestreo	203
<b>Grafico N° 5.13.</b> Evapotranspiración Potencial Mensual	236
<b>Grafico N° 5.14.</b> Precipitación efectiva (mm) por meses	239

## ÍNDICE DE PLANOS

<b>Plano N° 01:</b> Ubicación y Localización	UL – 01
<b>Plano N° 02:</b> Topografía de la Ciudad Universitaria	TP - 01
<b>Plano N° 03:</b> Red de Alcantarillado existente y Localización de Puntos de Muestreo	L – 01
<b>Plano N° 04:</b> Red de Alcantarillado Proyectado	L – 02
<b>Plano N° 05:</b> Modelamiento Hidráulico de la Red de Conducción y Distribución	L – 03
<b>Plano N° 06:</b> Perfil Longitudinal de la Línea de Impulsión	L – 04
<b>Plano N° 07:</b> Cámara de Rejas	PT – 01
<b>Plano N° 08:</b> Desarenador	PT – 02
<b>Plano N° 09:</b> Tanque Imhoff	PT – 03
<b>Plano N° 10:</b> Lecho de Secado	PT – 04
<b>Plano N° 11:</b> Filtro Percolador Biológico y Sistema Humedal Artificial	PT – 05
<b>Plano N° 12:</b> Distribución de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	PT - 06

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **1.1. TEMA DE INVESTIGACIÓN**

**"DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES UTILIZANDO HUMEDALES ARTIFICIALES PARA RIEGO EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA LOS MODULOS, AYACUCHO"**

#### **1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

Hoy en día, la Ciudad Universitaria Los Módulos de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, el riego de áreas verdes y árboles o es mediante agua potable tomado directamente de la red pública, el cual genera falta de agua disponible para consumo de la población universitaria y el exceso costo por consumo de agua potable, y con el fin de remplazar el uso de agua potable por una fuente de agua recuperada mediante tratamiento de efluentes residuales, se propone el desarrollo de un proceso de tratamiento de las aguas residuales producidas en la Ciudad Universitaria.

La ciudad Universitaria Los Módulos, cuenta con una extensión de 69.88 Has., correspondiendo 15.55 Has son áreas verdes, árboles forestales, árboles típicos de la zona; y con arreglos de plantas de flores, que se riegan con agua suministrada de la red de agua potable

y cuenta con una población estudiantil es 10,580 alumnos, 626 docentes y 383 administrativos, las cuales estudian y laboran respectivamente en el centro de estudios<sup>1</sup> y así mismo cuenta con la mayoría de los servicios básicos que son: Agua potable, alcantarillado, electricidad, telecomunicaciones, seguridad.

La universidad cuenta con infraestructura en cada facultad y equipamiento tal como se detalla a continuación.

- FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS.- E.F.P. de: Agronomía, Ing. Agrícola, Medicina Veterinaria, Ing. Agroforestal
- FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS.- E.F.P. de: Biología y Farmacia y Bioquímica.
- FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN.- E.F.P. de: Educación Inicial, Primaria, Secundaria y Ed. Física.
- FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS ADMINISTRATIVAS Y CONTABLES.- E.F.P. de: Administración de Empresas, Contabilidad y Auditoría y Economía.
- FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES.- E.F.P. De: Antropología Social, Arqueología e Historia, Servicio Social y Ciencias de la Comunicación.
- FACULTAD DE DERECHO Y CIENCIAS POLÍTICAS.- E.F.P. de: Derecho.
- FACULTAD DE ENFERMERÍA.- E.F.P. de: Enfermería.
- FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL.- E.F.P. de: Ingeniería de Minas, Ingeniería Civil, Ingeniería de Sistemas y Ciencias Físico-Matemáticas.
- FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA.- E.F.P. de: Ingeniería Química, Ingeniería en Industrias Alimentarías e ingeniería Agroindustrial.
- FACULTAD DE OBSTETRICIA.- E.F.P. de: Obstetricia.
- FACULTAD DE MEDICINA HUMANA. E.F.P. de Medicina Humana.

---

<sup>1</sup> Oficina de Planeamiento y estadística – UNSCH.

La Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, como institución educativa, debe proporcionar las condiciones de máximo confort para quienes en ella elaboran o asisten a su formación, por lo que deberá buscar los medios para generar áreas verdes, que permitan no solo incrementar las zonas con sombra, sino crear espacios agradables para el estudio y la enseñanza.

Se pretende demostrar que es factible tal proceso, tanto desde el punto de vista técnico como económico y que es una alternativa importante para la preservación del agua potable y el reúso del agua tratada.

### **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Será el sistema de humedal artificial el más adecuado de los tratamientos de los efluentes de la Ciudad Universitaria Los Módulos, para su utilización como agua de riego?

#### **1.3.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ✓ ¿De qué manera se diseñará los componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales en la Ciudad Universitaria Los Módulos?
- ✓ ¿Será adecuado las condiciones topográficas para el diseño hidráulico del sistema de bombeo, línea de impulsión, reservorio en la Ciudad Universitaria Los Módulos?
- ✓ ¿Cuál es el grado de contaminación de las aguas residuales segregadas en la Ciudad Universitaria Los Módulos?
- ✓ ¿Se podrá cuantificar el costo del agua residual efluente con respecto al agua de consumo?

### **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

- ✓ Diseñar una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales utilizando Humedales Artificiales para el riego en la Ciudad Universitaria Los Módulos, Ayacucho.

#### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Diseñar los componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- ✓ Diseño hidráulico del sistema de bombeo, línea de impulsión, reservorio, para el riego.
- ✓ Evaluar la calidad del agua residual efluente para el riego.
- ✓ Cuantificar el recurso agua de consumo versus el agua residual efluente en la ciudad universitaria Los módulos.

#### **1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

En los últimos años, debido a la creciente escasez de agua fresca, la necesidad de proteger el medio ambiente y aprovechar económicamente las aguas residuales se ha promovido internacionalmente el reúso controlado de efluentes, lo que representa reducir considerablemente la carga contaminante que se dispone en los cuerpos receptores superficiales, subterráneos, efectivas y de menor costo e incrementar el potencial aprovechable de los recursos hídricos, así como su mejor manejo al liberar grandes cantidades de agua fresca de mejor calidad para otros usos.

Así mismo, es para satisfacer las necesidades de riego que actualmente se presentan en la Ciudad Universitaria Los Módulos, y que son suplidas mediante agua potable tomado directamente de la red, es necesario plantear el reúso del recurso agua, por ser un líquido vital para los seres vivos, y contribuir así a la conservación de los recursos naturales renovables.

Según el marco legal de los Recursos Hídricos Ley N° 29338, toda **agua servida o residual debe ser tratada** tanto para proteger la salud pública como para preservar el medio ambiente y más aún si se le quiere reutilizar. Antes de tratar cualquier agua servida debemos conocer su composición. Esto es lo que se llama caracterización del agua. Permite conocer qué elementos químicos y biológicos están presentes y da la información necesaria para que los expertos en tratamiento de aguas puedan diseñar una planta apropiada al agua servida que se está produciendo.

Este diseño traerá dos beneficios, el primero es que las aguas residuales tratadas en su disposición final serán reutilizadas para el riego de las áreas verdes y el segundo serán beneficiadas la población universitaria por tener un medio ambiente saludable.

Por todo lo anteriormente mencionado se hace necesario la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales utilizando el Sistema de Humedad Artificial en la Ciudad Universitaria Los Módulos, por que ayudará a resolver un problema de cultura ambientalista y lo primordial la salud pública, con lo cual se estará beneficiando a las personas afectadas directamente y mejorando las condiciones ambientales del lugar.

#### **1.6. RAZONES QUE MOTIVAN LA INVESTIGACIÓN**

El motivo principal por el cual me atrevo a realizar el trabajo de investigación, es el, de plantear una estrategia de solución adecuada, funcional, ejecutable y sobre todo sostenible al problema de la falta de agua para el regadío de las áreas verdes y árboles en la Ciudad Universitaria Los Módulos, mediante un sistema de Planta de Tratamiento de aguas residuales (PTAR) utilizando Humedales Artificiales que pueda satisfacer las demandas específicas de cada área verde.

Hoy en día las aguas residuales son un tema de importancia a nivel mundial dentro del diseño y construcción, y su tratamiento es prioridad en muchos países para evitar la contaminación de los cauces naturales. Por estas razones, existen una gran diversidad de investigaciones, tesis, talleres, cursos, entre otros, para aplicar nuevas técnicas y soluciones a la contaminación y el deterioro de cuerpos de aguas receptoras.

La ingeniería civil debe buscar constantemente la aplicación de nuevos sistemas ecológicos en las infraestructuras que permitan la recuperación de los recursos naturales de manera que cada vez se reduzca aún más el impacto a la naturaleza.

## **1.7. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION**

### **1.7.1. HIPÓTESIS GENERAL**

- ✓ La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales al ser tratados por el sistema de humedales artificiales cumplirán con los límites máximos permisibles de efluentes y podrán utilizarse como aguas de riego.

### **1.7.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- ✓ La planta de tratamiento de Aguas Residuales nos permitirá diseñar los componentes de acuerdo a los límites máximos permisibles de los efluentes.
- ✓ Sera posible el diseño hidráulico del sistema de bombeo, línea de impulsión, reservorio, de acuerdo a las condiciones topográficas del lugar.
- ✓ La calidad del agua residual efluente cumplirá a las exigencias de acuerdo a los límites máximos permisibles (LMP) de los efluentes establecidos para su reúso en el riego.
- ✓ Reducirá los costos de riego en la ciudad universitaria los módulos con el sistema de tratamiento de humedales artificiales.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES**

##### **2.1.1. A NIVEL INTERNACIONAL**

CHÁVEZ, A. (2011). El reúso de aguas residuales, tanto en países desarrollado como en vías de desarrollo, se ha incrementado en los últimos años. Este hecho se asocia principalmente a problemas de escasez de agua.

El reúso de aguas residuales se presenta como un recurso hídrico disponible para combatir la escasez del agua y juega un papel importante en la planificación y gestión integrada del recurso hídrico.

Debido a la creciente escasez de agua fresca, la necesidad de proteger el medio ambiente y aprovechar económicamente las aguas residuales se ha promovido internacionalmente el reúso controlado de efluentes.

El panorama actual del agua es dramático, y el hombre aun hasta nuestros días, no es consciente de la grave situación que está generando su irresponsable actuación frente al cuidado de los recursos naturales, de la calidad del medio ambiente en general y del agua de manera particular.

MOSCOSO, J. Y LEÓN, R. (1996). Las aguas residuales en muchos países son un problema ambiental puesto que contaminan de una manera irracional los ecosistemas en donde son vertidas, lagos,

lagunas, ríos, manglares, costas, entre otros, los principales afectados son la flora y fauna que habitan en estos ecosistemas pero los humanos también resultamos seriamente afectados ya que muchos de estos lugares son una fuente de agua dulce o simplemente por estar ubicados cerca de poblaciones resultan una fuente de infección y contaminación para los habitantes aledaños, además de estar destruyendo nuestro patrimonio natural.



**Figura N° 2.1.** Eliminacion de las aguas residuales a un cuerpo receptor.

Fuente: MOSCOSO, J. Y LEÓN, R. (1996). Curso de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales



**Figura N° 2.2.** Contaminación de las Aguas Residuales al medio ambiente.

Fuente: MOSCOSO, J. Y LEÓN, R. (1996). Curso de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales

OSNAYA, M. (2012). Muchos “sistemas naturales” están siendo considerados con el propósito del tratamiento del agua residual y

control de la contaminación del agua. El interés en los sistemas naturales está basado en la conservación de los recursos asociados con estos sistemas como opuesto al proceso de tratamiento convencional de aguas residuales que es intensivo respecto al uso de energía y químicos.

La utilización de humedales artificiales para la recepción de aguas servidas se remonta a comienzos del siglo XX; las ciénagas, humedales y turberas se concibieron como los mejores receptores de aguas servidas, además jugaban un papel purificador importante. Las primeras nociones científicas relacionadas con el uso de humedales para el tratamiento de aguas usadas remontan hasta la década de los 50, cuando Seidel y Kickuth hicieron un estudio sobre la eliminación de fenoles y tratamiento de aguas residuales de una lechería con humedales artificiales en 1952 en el instituto Max Plank, donde en aquella época éstos no fueron considerados como un sistema de depuración de aguas residuales.

ESTRADA, I. (2010). El primer sistema de tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales inició su operación en Inglaterra en octubre de 1985, para una población de 1.260 habitantes y un caudal promedio de 189 m<sup>3</sup>/día. Así mismo entre 1983 y 1988 se construyeron en Dinamarca más de 130 sistemas de humedales artificiales, para poblaciones de hasta 7.100 habitantes con caudales del orden de 1065 m<sup>3</sup>/día; sin olvidar que también se encontraron funcionando humedales artificiales en Bélgica, Holanda, Hungría y Suecia.

A partir de finales de 1999, más de 200 comunidades en los Estados Unidos fueron reportadas de estar utilizando humedales artificiales para tratar aguas residuales. La mayoría de estas comunidades usaban los humedales para el pulido de efluentes de laguna, como sistema de tratamiento secundario y terciario. Además, las comunidades en una amplia gama de tamaños utilizaban esta tecnología, incluyendo las

grandes ciudades como Phoenix, Arizona, y el Condado de Orange, Florida.



**Figura 2.3.** Humedal construido en la ciudad de California, EE.UU.

**Fuente:** ESTRADA, I. (2010). Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial. Universidad Tecnológica de Pereira

PAGOAGA, A. (2010). Según las experiencias en Israel, Venezuela, Nicaragua y España, la eficiencia del sistema de tratamiento de humedales es sumamente alta, lo cual significa que está entre el 80 % y el 90 %, según el diseño y el tipo de planta que desarrollará la fitodepuración.

Venezuela realiza proyectos de investigación a escala para un sistema de humedales de flujo subsuperficial, tan perfeccionado que no aparenta ser un sistema de tratamiento, pues NO presenta mal olor y la calidad de salida está por arriba de 95 % de eficiencia.



**Figura 2.4.** Humedal de flujo Sub Superficial en Venezuela.

Fuente: PAGOAGA, A. (2010). Evaluación y sistematización de la operación y mantenimiento del humedal artificial de la planta San Miguel, Venezuela.

**Cuadro Nº 2.1.** Resultados obtenidos en diferentes países mediante la utilización de humedales para el tratamiento de aguas residuales.

PAÍS	CIUDAD	POBLACIÓN (Hab.)	CAUDAL (m³/d)	TIPO DE AFLUENTE	REMOCIÓN DBO5 (%)	REMOCIÓN DQO (%)	REMOCIÓN SST (%)
E.U.	California	30000	9464	Secundario	82	-	77,6
E.U.	Arcata	19056	8706	Secundario	-	-	-
España	Los Gallardos	1200	155	Secundario	75,5	-	96
España	Bustillo de Cea	400	66	Sin información	65,95	57,34	67,34
Perú	Lacabamba	1300	106	Secundario	48	-	96
Brasil	Botucatu	-	-	Secundario	-	88	80
Colombia	Tunja (prueba piloto)	-	2,2	Secundario	45,1	51,7	88,6
Colombia	Cogua, Cundinamarca (prueba piloto)	6	1,34	Secundario	80	-	44
Colombia	Escuela Colombia de Ingeniería Julio Garavito (prueba piloto) <sup>(18)</sup>	-	0,096	Secundario	52	70	-

Fuente: LARA, J. (1997). Implantación y Evolución de un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial en Cogua, Cundinamarca, Colombia.

A nivel de investigaciones se han realizado tesis en otros países tales como:

1. BERMEO, L. (2010). Estudio, diseño y selección de la tecnología adecuada para tratamiento de aguas residuales domésticas para poblaciones menores a 2000 habitantes en la ciudad de Gonzanamá. Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador.

*“La selección de la tecnología de depuración de aguas residuales apropiada para la ciudad de Gonzanamá ha sido escogida en función de parámetros ambientales, características propias de la zona, características del agua residual y del suelo, resultando en la selección de un humedal artificial de flujo superficial. Después de los cálculos realizados para el diseño de la planta de tratamiento de humedales de flujo superficial se ha establecido que la remoción teórica de SST es de 60% al 90%, para DBO de 60 al 81%, para nitrógeno total > 80%, para fosforo < 20% y más del 99% de coliformes fecales”.*

2. GONZÁLEZ, F. (2011). Diseño de una Planta de Tratamiento Piloto de Aguas Residuales Domésticas para el Conjunto Residencial Matisse utilizando un Humedal Artificial. Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.

*“Los humedales de flujo sub-superficial son muy eficientes para la remoción de DBO y SST, con costos bajos de construcción y costos muy bajos de operación y mantenimiento”*

3. MIRANDA, J. (2012). Determinación de parámetros de diseño, puesta en marcha y evaluación de la eficiencia de humedales de flujo subsuperficial en la planta piloto aurora II, para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala.

*“El diseño responde adecuadamente al comportamiento previsto, es una tecnología válida para depurar aguas residuales como*

*tratamiento secundario o terciario; el tul como vegetación en los humedales de flujo subsuperficial es una planta eficiente para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Se considera una tecnología viable de bajo costo, pues no requiere de trabajo permanente ni personal calificado para su operación y mantenimiento, el cual es mínimo. La dimensión de las celdas para el diseño del humedal en la planta Aurora II, con relación 4:1 es aceptable, para la influencia del régimen hidráulico y la resistencia del flujo dentro del sistema”.*

4. ONCE, D. (2014). Evaluación de las plantas de depuración de agua residual de las comunidades de soldados y Churuguzo, Cantón Cuenca, Azuay. Universidad de Cuenca. Ecuador.

*“Los humedales, son sistemas bastante eficientes en la remoción de carga orgánica, sin embargo, se ve la necesidad de un mecanismo extra que supla la deficiencia que tienen en cuanto a la eliminación de organismos coliformes”.*

5. ESPINOSA, C. (2014). Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30,000.0 habitantes. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, Colombia.

*“Los humedales artificiales son utilizados como tratamiento secundario o terciario de aguas residuales municipales, lo que hace necesario implementar previamente tratamiento primario (sedimentadores, otros), a fin de garantizar su adecuado funcionamiento y prevenir en el largo plazo problemas de colmatación. Los costos de inversión que requiere la construcción de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales de 30,000.0 habitantes, en comparación con un sistema de tratamiento convencional de lagunas de estabilización son superiores en un 6 %. El costo de operación y mantenimiento del*

*humedal es superior en un 273 % al sistema de lagunas de estabilización”.*

### **2.1.2. A NIVEL NACIONAL**

MINAM, (2015). Las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en el interior del país presentan deficiencias respecto al diseño, operación y mantenimiento, e inadecuada disposición final de los efluentes y residuos sólidos generados dentro de las mismas.

El acceso a los servicios de agua potable y de desagüe es uno de los puntos críticos en la mayoría de ciudades del país, por lo que se requiere buscar alternativas limpias y ecoeficientes que contribuyan al tratamiento de las aguas residuales y eviten una mayor contaminación ambiental en las ciudades.

Algunos sistemas de tratamiento a nivel nacional no funcionan adecuadamente por:

- i) La falta de mantenimiento (limitadas capacidades técnicas del personal para el funcionamiento y mantenimiento de los sistemas),
- ii) La dificultad de conseguir repuestos e insumos adecuados,
- iii) El colapso de los sistemas por sobrecarga en su capacidad de tratamiento,
- iv) La presencia de residuos no orgánicos y metales pesados de origen industrial que es dispuesto en los sistemas de alcantarillado y que dañan los sistemas de tratamiento proyectados para efluentes de origen doméstico.

El manejo de aguas residuales en el Perú, se estima que el volumen de aguas residuales generado solo en las áreas urbanas del país alcanza los 30 m<sup>3</sup>/s, de este total de aguas servidas generadas, el 21% es descargado en los ríos, 43% en el mar, 6% en el lago Titicaca y el 30% en otros cuerpos receptores incluido para el riego de productos agrícolas.

Del volumen total de aguas residuales generado en el país, únicamente el 15% pasan por algún tipo de tratamiento, siendo el más usado los

sistemas de lagunas de estabilización pues constituyen el 84% de las instalaciones de tratamiento existentes en el país, la mayoría de ellas se encuentran en la costa, seguidas por los filtros percoladores o biológicos 1%, Tanques Imhoff 9.4%, y combinaciones de los tratamientos anteriores 8%.

Políticamente, el país está dividido en 24 departamentos que, a su vez, se subdividen en 196 provincias y 1833 distritos. Por otro lado, de los 1833 distritos del Perú, se tiene 2505 PTAR, las cuales son atendidas y autorizadas 283 se encuentran bajo el ámbito de EPS Supervisadas por la SUNASS.

**Cuadro N° 2.2. Registro de Plantas de Tratamientos a Nivel Nacional**

TECNOLOGIAS	PERU TOTAL	Autorizado
Tanque Séptico y percolación en el terreno	1743	
Lagunas de Estabilización	483	
Lodos Activados *	130	
Tanque Imhoff y Filtro Biológico	67	
Tanque Imhoff **	59	
Sedimentación y Humedal	4	
Reactor de manto de lodos y flujo ascendente	3	
Tanque Séptico y lagunas de Estabilización **	5	
Filtro Biológico **	2	
Tanque Séptico y Filtro Biológico	1	
Tanque Séptico	1	
RAFA + Filtro Biológico	1	
RAFA + Lagunas de Estabilización	3	
Tanque Séptico + Humedal + Lodo Activado	1	
Tanque Imhoff + Humedal + lodo activado	2	
<b>TOTAL</b>	<b>2505</b>	283

Fuente: MINAM, (2015) - DIGESA, (2009)

\* Comprende un gran número de sistemas compactos.

\*\* Sistema no adecuado

**Cuadro N° 2.3. Planta de Tratamientos operativos a nivel nacional.**

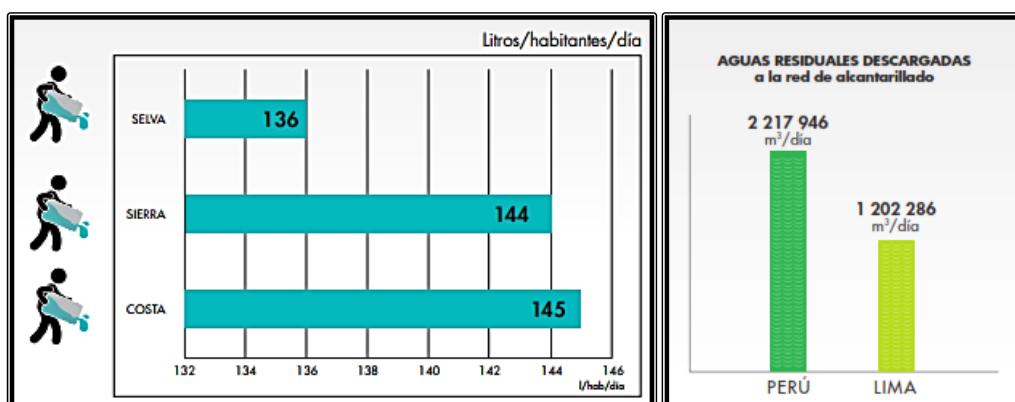
Cód.	EPS	Cód.	EPS
1	EMUSAP AMAZONAS	26	SEDAPAL
2	SEDA HUANUCO S.A.	27	EPS ILO S.A.
3	EMAPACOP S.A.	28	SEDALIB S.A.
4	EPS SEDA LORETO S.A.	29	EPSEL S.A.
5	EMAPA CAÑETE S.A.	30	SEDAPAR S.A. (RIOJA)
6	EMSA PUNO S.A.	31	SEDACUSCO S.A.
7	EPSSMU S.R.LTDA	32	EPS GRAU S.A.
8	AGUAS DE TUMBES	33	EPS CHAVIN S.A.

9	EMAPA PASCO S.A.	34	EMAQ S.R.LTDA.
10	EMAPISCO S.A.	35	EMAPAB S.R.LTDA.
11	SEDACAJ S.A.	36	SEMAPA BARRANCA S.A.
12	EPS TACNA S.A.	37	EMAPICA S.A.
13	EMAPAVIGS S.A.C.	38	EMPSSAPAL S.A.
14	SEDACHIMBOTE S.A.	39	EPS SIERRA CENTRAL S.R.L.
<b>15</b>	<b>SEDA - AYACUCHO</b>	<b>40</b>	EPS NOR PUNO S.A.
16	EMAPA SAN MARTIN S.A.	41	SEDAJULIACA S.A.
17	EMAPAT S.R.LTDA	42	EPS MANTARO S.A.
18	SEMAPACH S.A.	43	EMUSAP ABANCAY S.A.
19	EPS SELVA CENTRAL S.A.	44	EMSAP CHANKA S.R.L.
20	EMAPA MOYOBAMBA S.R.LTDA	45	EPS MARAÑON S.R.L.
21	EMAPA HUANCAYELICA S.A.C.	46	SEDAM HUANCAYO S.A.C.
22	EPS MOQUEGUA S.A.	47	EMSAPA CALCA S.R.L.
23	EMAPA Y S.R.L.	48	EPS AGUAS DEL ALTIPLANO
24	EMAPA HUARAL S.A.	50	EMSAPA YAULI S.R.L.L.
25	EMAPA HUACHO S.A.	51	SEDAPAR S.R.L.

Fuente: Las EPS y su Desarrollo 2015, Datos 2016, Gerencia de Supervisión y Fiscalización - SUNASS.

A nivel nacional, existen 51 EPS Saneamiento que brindan el servicio de alcantarillado a 15'392,203.0 habitantes, lo que representa el 69,65% de la población de zonas urbanas en el país y se vierten 809'550,294.0 m<sup>3</sup> de aguas residuales a las redes de alcantarillado. No cuentan con este servicio 6'707,797.0 habitantes (30,35%).

El Perú hasta el año 2012, genera aproximadamente 2'217,946.0 m<sup>3</sup> por día de aguas residuales descargadas a la red de alcantarillado de las EPS Saneamiento. El 32% de estas recibe tratamiento. Cada habitante en el Perú genera 142 litros de aguas residuales al día.



**Figura N° 2.5. Cantidad de Agua residual por persona**

Fuente: OEFA, 2015. Organismo de evaluación y fiscalización ambiental.

En el año 2024, el Perú generará más del doble de aguas residuales que actualmente manejan las EPS, 4 842 579.0 m<sup>3</sup> por día.

Paradójicamente, el Perú fue uno de los primeros países latinoamericanos que logró experiencias exitosas en el uso de las aguas residuales domésticas para el desarrollo de áreas verdes productivas y recreativas en el desierto costeño.

El Proyecto de San Juan de Miraflores, implementado desde 1964, constituyó un modelo internacional para tratar esta agua a bajo costo y aprovecharla en cultivos agrícolas, piscícolas y forestales, que permitieron desarrollar 600 hectáreas en el desierto del sur de Lima. Luego le siguieron muchos proyectos en Tacna, Piura, Chiclayo, Trujillo e Ica, entre otros que, juntos, sobrepasan las 5,000 hectáreas agrícolas regadas con aguas residuales, aunque una quinta parte se realiza con agua sin tratar.

INSTITUTO DE INVESTIGACION. UNMSM. (2005). Otra experiencia se tuvo en Lacabamba una población de 1300 habitantes ubicada en los Andes Centrales del Perú, para un caudal entre los 104 a 106 m<sup>3</sup>/día. Se hace un tratamiento primario en un tanque construido en concreto armado de 4,5 m de largo, 3,5 m de ancho y 4,0 m de profundidad. El lecho de secado de lodos tiene un área de 110 m<sup>2</sup> con dimensiones de 10 m de ancho, 11 m de largo y 0,6 m de profundidad. La tubería de PVC de 6" de diámetro que interconexión el tanque con el lecho, se distribuye hacia éste en cuatro puntos de alimentación. Con el fin de implementar el tratamiento de aguas residuales mediante un humedal artificial, se modificaron las salidas del tanque para lograr almacenamiento de 23 m<sup>3</sup> y permitir tratamiento primario de las aguas residuales mediante sedimentación y decantación de sólidos. Se dimensionó un humedal de 6,5 m de ancho y 9,0 m de largo con una profundidad de 0,45 m.

El humedal artificial construido en la comunidad urbana de Lacabamba, de flujo horizontal subsuperficial, consta de un área total de 58,5 m<sup>2</sup>, con un medio filtrante de 0,45 m y borde libre de 0,33 m, pendiente descendente en el sentido del flujo de 1 % para asegurar una buena capacidad hidráulica. La base y los taludes del humedal están revestidos

con geomembrana de PVC de color negro, de 0,5 mm de espesor, como capa impermeable, recubierta con un geotextil PAVCO NT 3000 como refuerzo para la distribución de cargas del medio filtrante. Para implantar la cobertura vegetal en los humedales se procedió al trasplante de rizomas de carrizo o caña brava los cuales se obtuvieron en los alrededores del lugar. Para la siembra de carrizo se tomó una tasa de trasplante de rizomas de 5 plantas/m<sup>2</sup> para que garantice una buena cobertura a los tres o cuatro meses de sembrado.

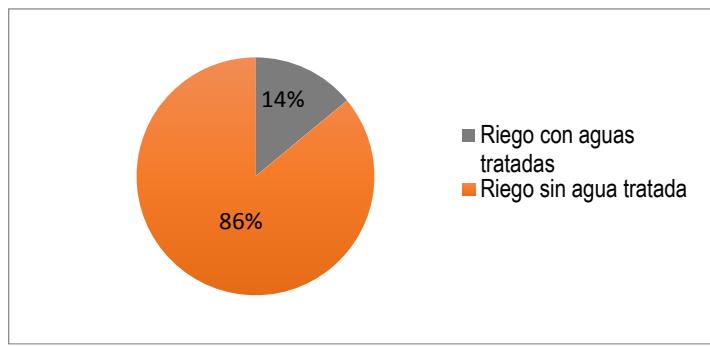


**Figura N° 2.6.** Vista del humedal artificial con los carrizos sembrados

Fuente: Instituto de Investigación. UNMSM. (2005)

El riego con aguas servidas en las principales ciudades del Perú abarca un total de 4237 Has., de los cuales solo 594 Has (14%) son regadas con aguas tratadas. Se puede estimar que el volumen de agua residual utilizada para riego estaría llegando a 5 m<sup>3</sup>/s, dependiendo del cultivo y la época.

**Gráfico Nº 2.1.** Riego con aguas servidas en el Perú



**Fuente:** CHAVEZ, A. (2011). Manejo de Aguas Residuales en el Perú y Experiencia de la Universidad de Piura. Piura, Perú.

A nivel de investigaciones se han realizado tesis con el fin de reducir la contaminación y reúso de estas aguas residuales.

1. LLAGAS, W. (2006). Diseño de Humedales Artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. Lima, Perú.

*“Los modelos matemáticos analizados para los sistemas de agua superficial libre (SASL) requieren ser comprobados con datos de campo ya que son sensibles a los cambios de temperatura en los lugares donde se van a llevar a cabo”.*

2. MONTOYA, E. (2007). Evaluación de las alternativas para la instalación de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales con fines de riego agrícola en el sub sector San Agustín - Callao. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

*“La opción tecnológica elegida para el tratamiento de las aguas residuales es el sistema combinado de lagunas anaerobias cubiertas con geotextil y humedales artificiales (verticales y horizontales), dado que garantiza una calidad de efluente adecuada para el riego agrícola, un bajo nivel de riesgo por presencia de aves y una mejora paisajística del entorno cercano entre otras bondades”.*

3. MÉNDEZ, F. (2010). Propuesta de un modelo socio económico de decisión de uso de aguas residuales tratadas en sustitución de agua

limpia para áreas verdes. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

*“El costo unitario del reúso de aguas residuales tratadas debe ser igual o menor que el pago o tarifa de agua, situación que ha quedado demostrado cuando se realizó la aplicación del modelo”.*

4. BACA, M. (2012). Tratamiento de los efluentes domésticos mediante humedales artificiales para el riego de áreas verdes en el distrito de San Juan de Marcona. Universidad Nacional de Callao. Callao, Perú.

*“El sistema de tratamiento de humedales artificiales del tipo Subsuperficial es una tecnología viable para la depuración de las aguas residuales domésticas, en especial para países como el nuestro en vías de desarrollo, que tengan climas tropicales, subtropicales e inclusive secos escasos de agua. De acuerdo a la concepción de los humedales, para su implementación estos requieren menos costos de inversión, así como los gastos de operación y mantenimiento bajos. (Energía y suministros)”.*

#### **2.1.3. A NIVEL LOCAL**

La ciudad de Ayacucho, cuenta con la Planta de Tratamiento de Aguas residuales de Totora, que viene funcionando desde el año 1975, cuya capacidad inicial fue diseñado para 60,000 mil habitantes y contaba con dos tanques Imhoff y dos lagunas facultativas. El año 2004 fue ampliada su capacidad de acuerdo al proyecto de Mejoramiento y Ampliación de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de Totora, financiada por la República Federal de Alemania.



**Figura N° 2.7.** Vista Panorámica de la PTAR de “La Totora”.

Fuente: Google Earth, 2015.

A nivel de investigación local se tiene:

1. BARBOZA, G. (2011). Reducción de la Carga de Contaminantes de las Aguas Residuales de la Planta de Tratamiento de Totora – Ayacucho Empleando la Técnica de Electrocoagulación. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

*“El método de electrocoagulación resultó ser muy efectivo y útil en el propósito de reducir la carga de contaminantes del efluente de la PTAR – La Totora. Su aplicación permitió la remoción de turbidez, sólidos totales, sólidos disueltos, alcalinidad, dureza total, coliformes fecales y materia orgánica expresada como disminución de DBO<sub>5</sub>. En la actualidad donde el fenómeno ambiental está tomando cada vez mayor interés la electrocoagulación se perfila como un método prometedor de limpieza y purificación para tratamiento de agua”.*

Luego de analizar la situación de la crisis del agua a nivel internacional, nacional y local, es importante involucrar a las autoridades nacionales, organismos gubernamentales, agencias internacionales, ONG, empresas privadas y la comunidad en general en las diferentes actividades para sensibilizar y comprometerlos a la urgente solución de

los problemas relacionados con el agua, por la fragilidad de su situación en el mundo, en términos de cantidad, calidad, cobertura, costo y continuidad, buscando destacar cómo contribuye a esta situación la falta de una cultura hídrica que promueva la gestión eficiente, el ahorro, el cuidado, la preservación, la higiene y el reconocimiento del valor económico y social del agua lo que afecta finalmente a la salud de la población, particularmente la de los más pobres.

## **2.2. BASES TEORICAS**

### **2.2.1. AGUA**

GONZÁLEZ, M. y GUTIÉRREZ, J. (2005). El agua es un componente esencial de todo ser vivo, siendo el disolvente general biológico. Se trata de una biomolécula de naturaleza inorgánica que representa el medio en el que ocurren la mayoría de las reacciones celulares del metabolismo, siendo la sustancia más necesaria para la vida. Los organismos vivos son por ello dependientes del agua para su existencia. Existe además una relación clara y directa entre el contenido de agua y la actividad fisiológica del organismo.

El agua de lluvia, componente esencial del ciclo hidrológico representa un elemento que debería aprovecharse integralmente, debido a que ha pasado por un proceso natural de purificación.

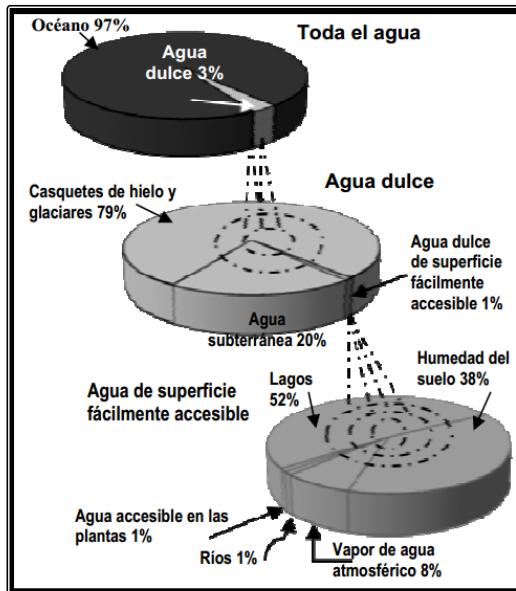
Por estas razones podemos decir que el agua dulce que se encuentra en el planeta es limitada y se tiene que conservar para evitar problemas futuros de escases, gracias a ella podemos beber, producir alimentos y tener un uso recreativo.



**Figura N° 2.8. Ciclo del agua**

Fuente: EPSASA, (2015). Programa Educación Sanitaria.

GIL RODRÍGUEZ, M. (2006). El 70 % de la superficie de la tierra es agua, la mayor parte es oceánica. En volumen, sólo el 3 % de toda el agua del mundo es agua dulce, y generalmente no está disponible en su totalidad. Tres cuartas partes del agua dulce se hallan inaccesibles en forma de casquetes de hielo y glaciares situados en zonas polares muy alejadas de los centros de población y el 20 % del agua dulce de todo el mundo se encuentra como agua subterránea, sólo el 1% es agua dulce superficial aprovechable.



**Figura N° 2.9.** Distribución mundial del agua.

Fuente: FAO. Los problemas del agua y la agricultura.

A pesar de las enormes cantidades de agua en el mundo, ésta no se encuentra disponible uniformemente en todas las regiones. Sólo esa cantidad de agua se renueva habitualmente con la precipitación pluvial y las nevadas, es, por tanto, un recurso sostenible.

#### 2.2.1.1. COMPOSICIÓN DEL AGUA

GIL RODRÍGUEZ, M. (2006). El agua es una sustancia química formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, y su composición química es la siguiente:

- ✓ Bicarbonato ( $\text{HCO}_3$ ) 295,3 (mg/l)
- ✓ Sulfato ( $\text{SO}_4$ ) 43,0 (mg/l)
- ✓ Cloruro ( $\text{Cl}$ ) 39,7 (mg/l)
- ✓ Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) 86,6 (mg/l)
- ✓ Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) 23,3 (mg/l)
- ✓ Sodio ( $\text{Na}^+$ ) 20,7 (mg/l)

#### 2.2.1.2. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA

GIL RODRÍGUEZ, M. (2006). El agua pura es un líquido inodoro, insípido, transparente y prácticamente incoloro, pues sólo en grandes espesores presenta un tono débilmente azul verdoso.

La densidad del agua aumenta anormalmente al elevar la temperatura de 0° a 4°C (exactamente 3,98°C), en que alcanza su valor máximo de 1 g/ml. Por encima o por debajo de esta temperatura, el agua se dilata y la intensidad disminuye.

Las propiedades físicas del agua son:

- ✓ Estado físico: sólida, liquida y gaseosa
- ✓ Color: incolora
- ✓ Sabor: insípida
- ✓ Olor: inodoro
- ✓ Densidad: 1 g. /c.c. a 4°C
- ✓ Punto de congelación: 0°C
- ✓ Punto de ebullición: 100°C
- ✓ Presión crítica: 217,5 atm.
- ✓ Temperatura crítica: 374°C

### **2.2.2. CALIDAD DE AGUA**

ANDREWS, L. (2001). Menciona que no es necesario analizar todos los contaminantes del agua. Simplemente con analizar el agua por el contenido de bacteria coliformes y los nitratos cada uno a tres años se tendrá una buena idea de la calidad de agua. Si se encuentra la bacteria coliformes en el agua, quieren decir que esta se ha filtrado a través del suelo desde la superficie de su terreno, pero si el agua la posee esto quiere decir que otra bacteria que si causa enfermedades podría estar presente.

Los más frecuentes son: coliformes fecales, Escherichia coli, enterococos y la determinación de Salmonella y enterovirus.

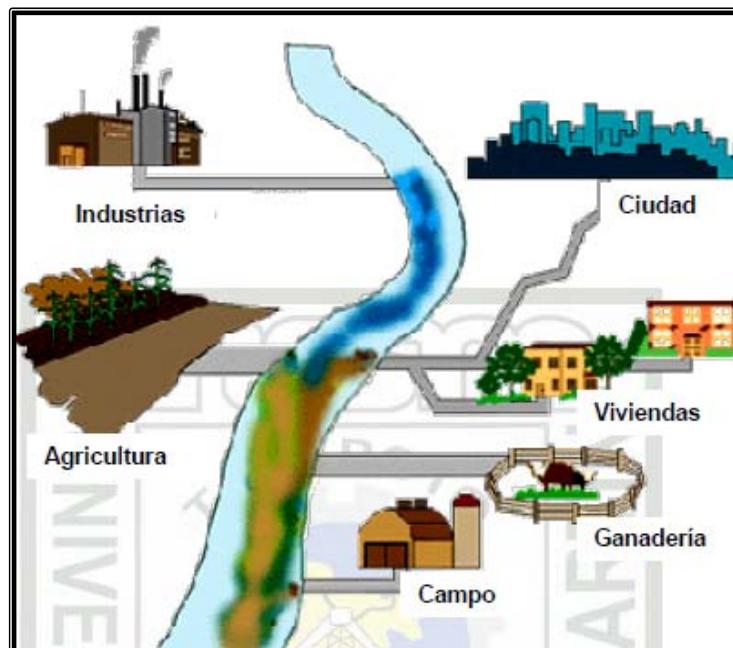
### **2.2.3. FUENTES DE LA CONTAMINACION DEL AGUA**

CALDERÓN, J. (2004). Los principales contaminantes del agua son los siguientes: aguas residuales y otros residuos que demandan oxígeno (en su mayor parte materia orgánica, cuya descomposición produce la desoxigenación del agua).

ANDREWS, L. (2001). Señala que la contaminación urbana está formada por las aguas residuales de los hogares y los establecimientos comerciales.

Durante muchos años, el principal objetivo de la eliminación de residuos urbanos fue tan solo reducir su contenido en materias que demandan oxígeno, sólido en suspensión, (compuestos de fósforos y nitrógeno) y bacterias dañinas. En los últimos años, por el contrario, se ha hecho más hincapié en mejorar los medios de eliminación de los residuos sólidos producidos por los procesos de depuración.

La agricultura, la ganadería comercial y las granjas avícolas, son la fuente de muchos contaminantes orgánicos de las aguas superficiales y subterráneas. Estos contaminantes incluyen tantos sedimentos procedentes de la erosión de las tierras de cultivos como compuestos de fosforo y nitrógeno que, en parte, procedente de los residuos animales y los fertilizantes comerciales. Los residuos animales tienen un alto contenido en nitrógeno, fosforo y materia consumidora de oxígeno, y a menudo albergan organismos patógenos.



**Figura N° 2.10.** Fuentes de contaminación de origen antropogénicas

Fuente: CALDERÓN, J. (2004). Indicadores ambientales de contaminación.

## 2.2.4. AGUAS RESIDUALES

METCALF & EDDY, (1995). A las aguas residuales también conocidas como aguas servidas, fecales o cloacales; son aquellas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, que fueron alteradas por diversas actividades y usos.

También “Las aguas residuales es se puede definir, considerando las fuentes de su generación, como la combinación de los desperdicios líquidos y los desperdicios acarreados por aguas que se remueven de residencias, instituciones y establecimientos comerciales e industriales junto con agua superficial, subterránea o de tormenta que pueda estar presente.”

Según lo establecido en la Norma OS.090 del Reglamento Nacional de Edificaciones: “El agua residual se define como el agua que ha sido usada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico (que contiene carbono) e inorgánico disuelto o en suspensión (que está formado por otros elementos a excepción del carbono)”.

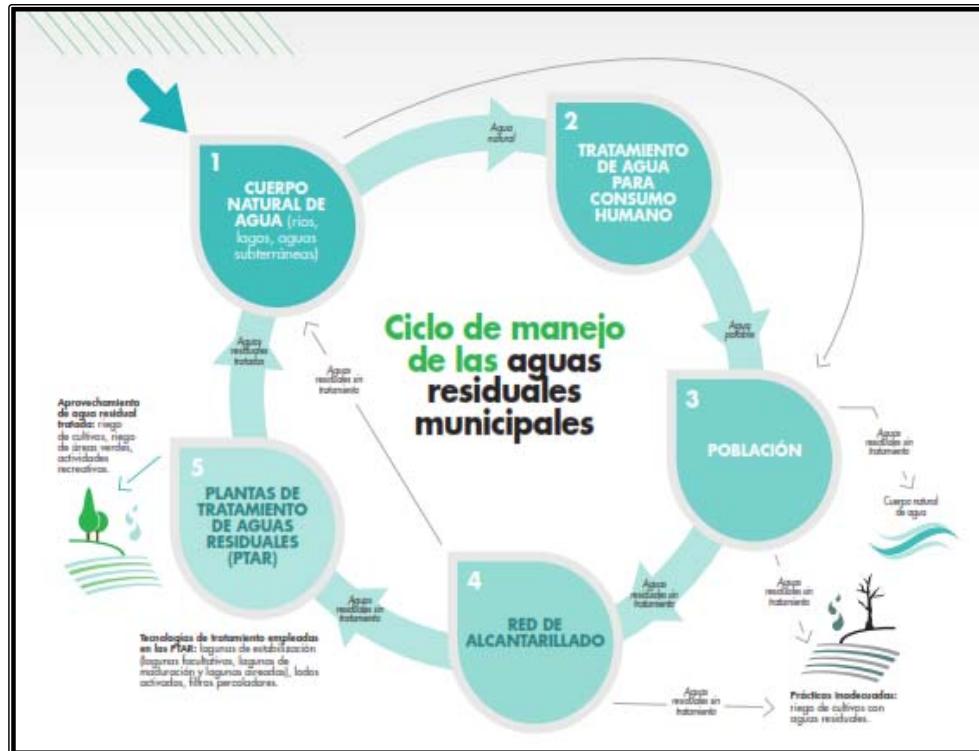


Figura N° 2.11. Ciclo de Manejo del Agua Residual

Fuente: SUNASS, (2011).

## 2.2.5. CLASIFICACION DE LAS AGUAS RESIDUALES

### 2.2.5.1. AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

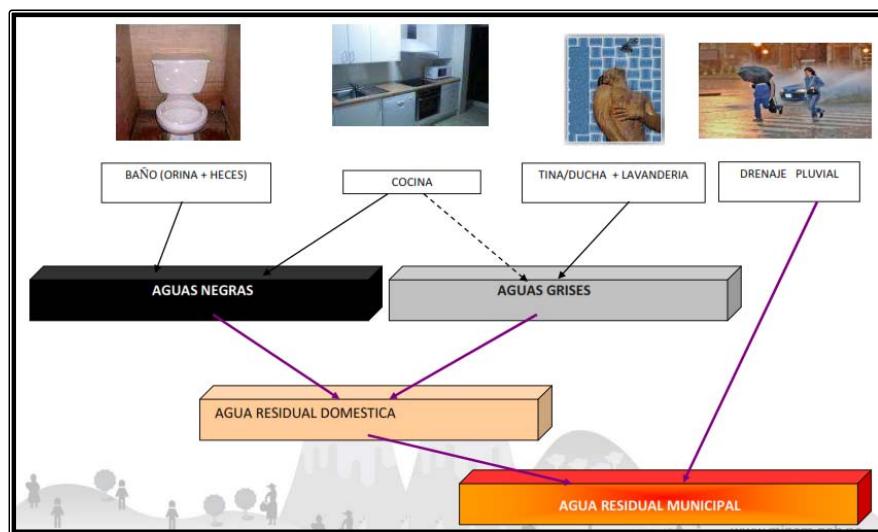
MINAM, (2015). Agua de origen doméstico (viviendas), comercial e institucional, que contiene desechos fisiológicos y otros componentes provenientes de la actividad humana.

### 2.2.5.2. AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES

MINAM, (2015). Son aguas residuales domésticas. Se puede incluir bajo esta definición a la mezcla de aguas residuales domésticas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial, siempre que estas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

### 2.2.5.3. AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

MINAM, (2015). Son Aguas residuales originadas como consecuencia del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras.



**Figura N° 2.12.** Esquema de la clasificación de las aguas residuales

Fuente: MINAM, (2015). V Curso de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

## 2.2.6. CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

METCALF & EDDY, (1995). Las características del agua residual se pueden dividir en físicas, químicas y biológicas, tal como se muestra en el Cuadro N° 2.4. Normalmente las aguas residuales domésticas no son tan complejas como las aguas residuales de tipo industrial donde pueden existir determinados compuestos tóxicos y peligrosos, por ejemplo, fenoles y compuestos orgánicos tóxicos.

**Cuadro N° 2.4.** Clasificación de los parámetros del agua residual

CLASE	PARAMETROS
FISICO	Solidos totales Solidos totales en suspensión Temperatura Color Olor Turbiedad Densidad
QUÍMICO	Hidratos de Carbono Proteínas Lípidos Grasas, aceite $\text{DBO}_5$ , DQO, COT Alcalinidad Arena Metales Pesados Nutrientes N, P. Cloruros Azufre Sulfuro de hidrogeno Gases
BIOLOGICO	Bacterias Algias Protozoos Virus Coliformes

Fuente: Metcalf y Eddy, (1995). Ingeniería de aguas residuales.

### 2.2.6.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

METCALF & EDDY, (1995). Las características físicas más importantes del agua residual son: el contenido total de sólidos (materia en suspensión, materia sedimentable, materia coloidal y la materia disuelta), otras características físicas importantes son el olor, color, la temperatura, la densidad y la turbiedad.

### **a. PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN, (SÓLIDOS TOTALES)**

Es el contenido total de la materia sólida en el agua, comprendiendo tanto materia orgánica como inorgánica, estos sólidos pueden encontrarse como: Sólidos Disueltos, Sólidos en Suspensión, Sólidos Sedimentables y Sólidos no Sedimentables.

Los sólidos orgánicos proceden de la actividad humana, siendo de origen animal y/o vegetal, contienen principalmente C, H, O, así como N, S, P y K etc. Su característica es la posibilidad de degradación y descomposición por reacciones químicas ó acciones enzimáticas de los microorganismos.

Los sólidos inorgánicos son sustancias inertes y no degradables, tales como minerales arenas y tierras.

### **b. OLORES.**

Normalmente los olores son originados por los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente presenta un olor característico, algo desagradable, que resulta más tolerable que el olor producido por el agua residual séptica.

El olor más característico del agua residual séptica es el debido a la presencia del Sulfuro de Hidrogeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios.

A bajas concentraciones, la influencia de los olores sobre el normal desarrollo de la vida humana tiene más importancia por la tensión psicológica que produce, que por el daño que pueda producir al organismo, los malos olores pueden reducir el apetito, inducir al organismo a menores consumos de agua, producir náuseas y vómitos. Por lo que es conveniente estudiar sus efectos, como se detectan y caracterizarlos y medirlos.

### **c. TEMPERATURA.**

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de abastecimiento debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales.

La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana se sitúa entre los 25 y los 35 °C.

Los procesos de digestión aerobia y de nitrificación se detienen cuando alcanzan los 50 °C. A temperaturas de alrededor de 15°C las bacterias productoras de metano cesan su actividad.

**d. DENSIDAD**

Se define la densidad de un agua residual como su masa por unidad de volumen expresada comúnmente en Kg / m<sup>3</sup> es una característica física del agua residual dado de que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación.

**e. COLOR**

Se utiliza para determinar la edad del agua residual que puede ser determinada dependiendo del color que tenga por ejemplo el agua residual resiente suele tener un color grisáceo sin embargo al aumentar el tiempo de transporte en la red de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias el color del agua residual cambia de gris a gris oscuro o negro llegado este punto suele clasificarse el agua residual como séptica.

**f. TURBIEDAD**

Esta se utiliza como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua también es utilizado para indicar la calidad de las aguas vertidas en relación con la materia coloidal y residual en suspensión.

**2.2.6.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS**

METCALF & EDDY, (1995). El estudio de las características químicas de las aguas residuales se aborda en los siguientes cuatro apartados: (1) La materia orgánica.  
(2) La medición del contenido orgánico.  
(3) La materia inorgánica.  
(4) Los gases presentes en el agua residual.

El hecho de que la medición del contenido en materia orgánica se realice por separado viene justificado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas.

**a. MATERIA ORGANICA.**

Cerca del 75% de los sólidos en suspensión y del 40% de los sólidos filtrables de un agua residual de concentración media son de naturaleza orgánica. Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de actividades humanas con la síntesis de compuestos orgánicos los compuestos orgánicos están compuestos normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno oxígeno con la presencia en determinados casos de nitrógeno también pueden estar presentes elementos como el azufre, fósforo o hierro.

**b. GRASAS Y ACEITES.**

El término grasa, de uso extendido, engloba las grasas animales, aceites, ceras y otros constituyentes presentes en las aguas residuales.

Las grasas animales y los aceites son compuestos de alcohol ésteres glicerol (glicerina) y ácidos grasos. Los glicéridos de ácidos grasos que presentan en estado líquido a temperaturas normales se denominan aceites mientras que los que se presentan en estado sólido reciben el nombre grasas. Químicamente son muy parecidos, y están compuestos por carbono, oxígeno e hidrógeno en diferentes proporciones.

Las grasas y aceites animales alcanzan las aguas residuales en forma mantequilla, manteca de cerdo, margarina y aceites y grasas vegetales. Grasas provienen habitualmente de carnes, gérmenes de cereales, semillas, nueces y ciertas frutas.

**c. MEDIDA DEL CONTENIDO ORGÁNICO**

A lo largo de los años, se han ido desarrollando diferentes ensayos para la determinación del contenido orgánico de las aguas residuales. En general, los diferentes métodos para medir el

contenido orgánico pueden clasificarse en: (1) demanda bioquímica de oxígeno (DBO), (2) demanda química de oxígeno (DQO), y (3) carbono orgánico total (COT).

- **DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO<sub>5</sub>)**

Es la cantidad de oxígeno que utilizan los microrganismos para llevar a cabo la reducción de la materia orgánica en condiciones aeróbicas. Para el control de los procesos de depuración suele adoptarse la DBO<sub>5</sub> a los 5 días y a 20 °C (DBO<sub>5</sub>), cuyo valor se aproxima al valor asintótico de la DBO<sub>5</sub> correspondiente al ciclo del carbono. Para determinar este parámetro es necesario que el agua se encuentre a un pH entre 6,50 y 8,30.

Los resultados de los ensayos de DBO se emplean para:

- ✓ Determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.
- ✓ Dimensionar las instalaciones de tratamiento del agua residual.
- ✓ Medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento y controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos.

- **DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO).**

Es la cantidad de oxígeno disuelto consumida por el agua residual (por vía química) provocada por un agente químico, fuertemente oxidante. La oxidación es activa sobre las sales minerales oxidables, así como sobre la materia orgánica biodegradable, que existe en el agua analizada.

La relación encontrada entre la DBO<sub>5</sub> y la DQO indicará la importancia de los vertidos industriales y sus posibilidades de biodegradabilidad.

- **CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT).**

Otro método para medir la materia orgánica presente en el agua es el método COT, especialmente indicado para pequeñas concentraciones de materia orgánica.

#### **d. PH**

En la naturaleza, así como en los vertidos urbanos se encuentran ácidos y bases que modifican ampliamente el pH de las aguas. Las aguas urbanas tienen un pH próximo al valor de 7, es decir son adecuadas para los microorganismos neutrófilos. Es necesario controlar el pH para garantizar los procesos biológicos, debiendo encontrarse entre valores de 6,2 y 8,3 para que no se generen problemas de inhibición.

#### **e. ALCALINIDAD.**

La alcalinidad de un agua residual está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoniaco. De entre todos ellos, los más comunes son el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio.

La alcalinidad ayuda a regular los cambios del pH producido por la adición de ácidos.

Normalmente, el agua residual es alcalina, propiedad que adquiere de las aguas de tratamiento, el agua subterránea, y los materiales añadidos en los usos domésticos.

#### **f. NITRÓGENO**

El nitrógeno es absolutamente básico para la síntesis de proteínas, será preciso conocer datos sobre la presencia del mismo en las aguas, y en qué cantidades, para valorar la posibilidad de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales mediante procesos biológicos. Cuando el contenido de nitrógeno sea insuficiente, será preciso añadirlo para hacer tratable el agua residual

#### **g. FÓSFORO.**

El fósforo también es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido a que en aguas superficiales tienen lugar nocivas proliferaciones incontroladas de algas, actualmente

existe mucho interés en limitar la cantidad de compuestos de fósforo que alcanzan las aguas superficiales por medio de vertidos de aguas residuales domésticas, industriales, y a través de las escorrentías naturales. Como ejemplo podemos citar el caso de las aguas residuales municipales, cuyo contenido en fósforo como P puede variar entre 4 y 15 mg.

#### **h. AZUFRE**

El ion sulfato se encuentra, de forma natural, tanto en la mayoría de las aguas de abastecimiento como en el agua residual. Para la síntesis de proteínas, es necesario disponer de azufre, elemento que posteriormente será liberado en el proceso de degradación de las mismas. Los sulfatos se reducen químicamente a sulfuros y a sulfuros de hidrógeno (H) bajo la acción bacteriana en condiciones anaerobias).

#### **i. COMPUESTOS TÓXICOS INORGÁNICOS.**

Algunos cationes son de gran importancia de cara al tratamiento y evacuación de aguas residuales. Muchos de dichos compuestos están clasificados como contaminantes prioritarios el cobre, el plomo, la plata, el cromo, el arsénico y el boro son tóxicos en mayor o menor grado para los microrganismos, razón por la cual deben ser considerados en el proyecto de plantas de tratamiento biológico.

#### **j. METALES PESADOS**

Como constituyentes importantes de muchas aguas, también se encuentran cantidades, a nivel de traza, de muchos metales. Entre ellos podemos destacar el níquel (Ni), el manganeso (Mn), el plomo (Pb), el cromo (Cr), el cadmio (Cd), el cinc (Zn), el cobre (Cu), el hierro (Fe) y el mercurio (Hg). Muchos de estos metales también están catalogados como contaminantes prioritarios. Algunos de ellos son imprescindibles para el normal desarrollo de la vida biológica, y la ausencia de cantidades suficientes de ellos podría limitar el crecimiento de las algas, por ejemplo. Debido a su toxicidad, la

presencia de cualquiera de ellos en cantidades excesivas interferirá con gran número de los usos del agua.

#### **k. GASES**

Los gases que con mayor frecuencia se encuentran en aguas residuales brutas son el nitrógeno (N), el oxígeno, el dióxido de carbono, el sulfuro de hidrógeno, el amoníaco, y el metano. Los tres primeros son gases de común presencia en la atmósfera, y se encuentran en todas las aguas en contacto con la misma. Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales.

#### **I. OXIGENO DISUELTO**

El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microrganismos aerobios, así como para otras formas de vida. Sin embargo, el oxígeno es sólo ligeramente soluble en agua. La cantidad real de oxígeno y otros gases que puede estar presente en la solución, viene condicionada por los siguientes aspectos: (1) solubilidad del gas; (2) presión parcial del gas en la atmósfera; (3) temperatura, y (4) pureza del agua, (5) salinidad, (6) sólidos en suspensión, etc. Debido a que la velocidad de las reacciones bioquímicas que consumen oxígeno aumenta con la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser más críticos en las épocas estivales.

#### **m. SULFURO DE HIDROGENO**

El sulfuro de hidrógeno se forma durante el proceso de descomposición de la materia orgánica que contiene azufre, o en la reducción de sulfitos y sulfatos minerales, mientras que su formación queda inhibida en presencia de grandes cantidades de oxígeno.

Es un gas incoloro, inflamable, con un olor típicamente característico que recuerda al de huevos podridos. El ennegrecimiento del agua residual y del fango se debe, generalmente, a la formación de sulfuro de hidrógeno que se combina con el hierro presente para formar sulfuro ferroso u otros sulfuros metálicos.

## **n. METANO**

El principal subproducto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica del agua residual es el gas metano. El metano es un hidrocarburo combustible de alto valor energético, incoloro e inodoro. Normalmente, no se encuentra en grandes cantidades en el agua residual, puesto que incluso pequeñas cantidades de oxígeno tienden a ser tóxicas para los organismos responsables de la producción del metano.

### **2.2.6.3. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS**

METCALF & EDDY, (1995). Al hablar de las características biológicas de las aguas residuales. Se debe estar familiarizado con los siguientes temas:

- a. Principales grupos de microorganismos biológicos presentes, tanto en aguas superficiales como residuales, así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos.
- b. Organismos patógenos presentes en las aguas residuales.
- c. Organismos utilizados como indicadores de contaminación y su importancia.

#### **a. MICROORGANISMOS**

Los principales grupos de organismos presentes tanto en aguas residuales como superficiales se clasifican en organismos eucariotas, eubacterias y arquebacterias la mayoría de los organismos pertenecen al grupo de las eubacterias.

La categoría protista, dentro de los organismos eucariotas, incluye las algas, los hongos y los protozoos. Las plantas tales como los helechos, los musgos, las plantas hepáticas y las plantas de semilla están clasificadas como eucariotas multicelulares; en el cuadro N° 2.5, se observa la clasificación de los microorganismos celulares.

**Cuadro Nº 2.5. Clasificación de los Microorganismos**

Grupo	Estructura celular	Caracterización	Miembros representativos
Eucariota	Eucariota	Multicelular con gran diferenciación, de las células y tejido unicelular, con escasa o nula diferenciación de tejidos	Plantas (plantas de semilla, musgos y helechos). Animales (vertebrados y invertebrados) Protistas (Algas, hongos y protozoos).
Bacterias	Procariota (b)	Química celular parecida a las eucariotas.	La mayoría de las bacterias
Arqueobacterias	Procariota (b)	Química celular distintiva	Metanogenesis, halófilos, termacidofilos

Fuente: Metcalf & Eddy, (1995). Ingeniería de aguas residuales.

## b. BACTERIAS

El papel que desempeñan las bacterias en los procesos de descomposición y estabilización de materia orgánica. Por ello resulta imprescindible conocer sus características, funciones, metabolismo y proceso de síntesis.

Entre ellas tenemos:

- ✓ **Coliformes Totales.** Son microbios que se presentan en la calidad del agua, estas bacterias no solo se presentan en la leche, sino que también en la vegetación y del suelo. Algunos de estos coliformes tenemos: Escherichia Coli, Citrobacter, Enterobacter y Klebsiella.
- ✓ **Coliformes Fecales.** Se encuentran presentes en grandes cantidades en las heces humanas, y de todos los microorganismos los Escherichia Coli, tiene un origen

específicamente fecal, a continuación, se tiene microorganismos por cada 100 ml.

- Total, de Bacterias  $10^9 - 10^{10}$
  - Coliformes Fecales  $10^6 - 10^9$
  - Streptococo Fecal  $10^5 - 10^6$
  - Salmonella Tiphy  $10^1 - 10^4$

### ✓ Composición de las excretas

**Heces sin orina** : 135 – 270 grs/hab/día (peso húmedo)

: 35 – 70 grs/hab/día (peso seco)

**Contenido de humedad** : 66 - 80 %

**Cuadro N° 2.6. Composición de las excretas.**

TERMINOS DE BASE SECA	HECES	ORINA
Contenido de microorganismos	88 – 97 %	65 – 85 %
Nitrógeno	5 – 7 %	15 – 19 %
Fosforo ( $P_2O_5$ )	3 – 5.4 %	2.5 - 5 %
Potasio ( $K_2O$ )	1 – 2.5 %	3.0 - 4.5 %
Carbono	40 – 55 %	11 - 17 %
Calcio ( $C_aO$ )	4 – 5 %	4.5 - 6 %
C / N	5 – 10 %	1 / 1

**Fuente:** Metcalf & Eddy, (1995). Ingeniería de aguas residuales.

### **c. HONGOS**

Muchos de los hongos son saprófitos; basan su alimentación en materia orgánica muerta. Juntos con las bacterias, los hongos son los principales responsables de la descomposición del carbono en la biosfera.

Desde el punto de vista ecológico, los hongos presentan ciertas ventajas sobre las bacterias: pueden crecer y desarrollarse en zonas de baja humedad y en ámbitos con pH bajos. Sin la colaboración de los hongos en los procesos de degradación de la materia orgánica

el ciclo del carbono se interrumpiría en poco tiempo, y la materia orgánica empezaría a acumularse.

#### **d. ALGAS**

Son de mucha importancia en lagunas de estabilización ya que la capacidad de las algas para generar oxígeno por fotosíntesis es vital para la ecología del medio ambiente acuático. Para que una laguna de oxidación aerobia o facultativa funcione adecuadamente, la presencia de algas es necesaria para suministrar el oxígeno a las bacterias heterótrofas aerobias.

#### **e. PROTOZOOS**

Los protozoos de importancia son las amebas, los flagelados y los ciliados libres y fijos, estos se alimentan de bacterias y otros microorganismos. Tienen una considerable eficacia, tanto en el funcionamiento de los tratamientos biológicos como en la purificación de cursos de agua ya que son capaces de mantener el equilibrio natural. Ciertos protozoos son también patógenos.

#### **f. VIRUS**

Los virus excretados por los seres humanos pueden representar un importante peligro para la salud pública. Por ejemplo, a partir de datos experimentales, se ha podido comprobar que cada gramo de heces de un paciente con hepatitis contiene entre 10.000 y 100.000 dosis de virus hepático.

#### **g. ORGANISMOS PATOGENOS**

Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales pueden proceder de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una determinada enfermedad. Los organismos bacterianos patógenos que pueden ser excretados por el hombre causan enfermedades del aparato intestinal como la fiebre tifoidea y paratifioidea, la disentería, diarreas y cólera.

## **h. ORGANISMOS INDICADORES**

Los organismos patógenos se presentan en el agua residual contaminada en cantidades muy pequeñas y, además, resultan difíciles de aislar y de identificar. Por ello se emplea el organismo coliforme como organismo indicador, puesto que su presencia es más numerosa y fácil de comprobar.

El sistema intestinal humano contiene innumerables bacterias conocidas como organismos Coliformes, cada humano evaca de 100,000 a 400,000 millones organismos Coliformes cada día. Por ello, se puede considerar que la presencia de Coliformes puede ser un indicador de la posible presencia de organismos patógenos, y que la ausencia de aquellos es un indicador de que el agua está libre de organismos que puedan causar enfermedades.

**Cuadro N° 2.7. Parámetros en descargas de aguas residuales y aportes por persona.**

<b>PARAMETRO</b>	<b>APORTE PERCAPITA (GR/HAB/DÍA)</b>
DBO <sub>5</sub>	45 - 55
DQO	(1.6 a 2.5) DBO
Solidos totales	170 - 220
Solidos disueltos	50 - 150
Solidos suspendidos	70 - 145
Arena (Inorg. Ø>0.2mm)	5 - 15
Grasas	10 - 30
Alcalinidad como CaCO <sub>3</sub>	20 - 30
Nitrógeno Total como N	5 - 12
N - Orgánico	0.4 x N-total
N - Amoniacal	0.6 x N-total
N - Nitritos	-
N - Nitratos	-
Fosforo Total como P	0.8 - 0.4
P - Orgánico	0.3 P-total
P - Inorgánico	0.7 P-total

**Fuente:** Metcalf & Eddy, (1995). Ingeniería de aguas residuales.

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

METCALF & EDDY, (1995). El agua residual vertida sobre cualquier fuente de agua natural originará en ella cierto grado de contaminación, por ello debemos controlar los efectos indeseables a fin que el cuerpo receptor no altere sus propiedades, y sus características se vuelvan inaceptables para el uso en el que fue propuesto. En el cuadro Nº 2.8, se muestra en forma muy breve y generalizada la importancia e impacto hacia el medio ambiente de los diferentes contaminantes.

**Cuadro Nº 2.8.** Contaminantes de importancia en el agua residual.

Contaminante	Fuente	Efectos causados por la descarga del agua
Sustancias que consumen Oxígeno (MO*biodegradable).	ARD* y ARI* (proteínas, carbohidratos, grasas, aceites).	Agotamiento del oxígeno, condiciones sépticas.
Sólidos suspendidos	ARD y ARI; erosión del suelo.	Depósito de lodo; desarrollo de condiciones anaeróbicas.
• Nitrógeno(nutriente) • Fósforo (nutriente)	ARD, ARI y ARA* ARD y ARI; descarga natural.	Crecimiento indeseable de algas y plantas acuáticas.
Materia tóxica • Metales pesados • Compuestos orgánicos tóxicos	ARI ARA y ARI	Deterioro del ecosistema; envenenamiento de los alimentos en caso de acumulación.
MO refractario (Difícil de degradar biológicamente)	ARI (fenoles, surfactantes), ARD y ARA (pesticidas, nutrientes); Materia resultante del decaimiento de la MO.	Resisten el tratamiento convencional, pero pueden afectar el ecosistema.
Sólidos inorgánicos Disueltos. • Cloruros • Sulfuros • pH	Abastecimiento de agua, uso de agua Abastecimiento agua, uso agua, ARD y ARI ARI	Incremento del contenido de sal.
Olores: H <sub>2</sub> S	Descomposición de ARD	Molestia pública

**Fuente:** Metcalf & Eddy, (1995). Ingeniería de aguas residuales. \*MO; Materia orgánica \*ARD: Aguas residuales domésticas \*ARI: Aguas residuales industriales; \*ARA: Aguas residuales agrícolas.

## **2.2.8. CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES**

METCALF & EDDY, (1995). Aquí se presentan las definiciones y principales características de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales municipales, aplicables a los desechos domésticos, como información indispensable para poder formular la propuesta de la planta de tratamiento. Por lo que a continuación se presenta la clasificación de los diferentes métodos empleados para el tratamiento del agua residual y además la aplicación de éstos con el fin de alcanzar los objetivos establecidos para el proceso de tratamiento.

### **2.2.8.1. PROCESOS UNITARIAS FÍSICAS**

Se refiere a los procesos donde predomina la acción de las fuerzas físicas, que permiten separar las partículas sedimentables y no sedimentables del agua residual, remoción de partículas flotantes, retención de partículas de gran tamaño. El desbaste, mezclado, floculación, sedimentación, flotación, transferencia de gases y filtración son operaciones unitarias típicas.

### **2.2.8.2. PROCESOS UNITARIAS QUÍMICAS**

Son métodos de tratamiento en las cuales la eliminación o conversión de los contaminantes se consigue con la adición de productos químicos. El proceso de cloración es el más importante, ya que se aplica con mayor frecuencia en los sistemas de tratamiento de aguas.

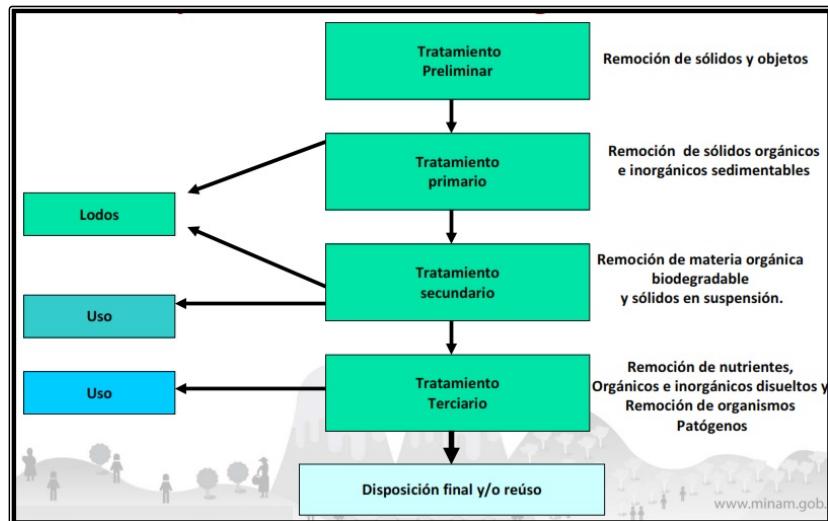
### **2.2.8.3. PROCESOS UNITARIAS BIOLOGICAS**

En este tipo de tratamiento se aprovecha la acción de microrganismos presentes en el agua residual, los cuales, en su proceso de alimentación, degradan la materia orgánica, convirtiéndola en material celular, productos inorgánicos o material inerte.

## **2.2.9. ETAPAS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES**

MINAM, (2015). Debido a los componentes indispensables las aguas residuales se logran mediante las diferentes etapas de tratamiento.

Esquema de las etapas del tratamiento de aguas residuales, subproductos y disposición final.



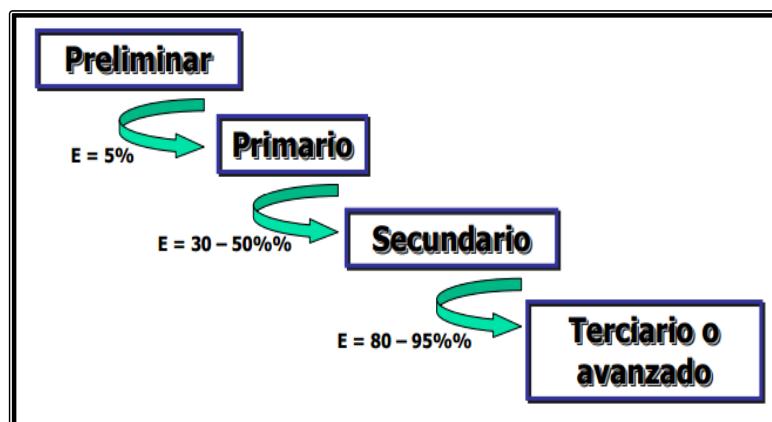
**Figura N° 2.13. Etapas del Tratamiento de aguas residuales**

Fuente: MINAM, (2015). V Curso de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

En la actualidad existen diversas tecnologías disponibles mundialmente, las cuales deben de utilizarse de acuerdo al tipo de uso que se desea dar al agua tratada.

#### 2.2.10. GRADO DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

METCALF & EDDY, (1995). En atención a un orden de gradualidad, un proceso de tratamiento se puede implementar secuencialmente de la siguiente manera.



**Figura N° 2.14. Grado de Remoción en cada Tratamiento**

Fuente: Collazos, C. (2008). Tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales

**Cuadro Nº 2.9.** Eficiencia de Remoción de constituyentes en los diferentes procesos de tratamiento.

Unidades de Tratamiento	Eficiencia de remoción de constituyentes (%)						
	DBO	DQO	SS	P	N org.	NH3-N	Patógenos
Rejillas	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.
Desarenadores	0-5	0-5	0-10	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.
Sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65	10-20	10-20	0	Desp.
Lodos activados (convencional)	80-95	80-95	80-90	10-25	15-20	8-15	Desp.
Filtros percoladores	65-80	60-80	60-85	8-12	-	8-15	Desp.
Cloración	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	100
Reactores UASB	65-80	60-80	60-70	30-40	0	0	Desp.
Lagunas anaerobias	50-70	-	20-60	-	-	-	90-99.99
Lagunas aireadas	80-95	-	85-95	-	-	-	90-99.99
Lagunas facultativas	80-90	-	63-75	30	-	-	90-99.99
Laguna de maduración	60-90	-	85-95	-	-	-	90-99.99
Humedad artificial	65-80	65-80	-	30	22-33	-	99.99

Fuente: MINAM, (2015). V Curso de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

**Cuadro Nº 2.10.** Remoción esperada de algunos parámetros físico, químico y biológico en los diferentes procesos de tratamiento.

Procesos de tratamiento	Remoción (%)		Remoción (ciclos log10)		
	DBO	Sólidos en suspensión	Bacterias	Helmintos	Quistes
Sedimentación primaria	25 – 30	40 - 70	0 - 1	0 - 1	0 - 1
Lodos activados (a)	70 - 95	70 - 95	0 - 2	0 - 1	0 - 1
Filtros percoladores (a)	50 - 90	70 - 90	0 - 2	0 - 1	1 - 2
Lagunas aireadas (b)	80 - 90	(c)	1 - 2	0 - 1	0 - 1
Zanjas de oxidación (d)	70 - 95	80 - 95	1 - 2	0 - 1	-
Lagunas de estabilización (e)	70 - 85	(c)	1 - 6	1 - 4	2 - 4
Biofiltros	80 – 95	80 - 95	1 - 2	0 - 2	0 - 1
Desinfección	-	-	1 - 2	1 - 3	0 - 1

(b) Incluye laguna secundaria., (c) Dependiente del tipo de lagunas, (d) Seguidas de sedimentación, (e) Dependiendo del número de lagunas y otros factores como: Temperatura, periodo de retención y forma de las lagunas. 1 ciclo de log10 =90% remoción; 2 ciclos = 99%; 3 ciclos = 99.9%; etc.

Fuente: RNE, 2012. Norma Técnica OS.090.

**Cuadro N° 2.11.** Rango de eficiencia en las etapas de cada tratamiento.

Parámetro	DESAGÜE	PRELIMINAR Y PRIMARIO	TRAT. SECUNDARIO		Valor Efluente	Posibilidad de Reuso
			FAFA	FILTRO PERCOLADOR		
<b>DBO</b>	400-250 mg/l	15% 340-225	55%-75% Sale: 165-120 mg/l	83%-95% 30-10 mg/L	10 a 25 mg/L	Ok
<b>SST</b>	150-190 mg/L	30% 80-120 mg/L	50-60% 50-85 mg/L	70-95% <30 mg/L	20 a 30 mg/L	Ok
<b>CF</b>	$10^8$ - $10^7$ NMP/100ml	-	90% $10^7$ - $10^6$ NMP/100ml	0-2 Log. De Magnitud $10^7$ - $10^5$ NMP/100ml	$10^7$ - $10^5$ NMP/100ml	Desinfección o Lagunas

Fuente: Espinoza, R. (2010). Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Juan de Miraflores.

## 2.2.11. IMPORTANCIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

MINAM, (2015). Los desechos humanos son la principal vía para la transmisión y propagación de una variedad de enfermedades contagiosas. Algunas de estas enfermedades, como diarreas, junto a la malnutrición, las enfermedades respiratorias y la malaria, son las principales causas de enfermedad y muerte de pobladores, en especial los niños de países terceromundistas. Los desechos humanos son la principal vía para la transmisión y propagación de una variedad de enfermedades contagiosas.

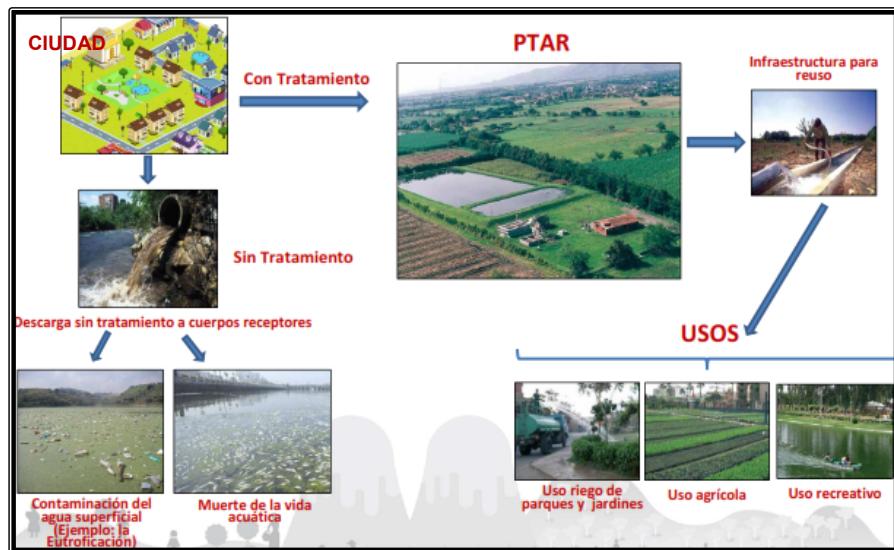
Todas estas enfermedades y muchas otras tienen su origen en un individuo infectado y su transmisión se da por las excretas humanas.

Es por esta razón que la colección, el transporte y tratamiento de los desechos municipales son de gran importancia para la protección de la salud de cualquier comunidad.

El tratamiento de las aguas residuales es realizado con el propósito de evitar la contaminación física, química, bioquímica, biológica y radioactiva de los cursos y cuerpos de agua receptores. De un modo general, el tratamiento persigue evitar:

- ✓ Daños a los abastecimientos públicos, privados e industriales de suministro de agua.
- ✓ Daño a las aguas destinadas a la recreación y el esparcimiento.

- ✓ Perjuicios a la agricultura y depreciación del valor de la tierra.
- ✓ Impacto al entorno ecológico

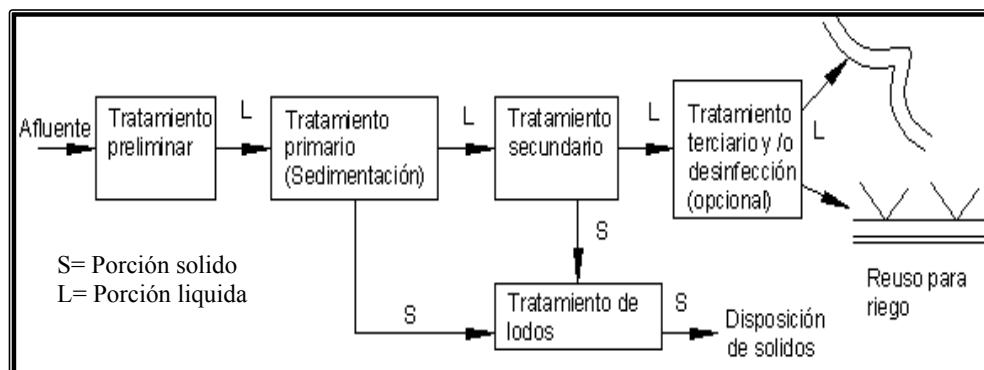


**Figura N° 2.15. Importancia de las aguas residuales.**

Fuente: MINAM, 2015. V Curso de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

## 2.2.12. COMPONENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

AYALA, R. y GONZALES, G. (2008). El tratamiento de aguas residuales (o agua servida, doméstica, etc.) incorpora procesos físicos químicos y biológicos, que tratan y remueven contaminantes físicos, químicos y biológicos introducidos por el uso humano cotidiano del agua.



**Figura N° 2.16. Componentes Básicos de tratamiento de aguas residuales**

Fuente. AYALA, R. y GONZALES, G. (2008). Apoyo Didáctico de Plantas de Tratamiento de AR.

El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable al ambiente, y un residuo sólido o lodo que con un proceso adecuado sirve como fertilizante orgánico para la agricultura o jardinería.

**Cuadro N° 2.12. Unidades de tratamiento de aguas residuales**

CLASIFICACION	UNIDAD DE TRATAMIENTO	DESCRIPCION
<b>Tratamiento preliminar o pre-tratamiento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rejas</li> <li>• Desarenador</li> </ul>	Es el conjunto de unidades que tiene como finalidad de eliminar materiales gruesos, que podrían perjudicar el sistema de conducción de la planta.
<b>Tratamiento primario</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tanque séptico</li> <li>• Tanque Imhoff</li> </ul>	La finalidad es de remover sólidos suspendidos removibles por medio de sedimentación, filtración, flotación y precipitación.
<b>Tratamiento secundario</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reactor UASB<sup>1</sup></li> <li>• Lagunas de estabilización<sup>2</sup></li> <li>• Lodo activado convencional</li> <li>• Filtro percolador</li> <li>• Humedales</li> <li>• Filtro anaerobio</li> <li>• Zanja de oxidación</li> <li>• Biodisco</li> </ul>	La finalidad es de remover material orgánico y en suspensión. Se utiliza procesos biológicos, aprovechando la acción de microorganismos, que en su proceso de alimentación degradan la materia orgánica. La presencia o ausencia de oxígeno disuelto en el agua residual, define dos grandes grupos o procesos de actividad biológica, los aerobios (en presencia de oxígeno) y los anaerobios (en ausencia de oxígeno).
<b>Tratamiento terciario</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Microcribado</li> <li>• Coagulación-flocculación</li> <li>• Filtros rápidos</li> <li>• Adsorción Oxidación química</li> <li>• Electrodiálisis</li> <li>• Intercambio iónico</li> <li>• Precipitación química</li> <li>• Nitrificación-desnitrificación</li> <li>• Precipitación con cal.</li> </ul>	Es el grado de tratamiento necesario para alcanzar una calidad físico-química biológica alto para cuerpos de agua receptores sensativos o ciertos tipos de reuso. Normalmente se trata de remover nutrientes (nitrógeno y fosforo) del agua, porque estos estimulan el crecimiento de las plantas acuáticas.
<b>Desinfección</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Físicos: Filtración, ebullición, rayos ultravioletas.</li> <li>• Químicos: Aplicación de cloro, bromo, yodo, ozono, etc.</li> </ul>	Es el tratamiento adicional para remover patógenos.

<sup>1</sup>El Reactor UASB también puede ser utilizado para realizar tratamiento primario

<sup>2</sup>Las lagunas de estabilización también pueden realizar tratamiento primario

<b>Tratamiento de lodos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Digestión anaerobia</li> <li>• Tratamiento con cal</li> <li>• Compostaje</li> <li>• Patio de secar</li> </ul>	Es el tratamiento de la porción “solida” (actualmente, más de 80 % agua) removido del agua contaminada. La finalidad del proceso es de secarlo y tratarlo como una combinación de tiempo y temperatura para matar los patógenos.
-----------------------------	--	--

Fuente: AYALA, R. y GONZALES, G. (2008). Apoyo Didáctico de Plantas de Tratamiento de AR.

### 2.2.12.1. TRATAMIENTO PRELIMINAR

RNE, (2012). Se define como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares. Tiene como objetivo la “Remoción de sólidos y objetos” también conocida como pretratamiento.

Debe realizarse por medio de procesos físicos y/o mecánicos, cámaras de rejas (cribas) y desarenadores, dispuestos convencionalmente de modo que permitan la retención y remoción del material extraño presente en las aguas residuales y que pueda interferir los procesos de tratamiento.

Las unidades del pre tratamiento más importante son:

- ✓ Rejas
- ✓ Desarenadores

#### ➤ REJAS

RNE, (2012). Son dispositivos constituidos por barras metálicas paralelas e igualmente espaciadas, las cuales pueden ser rectas o curvadas.

Las rejas se deben colocar aguas arriba, ubicadas a la entrada del recinto de la planta, su finalidad es retener los sólidos gruesos y flotantes como plásticos, ramas, basuras y pequeños artículos contenidos en el agua residual que pueden alterar posteriormente el proceso del tratamiento.



**Figura N° 2.17: Rejilla fija con limpieza manual**

Fuente: V Curso de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

**Cuadro N° 2.13: Parámetros de diseño de Cámara de Rejas.**

Parámetros	Norma Recomendada
Forma de barra	Rectangular, no debe utilizarse barras de refuerzo.
Espesor de Barra	5 -15 mm
Ancho de Barra	30 – 75 mm
Espaciamiento o separación (abertura) entre barras	25 – 50 mm 20 - 50 mm recomendado para que las heces humanas pasen por las barras.
Inclinación con la vertical	45° – 60°
Plataforma de drenaje	Suficiente para el almacenamiento temporal del material retenido en condiciones sanitarias.
Canaleta de desvío (By – pass)	Suficiente para desviar el caudal máximo durante una emergencia.
Material de construcción de barras y plataforma de drenaje	Acero inoxidable o galvanizado; aluminio

Velocidad de aproximación	0.30 – 060 m/s (recommendable 0.45 m/s)
Tiempo de retención en canal de aproximación	$\geq 3$ s
Largo de canal de aproximación	$\geq 1.35$ m
Velocidad a través de las barras	$\leq 0.6 – 0.75$ m/s para caudal máximo horario.
Perdida de carga máxima	0.15 m
Cantidades de material retenido	0.008 – 0.038 m <sup>3</sup> /1000 m <sup>3</sup>
Disposición final de residuos	Solución técnica utilizando métodos sanitarios

Fuente: RNE, (2012). Norma OS.090. Planta de tratamiento de aguas residuales.

## ECUACIONES PARA DETERMINAR EL DISEÑO DE LA CÁMARA DE REJAS.

MOSCOSO, J. y LEÓN, R. (1996). Las ecuaciones para determinar la cámara de rejillas están en base a las normas peruanas.

### a) Calculo del área efectiva (A<sub>u</sub>):

$$A_u = \frac{Q}{V} \frac{\text{maxhorario(m}^3/\text{s)}}{\text{reja obstruida (m/s)}} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.1)$$

### b) Calculo de Eficiencia (%E):

$$E = \frac{a}{a+t} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.2)$$

Dónde:

- t: Espesor de barras propuestas (1/4")
- a: Separación libre entre cada barra (1")

### c) Área del caudal a nivel del agua (S):

$$S = \frac{A_u}{E} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.3)$$

Dónde:

- $A_u$ : Área efectiva
- E: % de eficiencia

### d) Calculo de la Tirante (y)

$$y = \frac{S}{a} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.4)$$

Dónde:

- S: Área del caudal a nivel del agua
- a: Ancho del canal de entrada a considerar (0.30 m)

### e) Área total de la cámara rejas

$$At = \frac{Q_{\max \text{ hor}} * Tr}{Tirante (y)} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.5)$$

Dónde:

- At: Área total
- $Q_{\max \text{ hor}}$ : Caudal máximo horario
- Tr: Tiempo de retención (10 seg)
- y: Tirante

### f) Longitud de la Cámara Rejas

$$L = \frac{At}{a} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.6)$$

Dónde:

- As: Área del caudal a nivel del agua
- a: Ancho del canal de entrada

### g) Nivel máximo de agua en la cámara de rejas ( $d_{\max}$ )

$$d_{\max} = \frac{Q_{\max \text{ horario}}}{V.B} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.7)$$

Dónde:

- $Q_{\text{max hor}}$ : Caudal Máximo horario
- V: velocidad a través de reja limpia
- B: Ancho de canal para rejas

#### **h) La longitud sumergida de la reja ( $L_s$ )**

$$L_s = \frac{d_{\text{max}}}{\sin\theta} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.8)$$

Dónde:

- dmax: nivel máximo de agua
- Angulo de inclinación de las barras.

Sí  $N^{\circ}$  = Número de barras que conforman la reja, entonces:

$$N^{\circ} = \frac{(B - a)}{(a + t)} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.9)$$

Dónde:

- B: Ancho de canal para rejas
- t: Espesor de barras propuestas (1/4")
- a: Separación libre entre cada barra (1")

#### **i) Para el cálculo del radio hidráulico (R)**

$$R = \frac{B \times d_{\text{max}}}{B + 2d_{\text{max}}} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.10)$$

Dónde:

- B: Ancho de canal para rejas
- dmax: nivel máximo de agua

#### **j) Pendiente de la plantilla del canal (S)**

De Cheezy – Manning

$$V = \left( \frac{1}{n} \right) \left( R^{\frac{2}{3}} \right) * \left( S^{\frac{1}{2}} \right) \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.11)$$

Dónde:

- $V$  = Velocidad de reja limpia = 0.3 m/seg.
- $n$  = Coeficiente de rugosidad, para concreto = 0.013
- $S$  = Pendiente
- $R$  = Radio Hidráulico

#### **k). Velocidad de aproximación $V_a$ ; < 0.3-0.6> (NT. S.010)**

(Ecuación Nº 2.12)

$$V_a = V_r \times E$$

Dónde:

- $V_a$  = Velocidad de aproximación
- $V_r$  = Velocidad de reja
- $E$ : Eficiencia

#### **l). Calculo de perdida de carga con 50% de ensuciamiento Velocidad con 50% de colmatación.**

(Ecuación Nº 2.13)

$$V_b = 2 \times V_r$$

Dónde:

- $V_b$  = Velocidad con colmatación
- $V_r$  = Velocidad de rejales

#### **m) Pérdida de carga**

$$H_f = \frac{1}{0.7} \times \left( \frac{V_b^2 - V_a^2}{2g} \right) \quad (\text{Ecuación Nº 2.14})$$

Dónde:

- $H_f$  = Perdida de carga
- $V_b$  = Velocidad con colmatación
- $V_a$  = Velocidad de aproximación
- $g$  = gravedad

### ➤ DESARENADOR

RNE, (2012). La inclusión de desarenadores es obligatoria en las plantas que tienen sedimentadores y digestores.

Función básica es la separación de elementos pesados en suspensión (arenas, arcillas, limos) que llevan las aguas residuales y que perjudican el tratamiento posterior.

Según el mecanismo de remoción, los desarenadores pueden ser a gravedad de flujo horizontal o helicoidal. Los primeros pueden ser diseñados como canales de forma alargada y de sección rectangular, con una tolva de sección trapezoidal para la acumulación de arenas.

Después de las cribas y desarenadores se deben incluir en forma obligatoria un medidor de caudal de régimen crítico, pudiendo ser el tipo Parshall o Palmer Bowls. No se aceptará el uso de vertederos.



**Figura N° 2.18.** Desarenadores de flujo horizontal en paralelo

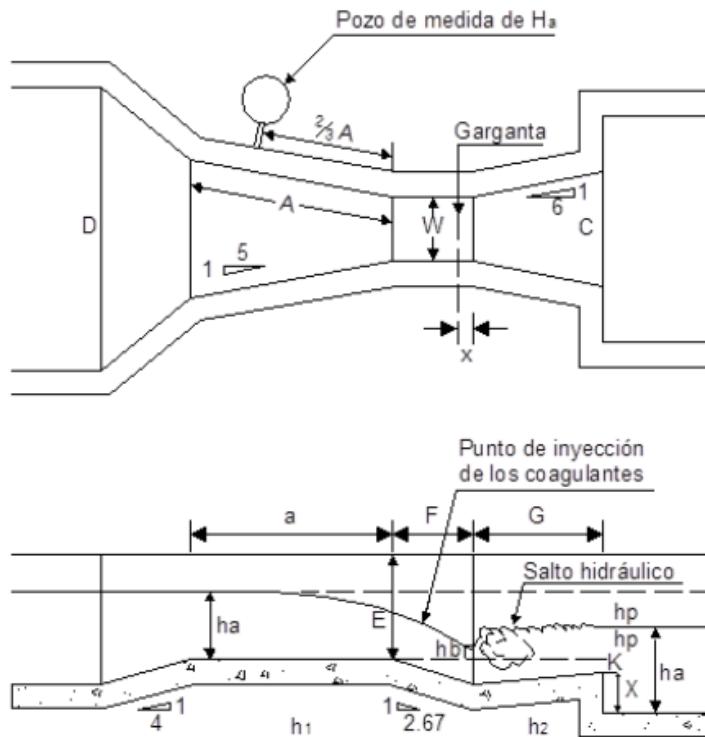
Fuente: V Curso de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

### CANALETA DE PARSHALL

RNE, (2012). El medidor Parshall al igual que los vertederos es un elemento para la medición de flujos por gravedad en canales abiertos, pudiendo contener sólidos en suspensión, tales como desechos industriales o domésticos.

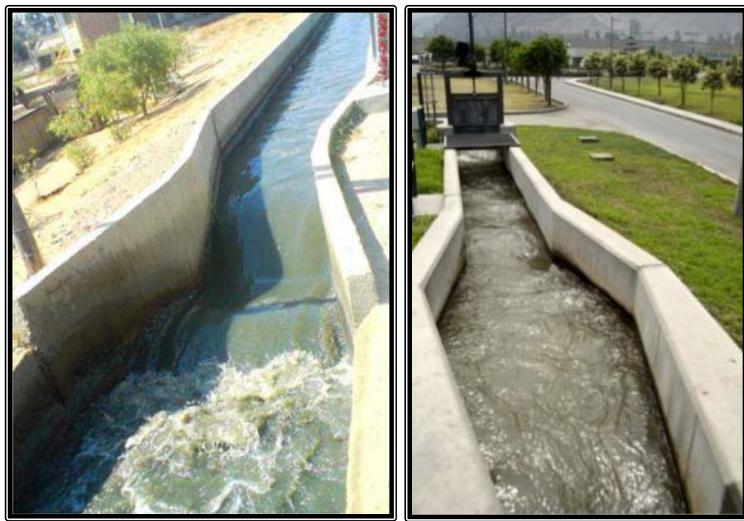
El medidor es preciso y provoca baja pérdida de carga. La ventaja es que su forma no permite la acumulación de sólidos en ninguna parte

del canal. Su diseño hidráulico se ha hecho de tal manera que el gasto es una función lineal de la altura del tirante a la entrada del dispositivo. La siguiente Figura, muestra su configuración, que en el sentido de escurrimiento inicia con una sección convergente donde el piso es horizontal, continúa con una sección de paredes paralelas de corta longitud denominada “garganta” en donde el piso tiene pendiente descendente, y termina con una sección divergente cuyo piso es de pendiente positiva.



**Figura N° 2.19.** Vista en planta y elevación de la canaleta de Parshall.

Fuente: V Curso de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.



**Figura N° 2.20.** Conducción elevada Parshall

Fuente: V Curso de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

**Cuadro N° 2.14. Parámetros de diseño del Desarenador**

Parámetros	Norma Recomendada
Velocidad horizontal	$V_{\max} = 0.3 \text{ m/s}$ $V_{\min} \geq 0.8 V_{\max}$
Velocidad de sedimentación	0.02 m/s (Partículas de 0.2 mm)
Forma de la sección transversal	Rectangular (con un resalto entre la cota del desarenador y la de la canaleta Parshall)
Tiempo de retención hidráulica	$\leq 60 \text{ s para } V_{\min}$ $\geq 45 \text{ s para } V_{\max}$ $V_{\max} = 0.3 \text{ m/s}$ $V_{\min} = 0.3 \text{ Cv}$
Largo del canal	$45 V_{\max} \leq L \leq 60 V_{\min}$ $13.5 \text{ min} \leq L \leq 18 C_v$
Relación Ancho: Profundidad	1:1 – 5:1
Relación Largo: Ancho	3:1 – 5:1
Sección de control de velocidad	Canaleta de Parshall prefabricada con flujo libre
Carga en el canal aguas abajo la canaleta Parshall para asegurar flujo libre	$\leq 60\% \text{ de la carga en el desarenador}$

Número de canales	Dos en paralelo, cada uno con drenaje (uno en operación y otro para limpieza).
-------------------	--

Fuente: RNE, (2012). OS.090. Planta de tratamiento de aguas residuales.

## ECUACIONES PARA DETERMINAR EL DISEÑO DEL DESARENADOR

MOSCOSO, J. y LEÓN, R. (1996). Las ecuaciones para determinar el desarenador de acuerdo a las normas peruanas.

### a) Velocidad de sedimentación de las partículas $d_s = 0.2\text{mm}$

$$V_s = \frac{g (P_s - P) d^2}{18 \mu} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.15)$$

Dónde:

- g: Gravedad ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )
- $P_s$ : Peso específico de la partícula arenas
- P: Peso específico del fluido
- d: Diámetro de las partículas

### b) Periodo de retención

$$T_r = \frac{G R * H}{V_s} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.16)$$

Dónde:

- GR: Grado de Remoción y Grado de Desarenador ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )
- H: Profundidad (La profundidad a considerar es 1.0 m)
- $V_s$ : Velocidad de Sedimentación

### c) Volumen del Desarenador

$$V = T_r \times Q \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.17)$$

Dónde:

- $T_r$ : Tiempo de retención.
- Q: Caudal máximo horario

### d) Área del Desarenador

$$A_d = \frac{V}{H} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.18)$$

Dónde:

- $A_d$ : área del Desarenador
- H: Profundidad Útil (100 cm)

#### e) Ancho del Desarenador

$$B = \frac{A_d}{X} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.19)$$

Dónde:

- $A_d$ : Tiempo de retención.
- X: Relación de Largo - Ancho

#### f) Largo del desarenador

$$L = X * B \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.20)$$

Dónde:

- B: Ancho del desarenador
- X: Relación de Largo – Ancho

#### g) Longitud adicional por turbulencia

$$La = 0.25L \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.21)$$

Dónde:

- La = longitud adicional por turbulencia (m)
- V = Longitud del desarenador (m)

#### h) Cálculo de volumen de arena depositada en el canal desarenador (m<sup>3</sup>/día)

Se estima que el **volumen retenido de arena será** de 30 lt = 0.03m<sup>3</sup> por cada 1000 m<sup>3</sup> de agua.

$$V_{Arena} = \frac{(Volumen\ retenido)*(Caudal\ maximo\ diario)}{1000}$$

(Ecuación N<sup>o</sup> 2.22)

Previendo su retiro o limpieza cada 5 días se determina la altura que se profundizara el fondo de las cajas para el almacenamiento de la arena.

$$5 \text{ Vol arena} = b.L.h \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.23)$$

Despejando h; se tiene:

$$h = \frac{5 \text{ Vol arena}}{b.L} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.24)$$

#### 2.2.12.2. TRATAMIENTO PRIMARIO

RNE, (2012). El tratamiento primario frecuentemente se denomina clarificación, sedimentación o decantación. La finalidad del tratamiento primario es la remoción de los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables para disminuir la carga orgánica en la siguiente unidad de tratamiento.

Entre los beneficios del tratamiento primario se incluyen:

- ✓ Reducción de los sólidos en suspensión
- ✓ Reducción de la DBO<sub>5</sub>
- ✓ Reducción de la cantidad de fango activado en exceso en la planta de fangos activados
- ✓ Separación del material flotante
- ✓ Homogeneización parcial de los caudales y carga orgánica

El tratamiento primario puede realizarse mediante sistemas anaerobios (sin oxígeno), aerobios (con oxígeno) y sistemas facultativos (generalmente aerobios en la parte superior y anaerobios en la parte inferior).

Para lograr el tratamiento primario de las aguas residuales existen muchas tecnologías disponibles entre las que tenemos:

- ✓ Reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (reactores UASB).
- ✓ Lagunas anaerobias.
- ✓ Lagunas facultativas.
- ✓ Tanque Imhoff.
- ✓ Tanque séptico.
- ✓ Lodos activados; entre otros.

### ➤ EL TANQUE IMHOFF

RNE, (2012). El tanque Imhoff es una unidad de tratamiento primario, en las cuales se combinan los procesos de sedimentación y digestión anaerobia de los sólidos suspendidos removidos.

Consiste en un estanque anaerobio construido en concreto herméticamente cerrado, que reúne los criterios del tanque Imhoff.

Para comunidades de 5000 habitantes o menos, los tanques Imhoff ofrecen ventajas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que integran la sedimentación del agua y a digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad, por ese motivo también se les llama tanques de doble cámara (de digestión y sedimentación).

Los tanques Imhoff tienen una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas; sin embargo, para su uso es necesario que las aguas residuales pasen por los procesos de tratamiento preliminar de cribado y remoción de arena.

El tanque Imhoff típico es de forma rectangular y se divide en tres compartimientos:

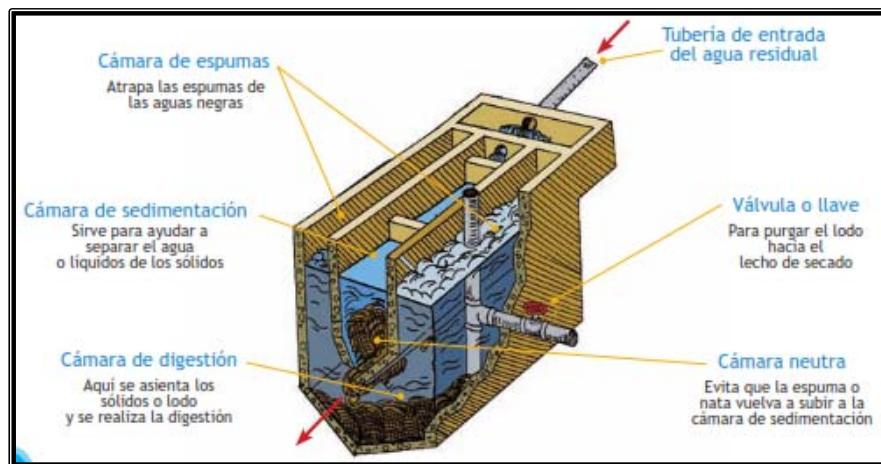
- a. Cámara de sedimentación.
- b. Cámara de digestión de lodos.
- c. Área de ventilación y acumulación de natas.



**Figura N° 2.21.** Tanque Imhoff en zonas rurales.

Fuente: Municipalidad Distrital de Totos, (2013). Proyecto de Alcantarillado.

Su función biológica es la retención por medio de sedimentación y digestión de lodos en cámaras inferiores o tanques de doble propósito, debido a que en su cámara superior permite la sedimentación de las aguas negras, es decir se efectuara la separación de los líquidos y sólidos, mientras que en su cámara inferior permite la digestión de la materia orgánica (recibida por gravedad) después de un tiempo de permanencia del agua bajo condiciones anaerobias en donde las bacterias se descomponen la materia orgánica y lo convierta en lodo y con velocidades muy lentas del agua.



**Figura N° 2.22.** Vista frontal del tanque Imhoff

Fuente. Manual técnico de Sistema de PTAR en zonas rurales. 2008

**Cuadro N° 2.15: Parámetros de diseño de Tanque Imhoff**

Descripción	Parámetros	Norma Recomendada
Cámara de sedimentación	Forma de la cámara	Sección trasversal en forma de V y la pendiente de los lados respecto a la horizontal tendrá entre 50° a 60°.
	Abertura situada en el fondo del Sedimentador	15 a 20 cm
	Relaciones geométricas y	<ul style="list-style-type: none"> <li>La profundidad se encuentra entre 2 y 3,5 m (recomendable 3 m).</li> </ul>

	características del dispositivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relación largo-ancho entre 3 y 10 (recomendable 4).</li> <li>• Relación largo-profundidad entre 5 y 30.</li> </ul>
Cámara de digestión	Altura máxima de los lodos	0,50 m por debajo del fondo del Sedimentador.
	Forma de la cámara	Forma de un tronco de pirámide invertido (tolva de lodos)
	Angulo de inclinación	15° a 30° con respecto a la horizontal.
Área de ventilación	Volumen de esta zona	Igual a la mitad del volumen de la cámara de digestión.
	El área de la superficie de la cámara	25 al 30% de la proyección horizontal de la parte superior de la cámara de digestión.
Extracción de lodos	Tubería	200 mm de diámetro de hierro fundido

Fuente: RNE, (2012). Norma OS.090. Planta de tratamiento de aguas residuales.

## ECUACIONES PARA DETERMINAR EL DISEÑO DEL TANQUE IMHOFF

MOSCOSO, J. y LEÓN, R. (1996). Las ecuaciones para determinar el tanque Imhoff de acuerdo a las normas peruanas.

### A) Diseño del tanque sedimentador:

El área requerida para el proceso de sedimentación se determinará con una carga superficial de  $1\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ , calculado en base al caudal medio.

#### ✓ Caudal de diseño

Esto se verificará con el consumo por años.

$$Q_m = \frac{\text{Poblacion} * \text{Dotacion}}{1000} * \% \text{Contribucion} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.25)$$

Dónde:

- $Q_m$ : Caudal medio diario de aguas residuales ( $\text{m}^3/\text{hora}$ )
- % de contribución (60% – 80%)
- Dotación; en litro/hab/día

✓ **Área superficial del Sedimentador**

$$A_s = \frac{Q_{medio\ diario}}{C_s} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.26)$$

Dónde:

- $C_s$  = Carga superficial, igual a  $1\ m^3/(m^2 \cdot \text{hora})$

Proponiendo una relación de largo/ancho de 4 a 1, se calcula el largo y ancho del tanque:

$$\frac{L}{A} = 4 \quad A_s = 4L^2 \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.27)$$

✓ **Volumen del Sedimentador (Vs, en m3)**

$$V_s = Q_{medio\ diario} \times R \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.28)$$

Dónde:

- $R$ : Periodo de retención hidráulica, entre 1,5 a 2,5 horas (recomendable 2 horas).
- El fondo del tanque será de sección transversal en forma de V y la pendiente de los lados respecto a la horizontal tendrá de  $50^\circ$  a  $60^\circ$ .
- En la arista central se debe dejar una abertura para paso de los sólidos removidos hacia el digestor, esta abertura será de 0,15 a 0,20 m.
- Uno de los lados deberá prolongarse, de 15 a 20 cm, de modo que impida el paso de gases y sólidos desprendidos del digestor hacia el sedimentador, situación que reducirá la capacidad de remoción de sólidos en suspensión de esta unidad de tratamiento.

✓ **Longitud mínima del vertedero de salida.**

$$L_v = \frac{Q_{maximo\ diario}}{C_{hv}} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.29)$$

Dónde:

- $L_v$ : Longitud mínima del vertedero (m)

- $Q_{max}$ : Caudal máximo diario de diseño, en m<sup>3</sup>/día.
- $Chv$ : Carga hidráulica sobre el vertedero, estará entre 125 a 500 m<sup>3</sup>/(m\*día), (recomendable 250).

✓ **Velocidad de arrastre.**

Es para evitar la resuspension de las partículas sedimentadas, las velocidades horizontales a lo largo del tanque deben mantenerse lo suficientemente bajas. A partir de los resultados de los estudios realizados por SHIELDS (1936), desarrollo la siguiente ecuación para calcular la velocidad critica horizontal.

$$V_A = \left[ \frac{8k(s-1)gd}{f} \right]^{1/2} \quad (\text{Ecuación N° 2.30})$$

Dónde:

- $V_A$  = Velocidad horizontal a la cual se inicia el arrastre de partículas
- $K$  = constante que depende del material arrastrado = 0.05
- $s$  = Peso específica de las partículas = 1.25
- $d$  = Diámetro de las partículas = 0.003 m
- $f$  = Factor de fricción de Darcy Weisbach = 0.025
- $g$  = Aceleración de la gravedad

Los valores usuales de  $k$  son: 0.05 para arenas unigranulares y 0.06 para partículas más aglomeradas.

El factor de fricción de Darcy Weisbach depende de las características de la superficie sobre la que tiene lugar el flujo y el número de Reynolds. Los valores usuales de  $f$  van desde 0.02 hasta 0.03, esta ecuación se puede usar tanto en unidades del sistema inglés como en unidades del sistema internacional, siempre y cuando se haga en forma consistente ya que  $k$  y  $f$  son adimensionales.

## B. Diseño del digestor

El volumen de lodos se determinará considerando la reducción de 50% de sólidos volátiles, con una densidad de 1,05 Kg/l y un contenido promedio de sólidos de 12.5% (al peso). El compartimiento será dimensionado para almacenar los lodos durante el proceso de digestión de acuerdo a la temperatura.

### ✓ Volumen de almacenamiento y digestión.

Para el compartimiento de almacenamiento y digestión de lodos (cámara inferior) se tendrá en cuenta la siguiente Cuadro N° 2.16

**Cuadro N° 2.16.** Parámetros Temperatura – Factor de Capacidad Relativa.

Temperatura °C	Factor de Capacidad Relativa (fcr)
5	2.0
10	1.4
15	1.0
20	0.7
>25	0.5

Fuente: RNE, (2012). Norma OS.090. Planta de tratamiento de aguas residuales.

$$Vd = \frac{70 * P * fcr}{1000} \quad (\text{Ecuación N° 2.32})$$

Dónde:

- Vd: Volumen de Almacenamiento y Digestión (m<sup>3</sup>)
- fcr : factor de capacidad relativa.
- P : Población.
- El fondo de la cámara de digestión tendrá la forma de un tronco de pirámide invertida (tolva de lodos), para facilitar el retiro de los lodos digeridos.
- Las paredes laterales de esta tolva tendrán una inclinación de 15° a 30° con respecto a la horizontal.
- La altura máxima de los lodos deberá estar 0,50 m por debajo del fondo del Sedimentador.

### C. Extracción de lodos

Los lodos digeridos deberán retirarse periódicamente, para estimar la frecuencia de retiros de lodos se usarán los valores consignados en el cuadro Nº 2.17.

**Cuadro Nº 2.17. Parámetros Temperatura – Frecuencia de remoción de lodos.**

Temperatura °C	Frecuencia de remoción de lodos
5	110
10	76
15	55
20	40
>25	30

Fuente: RNE, (2012). Norma OS.090. Planta de tratamiento de aguas residuales.

La frecuencia de remoción de lodos deberá calcularse en base a estos tiempos referenciales, considerando que existirá una mezcla de lodos frescos y lodos digeridos; estos últimos ubicados al fondo del digestor. De este modo el intervalo de tiempo entre extracciones de lodos sucesivas deberá ser por lo menos el tiempo de digestión a excepción de la primera extracción en la que se deberá esperar el doble de tiempo de digestión.

El diámetro mínimo de la tubería para la remoción de lodos será de 200 mm y deberá estar ubicado 15 cm por encima del fondo del tanque. Para la remoción se requerirá de una carga hidráulica mínima de 1,80 m.

### D. Área de ventilación y cámara de natas

Para el diseño de la superficie libre entre las paredes del digestor y el sedimentador (zona de espuma o natas) se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- El espaciamiento libre será de 1,0 m como mínimo.
- La superficie libre total será por lo menos 30% de la superficie total del tanque.
- El borde libre será como mínimo de 0,30 cm.

## **E. Calculo de las tasas de remoción de DBO y SST a caudales medio y máximo.**

Información habitual a cerca de la eficiencia en la remoción de DBO y SST en tanques de sedimentación primaria, como función de la concentración afluente y el tiempo de retención usando la siguiente expresión:

$$R = \frac{t}{a+bt} \quad (\text{Ecuación N° 2.33})$$

Dónde:

- R = % de remoción esperado.
- t = Tiempo nominal de retención (en horas)
- a, b = Constantes empíricas.

En el cuadro N° 2.18, se observa las constantes empíricas de la ecuación, se toman los siguientes valores a una temperatura de 20 °C.

**Cuadro N° 2.18. Constantes Empíricas.**

Variable	a,h	b
DBO	0.018	0.020
SST	0.0075	0.014

Fuente: RNE, (2012). Norma OS.090. Planta de tratamiento de aguas residuales.

Los tanques de sedimentación primaria son capaces de remover entre un 30 a un 60% de los sólidos totales en suspensión (SST) y de reducir la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) entre 25 a 35%.

### **2.2.12.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO**

RNE, (2012). Este término comúnmente se utiliza para los sistemas de tratamiento del tipo biológico en los cuales se aprovecha la acción de microorganismos presentes en las aguas residuales, los cuales, en su proceso de alimentación, degradan la materia orgánica, convirtiéndola en material celular, productos inorgánicos o material inerte.

La presencia o ausencia de oxígeno disuelto en el agua residual, define dos grandes grupos o procesos de actividad biológica, los aerobios (en presencia de oxígeno) y los anaerobios (en ausencia de oxígeno). Dependiendo de la forma en que estén soportados los microorganismos, consigue eliminar hasta un 85-95% de la DBO y de los sólidos en suspensión, y la mayor parte de los metales pesados.

Dentro de los procesos aerobios podemos mencionar: Lodos activados (incluidas las zanjas de oxidación, y otras variantes), Lagunas Aireadas, Lagunas Aerobias y Filtros percoladores Biológicos.

Y Dentro de los procesos anaerobios podemos mencionar: Lagunas Anaerobias, RAFA (reactor anaerobio de flujo ascendente), FAFA, Filtro Anaerobio y Humedales Artificiales.

#### ➤ **FILTROS PERCOLADORES BIOLÓGICOS**

RNE, (2012). Están formados por un lecho de medio filtrante sobre el que se distribuye continuamente el agua residual. A medida que las aguas negras se percolan por el medio, los microorganismos digieren y eliminan los contaminantes del agua, fenómeno del que recibe el nombre el proceso.

Los filtros percoladores con medio filtrante de piedra, el diámetro de las piedras oscila entre 2.5 y 10 centímetros, la profundidad del lecho varía en cada diseño particular, pero suele situarse entre 0.90 y 2.50 metros, con una profundidad media de 1.80 metros. Los filtros percoladores pueden tener diversas formas ya sean cuadrados, rectangulares, circulares, etc.



**Figura N° 2.23.** Vista general de un filtro percolador circular.

Fuente: V Curso de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

Un filtro percolador puede reducir:

- ✓ La demanda bioquímica de oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ), que es la medición de la cantidad del oxígeno disuelto que necesitan los microorganismos para descomponer la materia orgánica.
- ✓ El nivel alto de  $\text{DBO}_5$  por lo general indica agua de mala calidad; un nivel bajo de  $\text{DBO}_5$  normalmente indica agua de buena calidad. El sacar los sólidos disueltos de las aguas negras permite bajar el nivel de  $\text{DBO}_5$
- ✓ Los patógenos, u organismos que causan enfermedades.
- ✓ Los Coliformes fecales, o bacteria de los desechos humanos o animales.

**Cuadro N° 2.19.** Parámetros de diseño del Filtro Percolador Biológico

Elemento	Baja carga	Carga intermedia	Carga alta	Muy alta carga	Desbaste
Carga hidráulica m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> . día	1.20-3.50	3.5-9.4	9.4-37.55	11.70-70.40	47-188
Carga orgánica Kg de $\text{DBO}/\text{m}^3$ . Día	0.08-0.40	0.25-0.50	0.50-0.95	0.48-1.60	1.6-8
Profundidad m	1.80-2.40	1.80-2.40	0.90-1.80	-	-

Relación de recirculación	0	0-1	1-2	1-2	1-4
Moscas en el filtro	Abundantes	Algunas	Escasas	Escasas o ninguna	Escasas o ninguna
Arrastre de sólidos	Intermitentes	Intermitente	Continua	Continua	Continua
Eficiencia de eliminación de la DBO %	8-90	50-70	65-85	65-80	40-65
Efluente	Bien nitrificado	Parcialmente nitrificado	Escasamente nitrificado	Escasamente nitrificado	No nitrificado

Fuente: RNE, (2012). Norma: OS.090 - Metcalf & Eddy (1995). Ingeniería de aguas residuales.

## ECUACIONES PARA DETERMINAR EL DISEÑO DEL FILTRO PERCOLADOR BIOLOGICO

MOSCOSO, J. y LEÓN, R. (1996). Las ecuaciones para determinar el filtro percolador biológico están en base a las normas peruanas.

### a) Cálculo de la eficiencia.

$$E = \frac{S_0 - S_f}{S_0} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.34)$$

Dónde:

- E = Eficiencia del sistema
- So = DBO afluente de entrada a filtro
- Sf = DBO efluente final o deseada según norma técnica peruana.

### b) Cálculo de la eficiencia para cada filtro E

Para el diseño se usarán las ecuaciones del NCR (National Research Council U.S.A.).

$$E = \frac{100}{1 + 0.4425 \left( \frac{W}{V} \cdot F \right)^{0.5}} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.35)$$

Dónde:

- E = Rendimiento de eliminación de la DBO.
- W = Carga de DBO
- V = Volumen del filtro

- F = Factor de recirculación

$$E = \frac{1+r}{(1+0.1r)^2} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.36)$$

r = Razón de circulación.

**c) Cálculo de la carga de Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO) del primer filtro.**

$$W = (\text{DBO influente}) (\text{Q}_{\text{md}}) \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.37)$$

Dónde:

- DBO influente = DBO remoción
- $\text{Q}_{\text{md}}$  = Caudal Medio

**d) Cálculo del volumen para la primera etapa usando la Ecuación de la Eficiencia.**

$$V = \left[ \frac{100}{E} - 0.4425\sqrt{WF} \right]^2 \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.39)$$

**e) Cálculo del área**

$$A = V/h \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.40)$$

Dónde:

- A = área del filtro
- V = volumen del filtro
- h = altura del filtro

**f) Cálculo de la carga orgánica**

$$\text{Carga de DBO} = W/V \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.41)$$

Dónde:

- V = volumen del filtro
- W = Carga de DBO

**g) Cálculo de la carga hidráulica**

$$\text{Carga hidráulica} = Q_{\text{max}}/A \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.42)$$

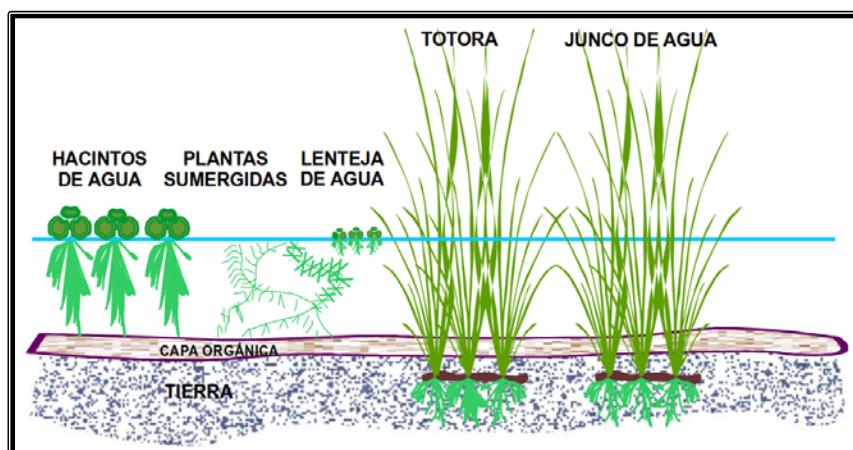
Dónde:

- $Q_{\max}$  = Caudal máximo horario
- A = área del filtro

## ➤ HUMEDALES

PALOMINO, J. (1996). Los humedales son medios semiterrestres con un elevado grado de humedad y una profusa vegetación, que reúnen ciertas características biológicas, físicas y químicas, que les confieren un elevado potencial auto depurador.

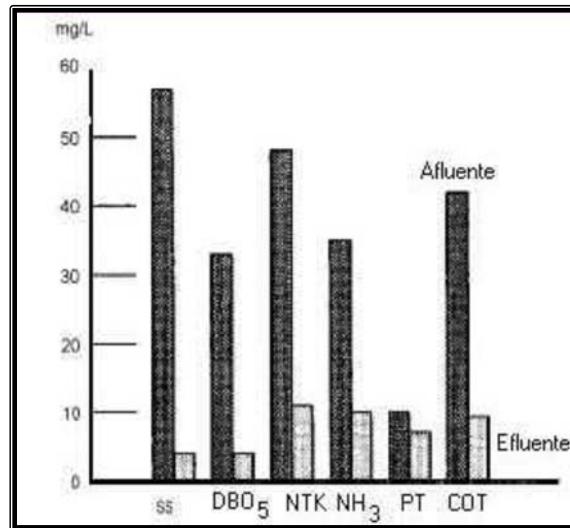
Los humedales naturales pueden alcanzar gran complejidad, con un mosaico de lámina de agua, vegetación sumergida, vegetación flotante, vegetación emergente y zonas con nivel freático más o menos cercano a la superficie, usando plantas acuáticas en vez de algas para proveer oxígeno a las bacterias.



**Figura 2.24.** Plantas acuáticas adaptados a la humedad.

Fuente: Palomino, J. (1996). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. UNMSM

Los humedales pueden tratar con efectividad altos niveles de demanda bioquímica de Oxígeno (DBO), sólidos suspendidos (SS) y nitrógeno, así como niveles significativos de metales, compuestos orgánicos y patógenos.



**Figura 2.25.** Rendimientos de remoción típicos.

**Fuente:** Espinoza, O. (2014). Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales.

Básicamente existen dos tipos de humedales: los naturales y los artificiales.

#### A. HUMEDALES NATURALES

HAMMER, D. Y BASTIAN, R. (1989). Los humedales naturales se consideran como tierras transicionales entre un sistema terrestre y un sistema acuático, con el nivel freático cerca de la superficie del suelo o el suelo, cubierto con agua de poca profundidad. Existen varios componentes de este sistema, entre ellos las propiedades bióticas y no bióticas como el suelo, el agua, las plantas y los animales. Una de las principales funciones es el resultado de la interacción de estos componentes, la cual incluye el ciclo de nutrientes, el intercambio de aguas superficiales y subterráneas y entre la superficie y la atmósfera.

#### B. HUMEDALES ARTIFICIALES

HAMMER, D. Y BASTIAN, R. (1989). Un humedal artificial es un sistema de tratamiento de agua residual (estanque o cauce) poco profundo, construido por el hombre, en el que se han sembrado

plantas acuáticas, y contado con los procesos naturales para tratar el agua residual.

Los humedales construidos tienen ventajas respecto de los sistemas de tratamiento alternativos, debido a que requieren poca o ninguna energía para operar. Si hay suficiente tierra barata disponible cerca de la instalación de los humedales de cultivo acuático, puede ser una alternativa de costo efectivo. Los humedales proporcionan el hábitat para la vida silvestre, y son, estéticamente, agradables a la vista.

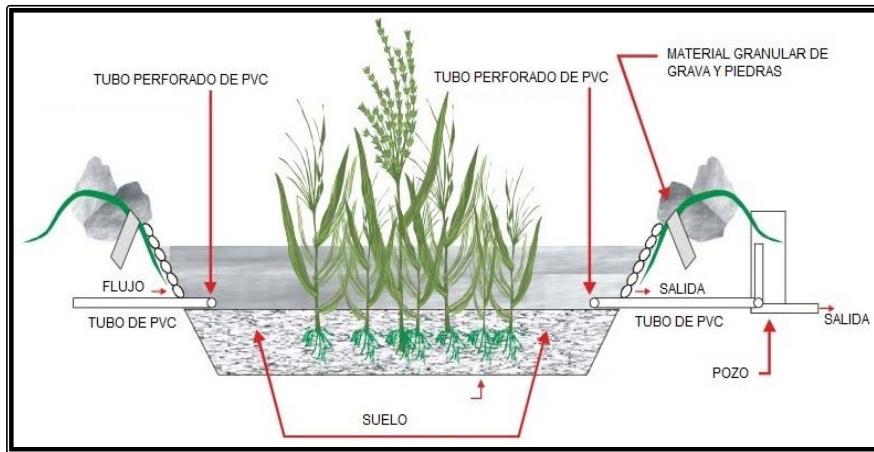
El humedal artificial está constituido de:

- ✓ Plantas acuáticas: carrizo, papiro, junco, totora, lechuguines u otros.
- ✓ Material filtrante: grava y arena.
- ✓ Tubos y codos de PVC de diferentes diámetros.
- ✓ Impermeabilización del pozo con geomembrana.

Existen dos tipos principales de humedales artificiales que son los de flujo libre (Free Water Surface – FWS) y los de flujo sub-superficial (Subsurface Flow – SSF).

### **B.1. HUMEDALES DE FLUJO SUPERFICIAL (FWS)**

Son lagunas excavadas, donde el agua circula expuesta a la atmósfera y pasa a través de las plantas acuáticas emergentes. Las plantas crecen arraigadas en el fondo de la laguna. En estos humedales la profundidad de la lámina de agua varía entre unos centímetros y hasta un máximo de 1,0 m. La profundidad común es entre 0,3 y 0,5 m; la baja profundidad del agua, la velocidad baja del flujo y la presencia de tallos de la planta y basura, regulan el flujo del agua. El tratamiento ocurre cuando el flujo de agua atraviesa lentamente el tallo y la raíz de la vegetación emergente.



**Figura Nº 2.26.** Sistema de Agua Superficial libre (FWS).

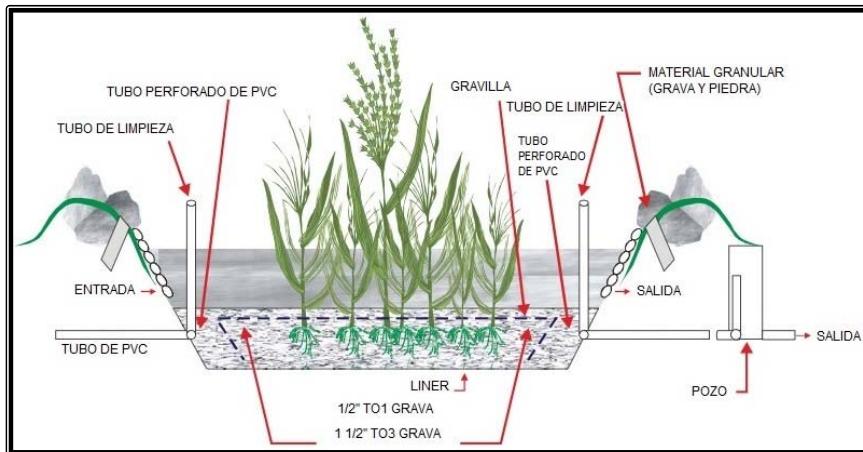
Fuente: Palomino, J. (1996). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. UNMSM

## B.2. HUMEDALES DE FLUJO SUB SUPERFICIAL (SSF)

Este sistema se encarga de tratar el agua residual a medida que esta fluye lentamente a través de un medio poroso. La vegetación emergente esta plantada en este lecho de grava gruesa y arena.

El lecho tiene una profundidad entre 0,45 y 1 m, y una pendiente característica entre 0 y 0,5%. A medida que circula el agua residual se produce un contacto con zonas aerobias, anoxias y anaerobias.

La zona aerobia, se encuentra en la parte cercana a la superficie y alrededor de las raíces y rizomas de las plantas. Se forma entonces una biopelícula alrededor de la grava y de las raíces de las plantas gracias a los microorganismos presentes. Esto significa, que el rendimiento del sistema será mejor cuanto mayor sea la densidad de microorganismos. Es por esto que el área requerida sea menor que en los humedales de flujo superficial, pero tiene un costo mayor por la cantidad de medio poroso que se debe utilizar.



**Figura N° 2.27. Humedal de Flujo Sub superficial (SSF)**

Fuente: Palomino, J. (1996). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. UNMSM

Para conocer las ventajas y las desventajas que tienen los diferentes tipos de humedales artificiales, se presentan a continuación dos cuadros comparativos.

El primero compara humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial presentado en el siguiente cuadro.

**Cuadro N° 2.20. Ventajas y Desventajas de los Humedales Artificiales**

DESCRIPCION	FLUJO SUPERFICIAL	FLUJO SUB SUPERFICIAL
Tratamiento	Tratamiento de flujos secundarios (aguas ya tratadas par otros medios, ejm. Lagunas, biodiscos, fangos activados, etcétera).	Para tratar flujos primarios (aguas pre tratadas ejm. Tanques Imhoff, pozos sépticos)
Operación	Opera con baja carga orgánica	Altas tasas de carga Orgánica.
Olor	Puede ser controlado	No existe
Insectos	Control es caro	No existe
Protección térmica	Mala, las bajas Temperaturas afectan al proceso de remoción.	Buena, par acumulación de restos vegetales y el flujo subterráneo el agua mantiene una T° casi constante.

Área	Requieren superficies de mayor tamaño	Requieren superficies de menor tamaño.
Costo	Menor costo en relación al subsuperficial	Mayor costo debido a la materia granular que puede llegar incrementar el precio hasta un 30%.
Valor ecosistema	Mayor valor como ecosistemas para la vida salvaje, el agua es accesible a la fauna.	Menor valor como ecosistemas, el agua difícilmente accesible a la fauna.
Usos generales	Son de restauración y creación de nuevos ecosistemas.	Tratamiento de aguas residuales principalmente para casas aisladas y núcleos menores de 200 habitantes.
Operación	Son tratamientos Adicionales a los sistemas convencionales (usadas para tratamiento terciario y mejoramiento de calidad agua).	Puede usarse como tratamiento secundario.

Fuente: Espinoza, O. (2014). Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales.

## **ECUACIONES PARA DETERMINAR EL SISTEMA DE HUMEDAL DE FLUJO SUB SUPERFICIAL**

Dentro del diseño de los SSF, se debe considerar varios parámetros que incluyen: Tiempo de permanencia hidráulica, profundidad y geometría del humedal (ancho y longitud), así también la concentración de  $\text{DBO}_5$ , Sólidos Suspensidos, Nitrógeno y Fósforo, considerando que el tamaño de los SSF es determinado por el contaminante que requiere la mayor área para su remoción.

**Cuadro Nº 2.21.** Ecuaciones para el diseño de humedales artificiales de flujo subsuperficial, con base en remoción de DBO

Autor / Referencia	Remoción de DBO
Reed	$A_s = \frac{Q \ln \left( \frac{C_o}{C_e} \right)}{K_T(h)(\eta)}$
Kadlec	$A_s = \frac{Q}{K_A} \ln \left( \frac{C_o - C^*}{C_e - C^*} \right)$
EPA, 1988.	$A_s = \frac{Q \ln \left( \frac{C_o}{C_e} \right)}{K_T(h)(\eta)}$ $A_t = \frac{Q}{K_s * S}; \text{ (Ley de Darcy)}$ $a = \frac{A_t}{h}; l = \frac{A_s}{a}$ $t = \frac{V_v}{Q} = \frac{l * a * h}{Q}$
Romero	$C_e = C_o * e^{(-K_R * t)}$ $A_s = \frac{V}{y}; \quad V = Q * t$ $A_t = \frac{Q}{K_s * S}; \text{ (Ley de Darcy)}$ $a = \frac{A_t}{y}; \quad l = \frac{A_s}{a}$
RAS, 2000	$A_s = \frac{Q \cdot (\ln C_o - \ln C_e)}{(K_T \cdot h \cdot n)}$ $A_s \leq 0,032 \text{ m}^2/(\text{L/d})$ $A_t = \frac{Q}{K_s * S}; \text{ (Ley de Darcy)}$

**Fuente:** Espinoza, O. (2014). Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales.

### a. Constante de temperatura en el humedal

$$Kt = 1.104 * (1.06)^{T-20} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.43)$$

Dónde:

- $Kt$ = Coeficiente de temperatura
- $T$  = Temperatura

**Cuadro N<sup>o</sup> 2.22:** Reducción de DBO<sub>5</sub> como función del tiempo de retención y temperatura

TEMPERATURA °C	Tiempo de retención (d)	Reducción de DBO %
10	5	0 - 10
10 - 15	4 - 5	30 - 40
15 - 20	2 - 3	40 - 50
20 - 25	1 - 2	40 - 60
25 - 30	1 - 2	60 - 80

Fuente: Fuente: LARA J., (1999). Depuración de Aguas Residuales con Humedales Artificiales

### b. Cálculo del Área superficial

$$As = \frac{Q * (LnC_0 - LnC_e)}{Kt * (y)(n)} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.44)$$

Dónde:

- $Q$ = Caudal de diseño en M<sup>3</sup>/día
- $C_0$ = Concentración del componente DBO<sub>5</sub> en el afluente (en mg/l) de análisis
- $C_e$ = Concentración de DBO<sub>5</sub> en el efluente (en mg/l)
- $Kt$ = Coeficiente de temperatura
- $y$  = altura del humedal
- $n$  = coeficiente de porosidad

Así también, es necesario considerar el material filtrante dentro del lecho, dadas las características de este de acuerdo con su granulometría.

**Cuadro Nº 2.23.** Características típicas de los medios para SSF

Tipo de material	tamaño efectivo D10 (mm)	Porosidad (n)	Conductividad hidráulica (k) m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d
Arena gruesa	2	28-32	100-1000
Arena gravosa	8	30-35	500-5000
Grava fina	16	35-38	1000-10000
Grava media	32	36-40	10000-50000
Roca gruesa	128	38-45	50000-250000

Fuente: LARA J., (1999). Depuración de Aguas Residuales con Humedales Artificiales

**c. Tiempo de Retención Hidráulica**

$$TRH = \frac{As*(y)*(n)}{Q} \quad (\text{Ecuación Nº 2.45})$$

Dónde:

- TRH = Tiempo de retención hidráulica
- As = Área superficial
- y = altura del humedal
- n = coeficiente de porosidad
- Q= Caudal de diseño en M3/día

**d. Determinacion de las Dimensiones del Humedal**

$$L:W = 4:1 \quad (\text{Ecuación Nº 2.46})$$

Dónde:

- W = Ancho de Humedal
- L = longitud del humedal = 4 W

Para una mejor eficiencia del sistema y facilitar las operaciones del mantenimiento se diseñan dos humedales, por lo que la superficie de cada uno será de:

$$A_{humedal} = \frac{As}{\# \text{ humedales}} \quad (\text{Ecuación Nº 2.46})$$

#### 2.2.12.4. TRATAMIENTO DE LODOS

MOSCOSO, J. y LEÓN, R. (1996). Los lodos son un subproducto del tratamiento de las aguas residuales. Puede ser primario, secundario o digerido. Las características de los lodos varían con la composición del agua residual y con el tipo de tratamiento.

Consiste en acondicionar la recepción, filtrado, secado y acondicionamiento de los lodos con el fin de evitar que éstos contaminen de nuevo el agua depurada o la fuente hídrica en forma directa o indirecta. A través de este tratamiento se hace posible el aprovechamiento de los lodos para la agricultura. Estos son:

- ✓ Lecho de secado
- ✓ Compostaje

Para proceder al diseño de instalaciones de tratamiento de lodos, se realizará un cálculo de la producción de lodos en los procesos de tratamiento de la planta, debiéndose tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- ✓ El cálculo se realizará para caudales y concentraciones medias y temperaturas correspondientes al mes más frío.
- ✓ Para lodos primarios se determinará el volumen y masa de sólidos en suspensión totales y volátiles teniendo en consideración los porcentajes de remoción, contenido de sólidos y densidades.

**Cuadro Nº 2.24.** Composición típica de los lodos.

PARAMETRO	LODO PRIMARIA SIN TRATAR		LODO PRIMARIO DIRIGIDO		LODO ACTIVADO SIN TRATAR
	Rango	Típico	Rango	Típico	Rango
ST, % (Materia Seca)	5 – 9	6	2 – 5	4.0	0.8 – 1.2
STV, % de ST	60 – 80	65	30 – 60	40	59 – 88
Nitrógeno, % de ST	1.5 – 4.0	2.5	1.6 – 3.0	3.0	2.4 – 5.0
Fosforo, % ST ( $P_2O_5$ )	0.8 – 2.8	1.6	1.5 – 4.0	2.5	2.8 – 11
Alcalinidad ( mg/L $CaCO_3$ )	500 - 1500	600	2500 - 3500	3000	580 - 1100

Fuente: Metcalf & Eddy, (1995). Ingeniería de aguas residuales.

## ➤ LECHO DE SECADO

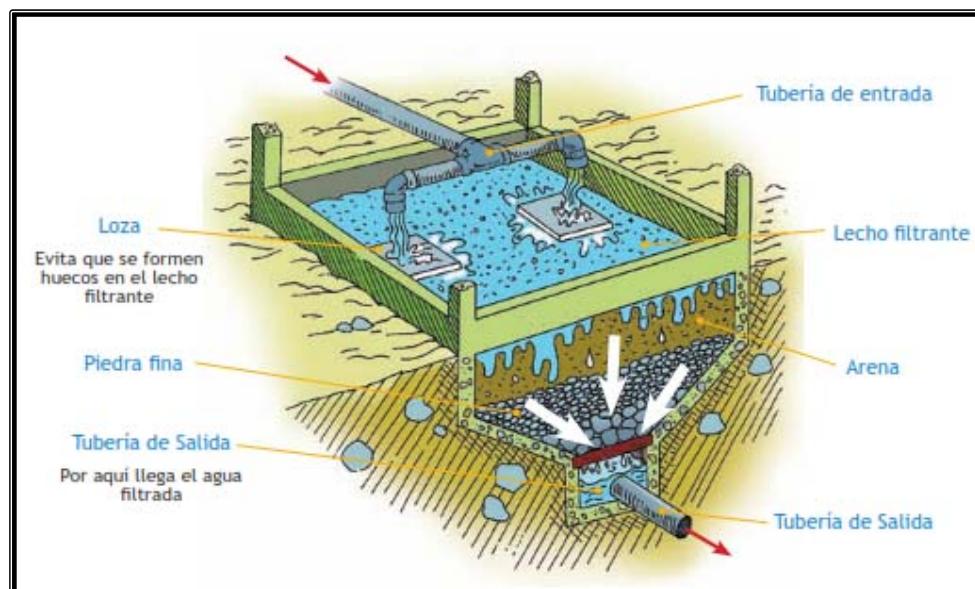
MOSCOSO, J. y LEÓN, R. (1996). Los lechos de secado de lodos son generalmente el método más simple y económico de deshidratar los lodos estabilizados (lodos digeridos), lo cual resulta lo ideal para pequeñas comunidades.

El funcionamiento de los patios de secado se distribuye los lodos en capas de 15 a 20 cm de espesor. Se produce una pérdida de agua por evaporación y la otra parte es conducida al cuerpo receptor. El lodo seco es inofensivo y puede utilizarse para llenar depresiones de terreno o como fertilizante.

**Cuadro N° 2.25.** Producción de lodos en litros por persona por día

Descripción	Lodos nuevos (lts/p/dia)	Lodos digeridos (lts/p/dia)	Lodos secos (lts/p/dia)
Sedimentación primaria	1.09	0.30	0.10
Filtros biológicos	1.50	0.50	0.15
Lodos activados	1.80	0.80	0.20

Fuente: Metcalf & Eddy, (1995). Ingeniería de aguas residuales.



**Figura N° 2.28.** Corte Transversal de Lecho de Secado

Fuente. Manual técnico de Sistema de PTAR en zonas rurales. 2008

## **ECUACIONES PARA EL DISEÑO DEL LECHO DE SECADO**

MOSCOSO, J. y LEÓN, R. (1996). Las ecuaciones para determinar el lecho de secado están en base a las normas peruanas.

### **a. Carga de sólidos que ingresa al sedimentador (C, en Kg de SS/día).**

$$C = Q * S * 0.0864 \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.47)$$

Dónde:

- S: Sólidos en suspensión en el agua residual cruda mg/l
- Q: Caudal promedio de aguas residuales o caudal de diseño.

A nivel de proyecto se puede estimar la carga en función a la contribución per cápita de sólidos en suspensión, de la siguiente manera:

$$C = \frac{\text{Poblacion futura} * \text{Contribucion percapita} \left( \frac{\text{grSS}}{\text{hab}} * \text{dia} \right)}{1000} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.48)$$

En las localidades que cuentan con el servicio de alcantarillado, la contribución per cápita se determina en base a una caracterización de las aguas residuales. Cuando la localidad no cuenta con alcantarillado se utiliza una contribución per cápita promedio de 90 gr.SS/(hab\*día).

### **b. Masa de sólidos que conforman los lodos (Msd, en Kg SS/día)**

$$Msd = (0.5 * 0.7 * 0.5 * C) + (0.05 * 0.3 * C) \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.49)$$

Dónde:

- Msd: Masa de sólidos en Kg de SS/día
- C: Carga de Solidos en Kg de SS/día

### **c. Volumen diario de lodos digeridos (Vld, en litros/día)**

$$Vld = \frac{Msd}{\rho \text{ lodo} * (\% \text{ de solidos}/100)} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.50)$$

Dónde:

- $\rho$  lodo: Densidad de los lodos, igual a 1,04 Kg/l. % de sólidos: % de sólidos contenidos en el lodo, varía entre 8 a 12%.

#### d. Volumen de lodos a extraerse del tanque (Vel, en m<sup>3</sup>)

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.51)$$

Dónde:

- Td = tiempo de digestión (días)

#### e. Área de lecho de secado (Als, en m<sup>3</sup>)

$$Als = \frac{Vel}{Ha} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.52)$$

Dónde:

- Ha: Profundidad de aplicación, entre 0,20 a 0,40m

Alternativamente se puede emplear la siguiente expresión para obtener las dimensiones unitarias de un lecho de secado.

$$\frac{m^3 \text{ de lecho}}{\text{habitante}} = \frac{\text{Rendimiento volumétrico del digestor (m}^3/\text{N}^{\circ} \text{ de personas}}{\text{Número de aplicaciones(años)} * \text{Profundidad de inundación (m)}}$$

(Ecuación N<sup>o</sup> 2.53)

Considerando el número de aplicaciones al año, verificar que la carga superficial de sólidos aplicado al lecho de secado se encuentre entre 120 a 200 Kg de sólidos/ (m<sup>2</sup>\*año).

#### 2.2.12.5. DESINFECCIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS

QUIROZ, P. (2009). Se emplea para reducir principalmente el contenido de bacterias, virus y quistes amebianos en las aguas residuales tratadas, previo a su reúso o disposición final. La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos causantes de enfermedades.

La desinfección suele realizarse mediante agentes químicos, físicos, mecánicos y radiación. De ellos el más utilizado es la desinfección química con cloro.

En la actualidad, el sistema de desinfección más utilizado a nivel mundial, en el caso de las aguas residuales tratadas, es el cloro. Ya sea que el cloro se agregue por vía de cloración (cloro gas) ó hipocloración (hipoclorito de sodio o de calcio).

Cuando se agrega cloro al agua la acción desinfectante y sanitaria que resulta es efectuada mediante un agente químico intermedio, el "Ácido

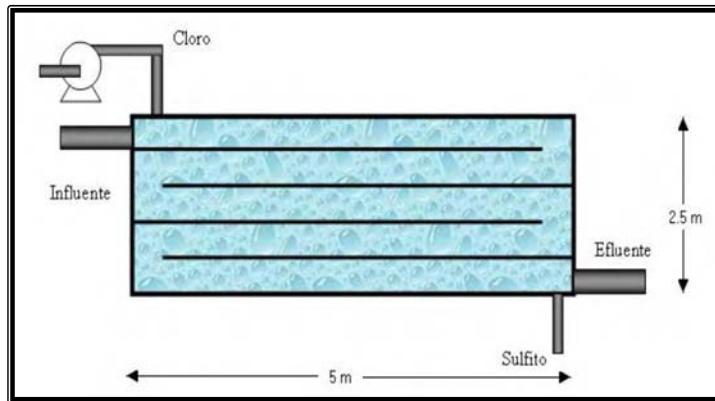
Hipocloroso". El cloro y el agua reaccionan para formar el ácido hipocloroso de acuerdo con la ecuación de equilibrio:



El ácido hipocloroso HOCL es el que realmente mata los microrganismos presentes en el agua cruda. El notable poder bactericida del ácido hipocloroso se atribuye a su capacidad de difundirse a través de las paredes de las células y de llegar así a las partes vitales de la célula bacteriana.

La estructura que se usa para efectuar la cloración es la cámara de contacto. Consiste en una serie de canales interconectados por los cuales fluye el agua servida tratada de manera que ésta esté al menos 20 minutos en contacto con el cloro, tiempo necesario para dar muerte a los microorganismos patógenos.

Luego de esta etapa se obtiene el Efluente final de la planta, que será apto para fines de regadío.



**Figura 2.29.** Cámara de contacto

Fuente: QUIROZ, P. (2009). Planta de tratamiento de aguas residuales para regadío en la UNMSM.

### ECUACIONES PARA EL DISEÑO DE LA CAMARA DE CONTACTO

QUIROZ, P. (2009). Las ecuaciones para determinar la cámara de contacto están en base a las normas peruanas.

#### a. Consideraciones de diseño

- ✓ Caudal medio ( $Q$ ) en  $m^3 / min$ .
- ✓ Tiempo de retención ( $t$ ) es de 15 a 30 min.
- ✓ Dosis empleada de  $10 \text{ mg} / l$
- ✓ Altura Propuesta ( $h$ ) de  $0.80 \text{ m}$  a  $1.0 \text{ m}$

#### b. Cálculo del volumen teórico

$$V = Q * t \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.55)$$

Donde:

- $V$  = Volumen en  $m^3$
- $Q$  = Caudal medio en  $m^3/min$
- $t$  = Tiempo de retención

#### c. Con la altura propuesta se determina el área

$$A = V/h \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.56)$$

Donde:

- $A$  = Área de la cámara de contacto en  $m^2$
- $V$  = Volumen en  $m^3$
- $h$  = Altura propuesta

Considerando una relación de  $L/a = 2$

## 2.2.12.6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

**Cuadro N° 2.26.** Ventajas y desventajas de algunos de los procesos de tratamiento de aguas residuales

PROCESO DE TRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>1. Fosa Séptica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apropriada para comunidades rurales, edificaciones, condominios, hospitales, etc.</li> <li>• Su limpieza no es frecuente</li> <li>• Costo bajo de construcción y operación</li> <li>• Mínimo grado de dificultad en operación y mantenimiento si se cuenta con infraestructura de remoción de lodos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Su uso es limitado (máx. 350 habitantes)</li> <li>• Su uso también está limitado a la capacidad de infiltración del terreno que permita disponer adecuadamente los efluentes en el suelo</li> <li>• Se requiere facilidades para la remoción de lodos (bombas, camiones con bomba de vacío, etc.)</li> </ul>
<b>2. Tanque Imhoff</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impide el arrastre de sólidos en el efluente</li> <li>• Menor tiempo de retención</li> <li>• Bajo costo de construcción y operación</li> <li>• Mínimo grado de dificultad en operación y mantenimiento</li> <li>• Menor disponibilidad de terreno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructuras profundas (&gt; 6 m)</li> <li>• Efluente con mala calidad orgánica y microbiológica</li> </ul>
<b>3. Filtro Anaerobio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se logran altas concentraciones de biomasa y largos tiempos de retención celular</li> <li>• Pequeños volúmenes de reactor debido a altas cargas orgánicas</li> <li>• Su operación es relativamente estable bajo condiciones variables de alimentación o choques tóxicos</li> <li>• Es adecuado para AR con bajas concentraciones de sólidos en suspensión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La acumulación de sólidos suspendidos tiene un efecto adverso en las características hidráulicas y de transferencia de masa.</li> <li>• No son adecuados para AR con alto contenido de sólidos suspendidos</li> <li>• Requiere de disposición periódica de la biomasa</li> <li>• Con tiempos de retención hidráulicos relativamente cortos se reduce la capacidad para resistir choques orgánicos</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No requiere de medios mecánicos</li> <li>• Requiere de un área pequeña de terreno</li> </ul>	
<b>4. Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soporta altas cargas orgánicas</li> <li>• Bajo requerimiento de energía</li> <li>• No requiere medio de soporte</li> <li>• Construcción relativamente simple</li> <li>• Aplicable a pequeña y gran escala</li> <li>• Operación comparativamente simple respecto a filtros o lodos activados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requerimientos de inóculo de determinadas características</li> <li>• Sensible a sólidos suspendidos, grasas y aceites en el afluente</li> <li>• Sensibles a bajas temperaturas (<math>&lt;15^{\circ}\text{C}</math>)</li> <li>• Riesgos de flotación de sólidos durante arranques</li> <li>• Arranque lento sino se cuenta con el inóculo adecuado</li> </ul>
<b>5. Sistema de Lodos Activados Convencional</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta calidad del efluente tratado debido al control del flujo de AR, el oxígeno y la densidad bacteriana (lodo activado)</li> <li>• mayor eficiencia en el tratamiento, comparada con los lechos biológicos, debido a la mayor independencia de la temperatura (flexibilidad operacional)</li> <li>• menor área comparada a la requerida por los filtros biológicos</li> <li>• períodos más cortos de arranque (menos de dos semanas) en comparación con el de lechos biológicos (4 a 6 semanas)</li> <li>• no producen olores desagradables ni atraen moscas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requerimiento de energía para la aireación</li> <li>• Elevado costo de operación y mantenimiento</li> <li>• necesidad de utilizar personal operador especializado</li> <li>• sistema sensible a sobrecargas y cambios bruscos en la calidad del afluente</li> <li>• necesidad de un completo control operacional (análisis de laboratorio frecuentes, medición de flujos, etc.)</li> </ul>
<b>6. Filtros percoladores o rociadores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No necesita de equipos para suministro de oxígeno</li> <li>• baja producción de lodos</li> <li>• menor área superficial de construcción, considerando la alta producción de biomasa generada en la gran área</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructuras altas (más de 3 m) que generalmente obligan a bombeo desde el sedimentador</li> <li>• área superficial relativamente grande</li> <li>• pueden existir problemas de olor, especialmente en las temporadas más</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>superficial de contacto del medio filtrante</li> <li>no se requiere personal altamente calificado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>cálidas</li> <li>presencia de larvas de moscas, que desarrolladas en exceso pueden obstaculizar el proceso de clarificación y crear molestias en las viviendas vecinas</li> </ul>
<b>7. Lagunas de estabilización</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pueden recibir y retener grandes cantidades de AR, soportando sobrecargas hidráulicas y orgánicas con mayor flexibilidad, comparativamente con otros tratamientos</li> <li>formación de biomasa más efectiva y variada que en otros procesos de tratamiento</li> <li>no requieren de instalaciones complementarias para la producción de oxígeno. El mismo se produce en forma natural dentro del sistema</li> <li>debido a los tiempos de retención prolongados y a los mecanismos del proceso, son sistemas altamente eficaces para la remoción de bacterias, virus y parásitos, comparativamente con otros tratamientos</li> <li>mínimo mantenimiento</li> <li>no requiere de personal calificado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Necesidad de mayores áreas de terreno</li> </ul>
<b>8. Biodiscos o discos rotativos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bajo consumo de energía y simplicidad de operación y mantenimiento</li> <li>facilidad de ampliación de capacidad de tratamiento de las AR por utilizar unidades modulares</li> <li>no requiere recirculación de los lodos del decantador secundario</li> <li>comparado con otros procesos de película fija,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El diseño mecánico del sistema debe ser riguroso pues se han registrado varios casos de rotura del eje que soporta los discos.</li> <li>se requiere de grandes grúas y personal especializado para su montaje.</li> <li>otro inconveniente es que sus costos se comportan de manera casi lineal con respecto a los caudales de</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>los biodiscos retienen una película fija que utilizan efectivamente toda el área de contacto</li> <li>carecen de los problemas de aerosol y ruido que se presentan en los sistemas de lodos activados</li> </ul>	agua por tratar, lo cual no sucede con los otros sistemas convencionales
<b>9. Humedales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menos olores</li> <li>No algas en el efluente</li> <li>Remoción de fosforo y nitrógeno</li> <li>Bajo costo de operación y mantenimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cosecha periódica de las plantas</li> <li>Necesidad de mayores áreas de terreno</li> </ul>

Fuente: AYALA, R. y GONZALES, G. (2008). Apoyo Didáctico de Plantas de Tratamiento de AR.

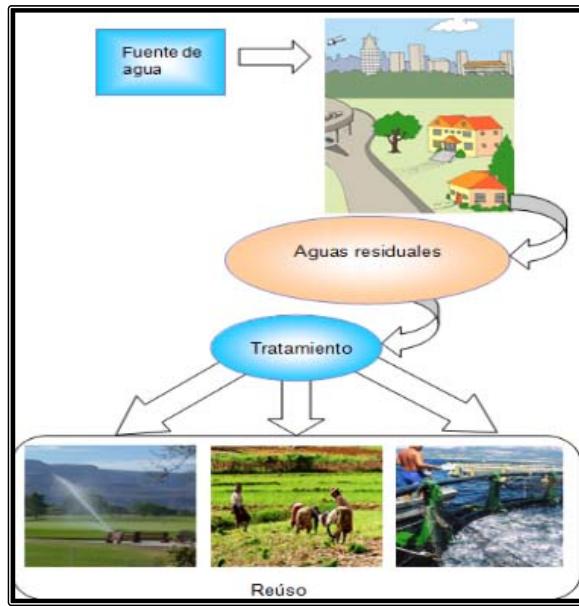
### 2.2.13. REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

INGARUCA, E. (2010). La reutilización de aguas residuales urbanas, es una práctica aplicada en muchos países, de manera que hoy día este tipo de aguas ha entrado a formar parte del ciclo hidrológico y a ser consideradas como recursos hídricos alternativos que deben ser tenidos en cuenta en todo balance.

El tratamiento de estas aguas, en sus diferentes niveles, mejora su calidad y brinda posibilidades de reúso.

La reutilización de aguas en riegos tiene una doble acción, por un lado, constituye un recurso complementario del agua y por otro se convierte el suelo en un reactor que contribuye a la depuración de las aguas.

Para la evaluación de la calidad de un agua residual tratada a utilizar para riego de parques y jardines no se cuentan con normas nacionales exactamente definidas para este fin. Sin embargo, se cuentan con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua cuyos valores pueden ser utilizados como parámetros referenciales en el reúso del agua para riego de parques y jardines.



**Figura N° 2.30.** Reciclaje y reúso de agua.

Fuente: MINAM (2015). V Curso de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

#### 2.2.14. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

INGARUCA, E. (2010). La selección de la tecnología más apropiada para tratar un vertido residual, el primer paso es realizar algunos estudios preliminares que implican un análisis completo del afluente que va a ser depurado con el fin de determinar el grado de contaminación existente y, el nivel de calidad que se desea en el agua tratada de acuerdo al objetivo del tratamiento.

Otro aspecto importante es el nivel económico de la población en donde se desarrollará el proyecto, manteniendo el equilibrio coste-rendimiento, para que el tratamiento aplicado sea sostenible y eficiente.

Por lo tanto, los factores a tener en cuenta en la toma de decisión final del tipo de tratamiento a implantar son los que se mencionan a continuación:

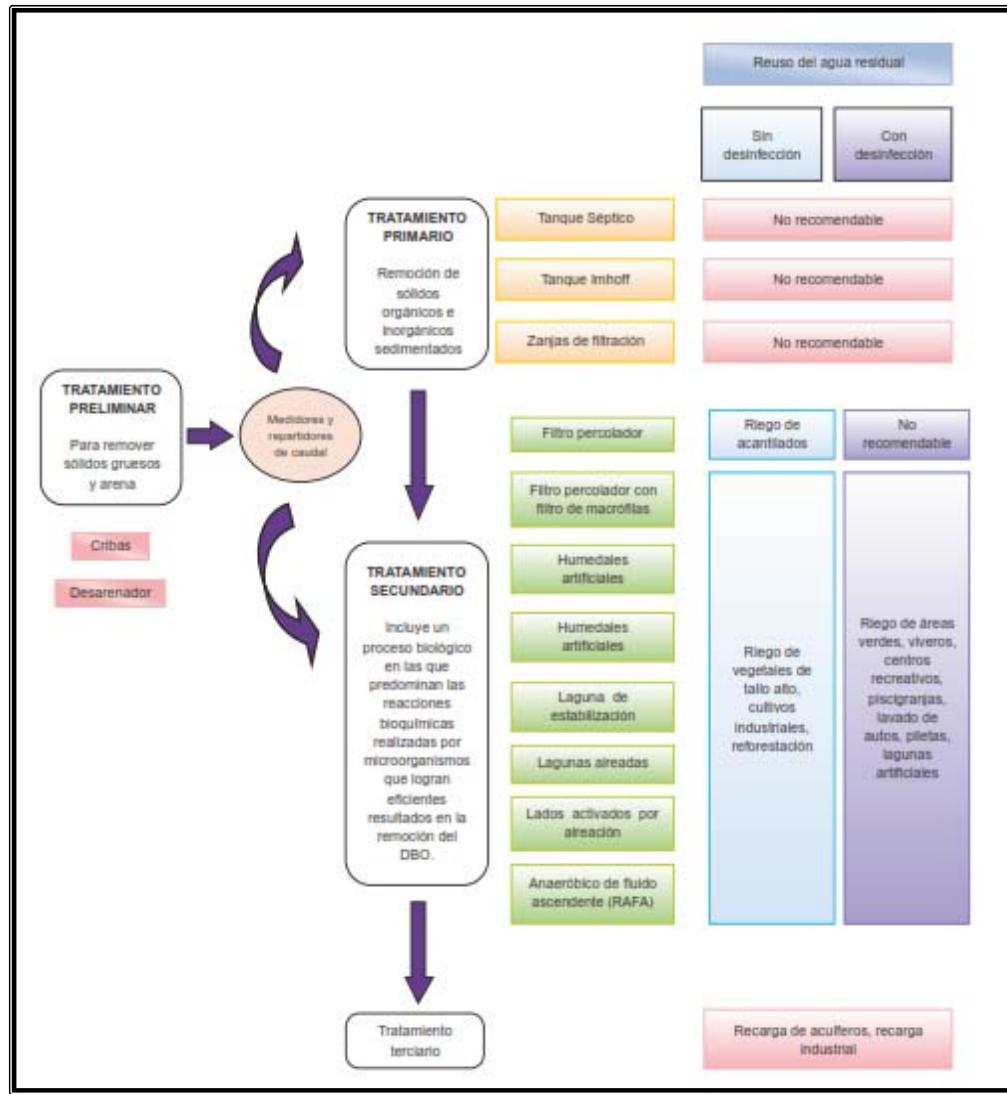
- ✓ Factores demográficos: población, servicio de agua potable y alcantarillado
- ✓ Objetivos del tratamiento

- ✓ Características del terreno: pendiente, profundidad del nivel freático
- ✓ Características del medio receptor (suelo): Caracterización físico-química e hidráulica
- ✓ Caudales de vertido
- ✓ Características básicas del afluente: carga orgánica, concentración bacteriana, metales, pesticidas, temperatura, caudales.
- ✓ Disponibilidad del terreno
- ✓ Climatología: (precipitaciones, vientos, evapotranspiración, temperatura).
- ✓ Impacto ambiental
- ✓ Costos de construcción, operación y mantenimiento
- ✓ Eficiencia del tratamiento

RNE, (2012). Según la Norma OS. 090. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, la reglamentación vigente, el área donde se ubique la planta de tratamiento de aguas residuales deberá estar ubicado a una distancia de los centros poblados, considerando las siguientes:

- ✓ 500 m para tratamientos anaerobios (sin oxígeno)
- ✓ 200 m para Lagunas facultativas
- ✓ 100 m para lagunas aireadas, lodos activados y filtros percoladores.

Todas estas distancias deben justificarse en el estudio de impacto ambiental del proyecto, en el cual debe indicarse también un área de protección para la planta.



**Figura N° 2.31.** Flujograma de Planta Tratamiento de Aguas Residuales para su reutilización.

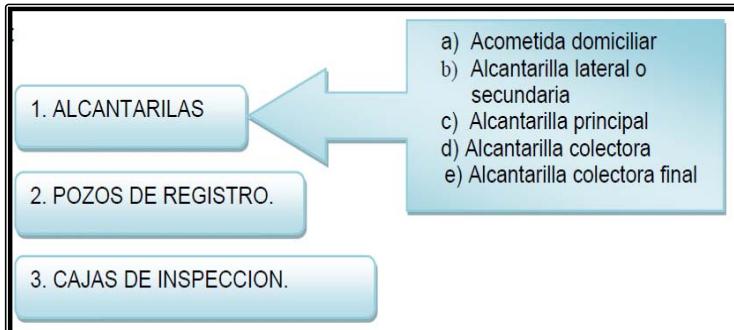
Fuente: INGARUCA, E. (2010). Manual de Tratamiento y reuso de aguas residuales.

## 2.2.15. SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE AGUAS RESIDUALES

IBÁÑEZ, W. (2012). Se denomina alcantarillado o red de alcantarillado al sistema de estructuras y tuberías usados para el transporte de aguas residuales, negras o servidas desde el lugar en que se generan hasta el sitio en que se vierten a cauce o se tratan.

Un sistema de alcantarillado sanitario de aguas residuales está compuesto en su totalidad por diversos elementos que al integrarse aportan una solución óptima para la evacuación de las aguas

residuales generadas en una comunidad. Entre los elementos más importantes que componen el sistema de alcantarillado sanitario podemos mencionar los siguientes:



**Figura Nº 2.32.** Componentes de un alcantarillado.

Fuente: Ibáñez, W. (2012). Obras Hidráulicas y de Saneamiento

La función de los diversos tipos de alcantarillas se describe en el cuadro Nº 2.27.

**Cuadro Nº 2.27.** Tipos de alcantarillado en una Red.

Tipos de Alcantarillado	Descripción
Acometida domiciliar	Las acometidas o conexiones domiciliares se conectan con la red de desagües de los edificios y su finalidad es transportar las aguas residuales originadas en ellos a las alcantarillas secundarias o a cualquier otra alcantarilla, excepto a otra acometida domiciliar.
Laterales o secundarias	Constituyen el primer elemento de la red de alcantarillado y suelen disponerse en la calle o en zonas especiales de servidumbre.
Principales.	Se utilizan para transportar el agua residual procedente de una o varias alcantarillas secundarias a los colectores o interceptores.
Colectores.	Son alcantarillas de gran tamaño que transportan el agua residual a las principales o a la estación depuradora.
Interceptores o colectora final	Son alcantarillas de gran tamaño que se utilizan para interceptar y recoger el agua residual procedente de uno o varios colectores o alcantarillas principales.
Emisores	Son el conducto que recibe las aguas de uno o varios colectores o interceptores. Su función es conducir las aguas residuales a la planta de tratamiento o a un sistema

	de reúso. También se le denomina emisor al conducto que lleva las aguas tratadas (efluente) de la planta de tratamiento al sitio de descarga.
--	---

Fuente: Ibáñez, W. (2012). Obras Hidráulicas y Saneamiento.

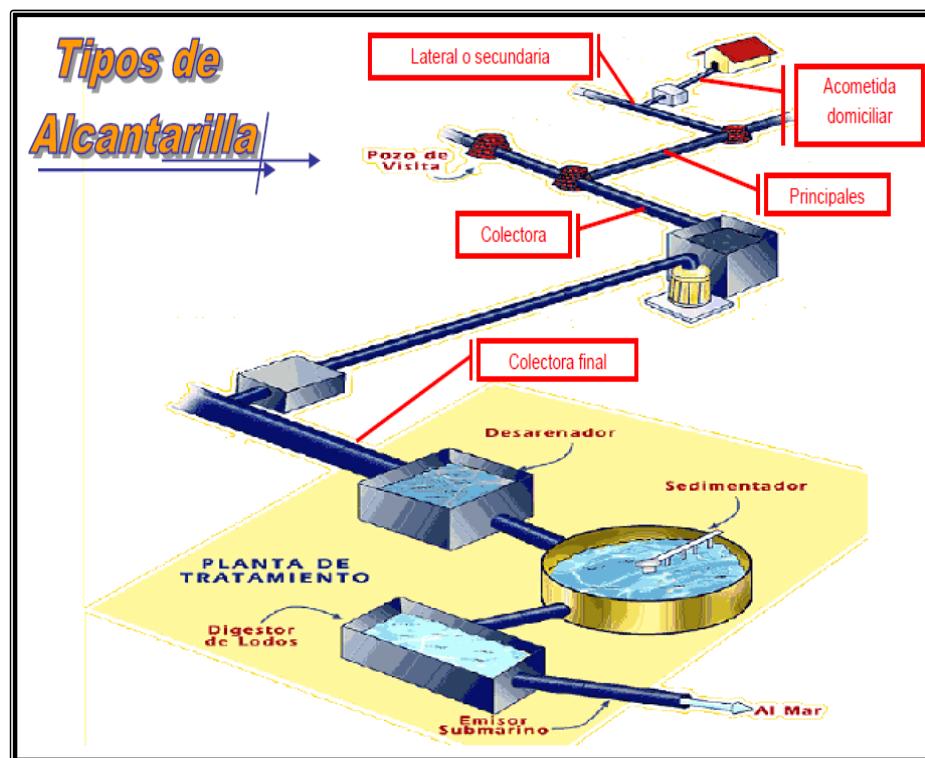


Figura N° 2.33. Tipos de alcantarillado de Aguas Residuales.

Fuente: Ibáñez, W. (2012). Obras Hidráulicas y Saneamiento.

#### 2.2.15.1. DISEÑO DE REDES DE ALCANTARILLADO

IBÁÑEZ, W. (2012). El diseño de un sistema de alcantarillado por gravedad se realiza considerando que, durante su funcionamiento, se debe cumplir la condición de auto limpieza para limitar la sedimentación de arena y otras sustancias sedimentables (heces y otros productos de desecho) en los colectores. La eliminación continua de sedimentos es costosa y en caso de falta de mantenimiento se pueden generar problemas de obstrucción y taponamiento.

### 2.2.15.2. FÓRMULAS PARA EL DISEÑO

Considerando que el flujo en las tuberías de alcantarillado será uniforme y permanente, donde el caudal y la velocidad media permanecen constantes en una determinada longitud de conducto, para los cálculos hidráulicos se hicieron de acuerdo a la fórmula de Manning es la más práctica para el diseño de canales abiertos.

Actualmente se utiliza para conductos cerrados y tiene la siguiente expresión:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.57)$$

**Dónde:**

- $V$  = Velocidad (m/s).
- $n$  = Coeficiente de rugosidad (adimensional).
- $R$  = Radio hidráulico (m).
- $S$  = Pendiente (m/m).

**Para tuberías con sección llena:**

$$\text{Velocidad: } V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.58)$$

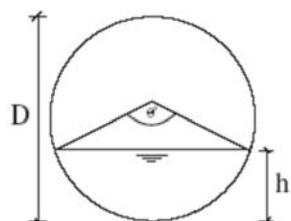
$$\text{Continuidad: } Q = V \cdot A \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.59)$$

$$\text{Caudal: } Q = \frac{0.312}{n} D^{\frac{8}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.60)$$

**Para tuberías con sección parcialmente llena:**

El grado central  $\theta$  en grado sexagesimal:

$$\theta = 2 ar \cos\left(1 - \frac{2h}{D}\right)$$



$$\text{Radio hidráulico: } R = \frac{D}{4} \left(1 - \frac{360 \operatorname{sen} \theta}{2\pi\theta}\right) \quad (\text{Ecuación N° 2.61})$$

Entonces se obtiene:

Velocidad:

$$V = \frac{0.397 D^{\frac{2}{3}}}{n} \left(1 - \frac{360 \operatorname{sen} \theta}{2\pi\theta}\right)^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Ecuación N° 2.62})$$

Caudal:

$$Q = \frac{D^{\frac{8}{3}}}{7257.15 n (2\pi\theta)^{\frac{2}{3}}} (2\pi\theta - 360 \operatorname{sen} \theta)^{\frac{5}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Ecuación N° 2.63})$$

#### **2.2.15.3. COEFICIENTE DE RUGOSIDAD**

Para el diseño de alcantarillas nuevas y en la comprobación de la capacidad de alcantarillas existentes bien construidas, se recomienda emplear un coeficiente de rugosidad de Manning (n) de 0,013, el valor de n a adoptar para el diseño de todos los sistemas de alcantarillado no debe de ser inferior de 0,013.

#### **2.2.15.4. DIÁMETRO MÍNIMO DE ALCANTARILLAS**

Los criterios de diseño de las redes convencionales especifican que el diámetro mínimo de las alcantarillas será 200 mm (8"), tanto en habilitaciones de uso de vivienda como de uso industrial.

Excepcionalmente y sólo en habilitaciones de uso de vivienda, podrá utilizarse alcantarillas de 150 mm (6") de diámetro; siempre y cuando su necesidad se sustente en mejores condiciones hidráulicas de funcionamiento o por su ubicación en zonas accidentadas con calles angostas, pero de fuertes pendientes.

#### **2.2.15.5. VELOCIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA DE ALCANTARILLADO**

La velocidad mínima no debe ser menor de 0,45 ó 0,50 m/s. Es mejor aceptar un valor inferior para el flujo "real", que fijar un valor mayor para un flujo hipotético (sección llena o semillena), siendo a considerar en la práctica una velocidad mínima de 0.60 m/s.

Por tanto, es recomendable calcular la máxima pendiente admisible para una velocidad final  $V = 5$  m/s.

#### 2.2.15.6. PENDIENTE EN ALCANTARILLADOS

El diseño usual del alcantarillado convencional considera que la pendiente mínima que tendrá una alcantarilla, viene dada por la inclinación de la tubería con la cual se lograra mantener la velocidad mínima de 0,6 m/s, transportando el caudal máximo con un nivel de agua del 75% (0,75 D) del diámetro.

De no conseguirse condiciones de flujo favorables debido al pequeño caudal evacuado, en los tramos iniciales de cada colector (primeros 300 m) se deberá mantener una pendiente mínima del 0,8%.

### 2.2.16. CRITERIOS BASICOS DE DISEÑO HIDRAULICO

#### 2.2.16.1. FLUJO DE TUBERIAS

ROCHA, A. (2007). Los fluidos son sustancias capaces de fluir y que se adaptan a la forma de los recipientes que los contienen. Cuando está en equilibrio los fluidos no pueden soportar fuerzas tangenciales o cortantes. Todos los fluidos son comprensibles en cierto grado y ofrecen poca resistencia a los cambios de forma.

#### 2.2.16.2. ECUACIONES PARA EL DISEÑO DE TUBERIAS CIRCULARES

##### A. EFECTOS DE VISCOSIDAD

SCHAUM, V. (2005). El efecto de la mayor o menor viscosidad del fluido sobre las condiciones del flujo, se expresa mediante el parámetro adimensional denominado **Número de Reynolds** que queda expresado en la siguiente manera:

$$Re = \frac{VL}{\nu} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.64)$$

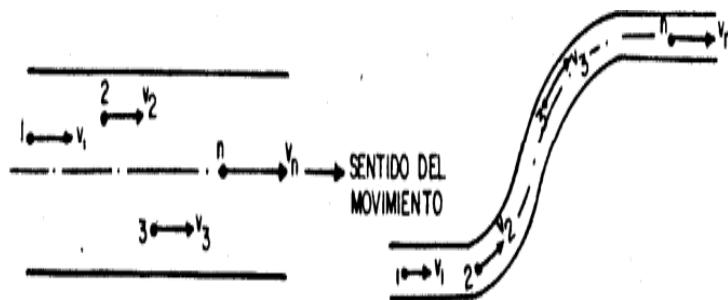
En tuberías se considera como longitud característica al diámetro de la tubería ( $D$ ), por lo cual la expresión anterior queda expresada de la siguiente manera.

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

(Ecuación Nº 2.65)

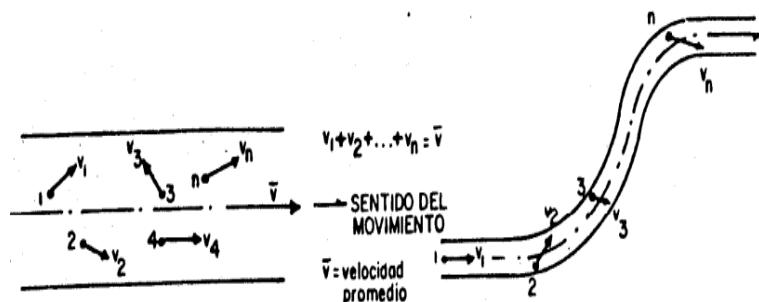
La elección de la longitud característica, es un asunto puramente convencional, sin embargo, se debe dejar preestablecido de manera clara, cual es la longitud característica, y trabajar en todo el proceso con dicho valor.

Como se dijo anteriormente, el número de Reynolds representa la relación existente entre las fuerzas viscosas y las fuerzas iniciales. Cuando las fuerzas viscosas son mayores que las fuerzas iniciales, se dice que es un flujo laminar<sup>3</sup>, el caso contrario a este es conocido como flujo turbulento<sup>4</sup>.



**Figura Nº 2.34.** Trayectoria de las partículas en un Flujo Laminar

Fuente: SCHAUM, V. (2005). Mecánica de los fluidos e hidráulica.



**Figura Nº 2.35:** Trayectoria de las partículas en un Flujo Turbulentos

Fuente: SCHAUM, V. (2005). Mecánica de los fluidos e hidráulica.

<sup>3</sup> Flujo Laminar: es aquel en que el movimiento de las partículas del fluido tiene solamente el sentido y la dirección del movimiento principal del fluido. Se puede presentar en un conducto cerrado trabajando a presión (tubería), canal abierto.  $Re < 2300$ .

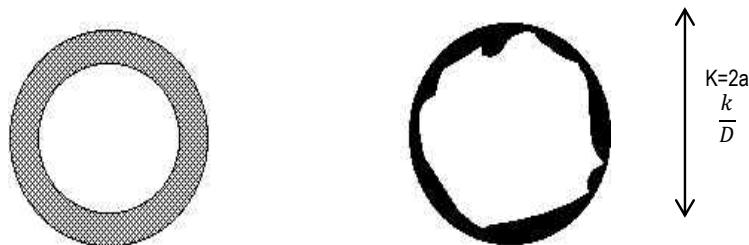
<sup>4</sup> Flujo Turbulento: es aquel en que el movimiento de las partículas del fluido tiene desplazamiento sentidos diferentes, se pueden presentar en el mismo tipo de conductos referidos al régimen laminar.  $Re > 5000$ ,  $2300 < Re < 5000$ , el flujo puede ser laminar o turbulento (zona de transición).

En el agua, que tiene un valor de viscosidad muy pequeño, el flujo laminar, muy raramente se presenta en problemas reales de ingeniería. En caso de reales es muy frecuente encontrarse con flujos turbulentos plenamente desarrollados.

### a. RUGOSIDAD

SCHAUM, V. (2005). Si pudiéramos observar microscópicamente el contorno de una tubería, observaríamos las protuberancias o aspereza del contorno. Dichas asperezas son diferentes en forma y tamaño, y dan lugar a la aparición de pequeñas corrientes vorticosas secundarias y producen una modificación en las condiciones del escurrimiento.

Designamos por  $k$  al diámetro de los granos y  $a$  al radio. Al valor de  $k$  (o al de  $a$ ), se le denomina rugosidad absoluta. La influencia de la rugosidad en el escurrimiento depende del tamaño del conducto, es decir del radio de la tubería. En este caso denominaremos rugosidad relativa a la relación siguiente o a su inversa.



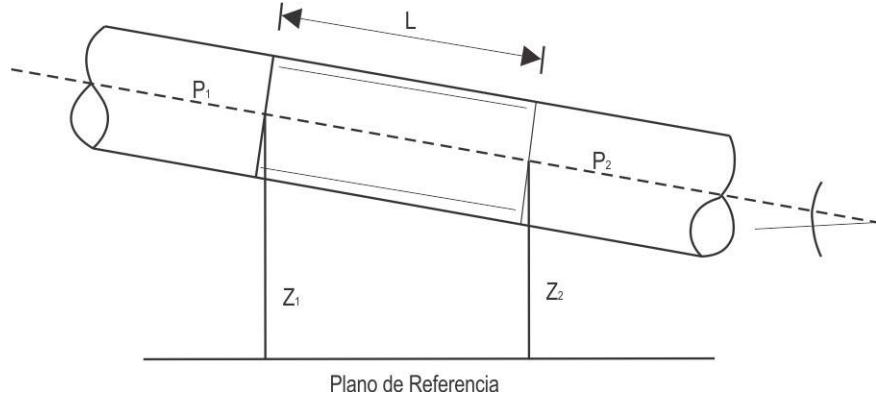
**Figura N° 2.36.** Aspereza del contorno de la tubería.

Fuente: SCHAUM, V. (2005). Mecánica de los fluidos e hidráulica.

### b. RESISTENCIA DE SUPERFICIE EN EL MOVIMIENTO UNIFORME

#### ECUACIÓN DE DARCY – WEISBACH

SCHAUM, (2005). Consideremos el flujo en un cilindro de longitud  $L$ , las fuerzas que actúan son la diferencia de presiones, la fricción y el peso del fluido. Entre estas fuerzas debe haber equilibrio.



**Figura N° 2.37.** Línea de Gradiente Hidráulico en tuberías

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Ecuación de Darcy - Weisbach})$$

(Ecuación N° 2.66)

Dónde:

- $h_f$ : pérdida de carga en metros de columna de agua (m.c.a.)
- D: diámetro de la tubería en m.
- V: velocidad media de flujo en la sección en m/s
- g: aceleración de la gravedad en m/s<sup>2</sup>
- L: longitud de la tubería en m.

A partir de la Ecuación de Darcy – Weisbach se puede obtener para un flujo laminar,

$$f = \frac{64}{Re} \quad (\text{Ecuación N° 2.67})$$

En donde el número de Reynolds está referido al diámetro.

$$Re = \frac{D*v}{\mu} \quad (\text{Ecuación N° 2.68})$$

Dónde:

- D: diámetro de la tubería en m.
- v: velocidad del fluido en m/s
- u: viscosidad cinemática (1.13E-6 m<sup>2</sup>/s para el agua).

## **SIGNIFICADO DEL COEFICIENTE “*f*” DE DARCY - WEISBACH PARA FLUJO LAMINAR:**

En el que respecta al flujo laminar el coeficiente *f*, es simplemente una función del número de Reynolds.

$$f = \frac{64}{Re} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.69)$$

## **PARA FLUJO TURBULENTO:**

En el flujo turbulento el significado de *f* es más complejo, pues no solo depende del número de Reynolds, sino también de la rugosidad relativa así:

$$f = \varphi \left( Re, \frac{k}{D} \right) \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.70)$$

Si bien es cierto que, en el flujo turbulento, *f* es en el caso más general, función tanto del número de Reynolds como de la rugosidad relativa, también lo que puede ser la función solo de uno de ellos.

## **LA FÓRMULA DE WHITE - COLEBROOCK.**

Desde el punto de vista hidráulico no podemos decir que un determinado contorno, es en sí liso o rugosos. Esto depende también de las características del escurrimiento. Un contorno puede comportarse como liso frente a un flujo, y puede comportarse como rugoso frente a otro flujo. Todo depende de la relación entre el tamaño de la rugosidad y el espesor de la sub capa laminar que podría desarrollarse.

Los valores de *f*, en la zona de transición entre tuberías lisas y rugosas se obtienen por medio de la fórmula de White – Colebroock. Sabemos que:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left( \frac{3.71D}{k} \right) \text{ (Tuberías Rugosas)}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log(Re\sqrt{f}) - 0.8 \text{ (Tuberías lisas).}$$

Finalmente, combinando y simplificando ambas ecuaciones llegamos a la siguiente relación.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[ \frac{k}{3.71D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right] \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.71)$$

Dónde:

- k/D: Rugosidad Relativa ( $\varepsilon$ )
- Re: Número de Reynolds.

Sin embargo, a pesar de estar basada en la física clásica, dicha ecuación presenta el problema en el factor de fricción  $f$ , es una función no explícita del número de Reynolds y de la rugosidad relativa, siendo una solución mediante métodos iterativos.

### **DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTOS PARA VELOCIDADES Y CAUDALES OBTENIDOS DE LAS ECUACIONES ANTERIORES.**

La combinación de la Ec. (1.67) de Darcy-Weisbach y de la Ec. (1.72) de Colebrook- White nos da:

$$V = \frac{-2\sqrt{2gdh_f}}{\sqrt{l}} * \log \left( \frac{k}{3.7D} + \frac{2.51u\sqrt{l}}{D*\sqrt{2gdh_f}} \right) \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.72)$$

Dónde:

- $h_f$ : Perdida de carga
- $u$ : viscosidad cinemática (1.13E-6 m<sup>2</sup>/s para el agua).
- $L$ : Longitud de la tubería (m)
- $D$ : diámetro de la tubería
- $K$ : Rugosidad Absoluta

**Cuadro N° 2.28.** Propiedades físicas del agua

Tem p. (°C)	Peso específic o (kN/m <sup>3</sup> )	Densida d (kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de elasticida d (kN/m <sup>2</sup> )	Viscosida d dinámica (N·s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática (m <sup>2</sup> /s)	Tensión superfici al (N/m)	Presión de vapor (kN/m <sup>2</sup> )
0	9,805	999,8	$1,98 \cdot 10^6$	$1,781 \cdot 10^{-3}$	$1,785 \cdot 10^{-6}$	0,0765	0,61
5	9,807	1000,0	$2,05 \cdot 10^6$	$1,518 \cdot 10^{-3}$	$1,519 \cdot 10^{-6}$	0,0749	0,87
10	9,804	999,7	$2,10 \cdot 10^6$	$1,307 \cdot 10^{-3}$	$1,306 \cdot 10^{-6}$	0,0742	1,23
15	9,798	999,1	$2,15 \cdot 10^6$	$1,139 \cdot 10^{-3}$	$1,139 \cdot 10^{-6}$	0,0735	1,70
20	9,789	998,2	$2,17 \cdot 10^6$	$1,102 \cdot 10^{-3}$	$1,003 \cdot 10^{-6}$	0,0728	2,34
25	9,777	997,0	$2,22 \cdot 10^6$	$0,890 \cdot 10^{-3}$	$0,893 \cdot 10^{-6}$	0,0720	3,17
30	9,764	995,7	$2,25 \cdot 10^6$	$0,708 \cdot 10^{-3}$	$0,800 \cdot 10^{-6}$	0,0712	4,24
40	9,730	992,2	$2,28 \cdot 10^6$	$0,653 \cdot 10^{-3}$	$0,658 \cdot 10^{-6}$	0,0696	7,38
50	9,689	988,0	$2,29 \cdot 10^6$	$0,547 \cdot 10^{-3}$	$0,553 \cdot 10^{-6}$	0,0679	12,33
60	9,642	983,2	$2,28 \cdot 10^6$	$0,466 \cdot 10^{-3}$	$0,474 \cdot 10^{-6}$	0,0662	19,92
70	9,589	977,8	$2,25 \cdot 10^6$	$0,404 \cdot 10^{-3}$	$0,413 \cdot 10^{-6}$	0,0644	31,16
80	9,530	971,8	$2,20 \cdot 10^6$	$0,354 \cdot 10^{-3}$	$0,364 \cdot 10^{-6}$	0,0626	47,34
90	9,466	965,3	$2,14 \cdot 10^6$	$0,315 \cdot 10^{-3}$	$0,326 \cdot 10^{-6}$	0,0608	70,10
100	9,399	958,4	$2,07 \cdot 10^6$	$0,282 \cdot 10^{-3}$	$0,294 \cdot 10^{-6}$	0,0589	101,33

Fuente: Rocha, A. (2007). Hidráulica de tuberías y canales.

En el interior de los tubos comerciales existen protuberancias o irregularidades de diferentes formas y tamaños cuyo valor medio se conoce como rugosidad Absoluta de la tubería, siendo el parámetro crítico. Si es posible, debe obtenerse información del fabricante. Unos valores orientativos se dan en el cuadro N° 2.73.

$$\varepsilon = \frac{k}{D} \quad (\text{Ecuación N° 2.73})$$

**Cuadro N° 2.29.** Rugosidad Absoluta de Materiales

Material	k (mm)	Material	k (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06- 0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,0003	Fundición	0,15
Asbesto cemento	0,03	Acero comercial y soldado	0,046
Tubos de cobre	0,0015	Hierro forjado	0,06
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,15

Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3-3,0

Fuente: Rocha, A. (2007). Hidráulica de tuberías y canales.

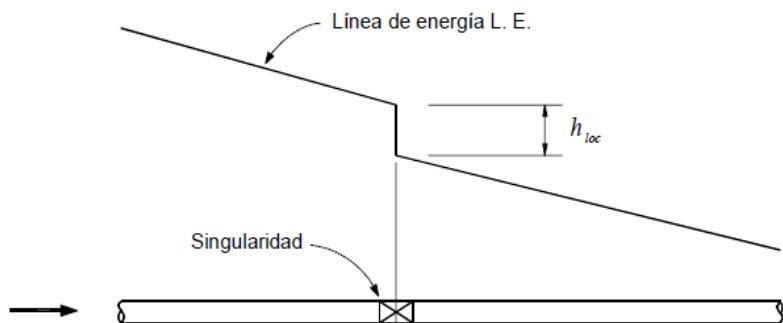
### 2.2.16.3. CONCEPTO DE PÉRDIDA DE CARGA

ROCHA, A. (2007). Las pérdidas de carga por rozamiento en tuberías a presión pueden calcularse mediante dos grupos de fórmulas.

- ✓ Formulas algorítmicas
- ✓ Formulas Empíricas

#### a. PÉRDIDAS DE CARGA LOCALES.

Además de las pérdidas de carga por rozamiento o fricción, se producen otro tipo de pérdidas que se originan en puntos singulares de las tuberías (cambios de dirección, codos, juntas) y que se deben a fenómenos de turbulencia. La suma de estas pérdidas de carga accidentales o localizadas más las pérdidas por rozamiento dan las pérdidas de carga totales.



**Figura N° 2.38. Pérdida de carga local**

Fuente: Rocha, A. (2007). Hidráulica de tuberías y canales.

Las pérdidas de carga locales se expresan genéricamente en función de la altura de velocidad en la tubería.

$$h_m = k_m * \left( \frac{V^2}{2g} \right) \quad (\text{Ecuación N° 2.74})$$

Dónde:

- ✓  $h_m$ : pérdida de carga o de energía (m)

- ✓  $K_m$ : coeficiente empírico (adimensional)
- ✓  $v$ : velocidad media del flujo (m/s), (m/s<sup>2</sup>)

Expresión en la que  $h_m$  es la pérdida de carga local expresada en unidades de longitud,  $k_m$  es un coeficiente adimensional que depende de las características de la singularidad que genera la pérdida de carga (codo, válvula, etc) así como del número de Reynolds y de la rugosidad,  $V$  es la velocidad media en la tubería. A las pérdidas de carga locales también se les denomina pérdidas menores. Esto en razón que en tuberías muy largas la mayor parte de la pérdida de carga es continuo. Sin embargo, en tuberías muy cortas las pérdidas de carga locales pueden ser proporcionalmente muy importantes. El coeficiente "K" depende del tipo de singularidad y de la velocidad media en el interior de la tubería.

**Cuadro Nº 2.30.** Perdida de carga en Accesorios

ACCESORIOS	PERDIDA DE CARGA
<b>ENTRADA</b>	$k_m * \left(\frac{V^2}{2g}\right)$ <p><math>V</math>: velocidad media de la tubería).</p> <p>Bordes Agudos <math>K_m = 0,5</math></p> <p>Bordes ligeramente redondeados <math>K_m = 0,26</math></p> <p>Bordes Acampanados <math>K_m = 0,04</math></p> <p>Bordes Entrantes <math>K_m = 1</math></p> <p>Salida <math>K_m = 1</math></p>
<b>ENSANCHAMIENTO</b>	$K \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} = K \left( \frac{A_2}{A_1} - 1 \right)^2 \frac{V_2^2}{2g}$ <p>(<math>V_1</math>: velocidad aguas arriba; <math>V_2</math>: velocidad aguas abajo).</p> <p>Brusco <math>K_m = 1</math></p> <p>Gradual Gráfico de Gibson</p>
<b>CONTRACCION</b>	$\left( \frac{1}{c_c} - 1 \right)^2 \frac{V_2^2}{2g} = K \frac{V_2^2}{2g}$ <p>(<math>V_2</math>: velocidad aguas abajo).</p>

	Brusco	Tabla de Weisbach
	Gradual	$K_m = 0$
<b>CAMBIO DE DIRECCION</b>		$k_m * \left(\frac{V^2}{2g}\right)$ (V: velocidad Media)
	Codo de 90°	$K_m = 0,90$
	Codo de 45°	$K_m = 0,42$
	Codo de curv. Fuerte	$K_m = 0,75$
	Codo de curv. Suave	$K_m = 0,60$
	Union, Tee y Yee en sentido recto. $K_m = 0,30$	
<b>VALVULAS</b>		(V: velocidad Media)
	Válvulas de globo (totalmente abierta)	
	$K_m = 10,0$	
	Válvula de compuerta (totalmente abierta) $K_m = 0,2$	
	Válvula check (totalmente abierta)	
	$K_m = 2,5$	

Fuente: Rocha, A. (2007). Hidráulica de tuberías y canales.

**Cuadro N° 2.31.** Características de las tuberías NTP ISO 4422

Dn (mm)	De (mm)	Di (mm)	e (mm)	Long. Tub (m)	Long. Útil (m)	Peso min (Kg)
63	63.0	57.0	3.0	6.0	5.88	4.750
75	75.0	67.8	3.6	6.0	5.87	6.783
90	90.0	81.4	4.3	6.0	5.86	9.725
110	110.0	99.4	5.3	6.0	5.85	14.644
140	140.0	126.6	6.7	6.0	5.83	23.569
160	160.0	144.6	7.7	6.0	5.82	30.947
200	200.0	180.8	9.7	6.0	5.80	48.236
250	250.0	226.2	11.9	6.0	5.76	74.772
315	315.0	285.0	15.0	6.0	5.74	118.752
355	355.0	321.2	16.9	6.0	5.72	150.786
400	400.0	361.8	19.1	6.0	5.70	191.986

Fuente: Rocha, A. (2007). Hidráulica de tuberías y canales.

**Cuadro Nº 2.32.** Tuberías de Presión PVC - U NTP ISO 1452

DIÁMT. PULG.	DIÁMT. EXT. (mm)	SERIE – 20 CLASE 5		SERIE - 13.3 CLASE 7.5		SERIE – 10 CLASE 10		SERIE - 6.6 CLASE 15		LARGO DEL TUBO	LARGO ÚTIL
		ESP. (mm)	DIÁMT. INT. (mm)	ESP. (mm)	DIÁMT. INT. (mm)	ESP. (mm)	DIÁMT. INT. (mm)	ESP. (mm)	DIÁMT. INT. (mm)		
2"	63.0	1.6	59.8	2.3	58.4	3.0	57.0	4.4	54.2	6 m.	5.900
2 1/2"	75.0	1.9	71.2	2.8	69.4	3.6	67.8	5.3	64.4	6 m.	5.890
3"	90.0	2.2	85.6	3.3	83.4	4.3	81.4	6.3	77.4	6 m.	5.870
4"	110.0	2.7	104.6	4.0	102.0	5.3	99.4	7.7	94.6	6 m.	5.865
5 1/2"	140.0	3.5	133.0	5.1	129.8	6.7	126.6	9.8	120.4	6 m.	5.860
6"	160.0	4.0	152.0	5.8	148.4	7.7	144.6	11.2	137.6	6 m.	5.850
8"	200.0	4.9	190.2	7.3	185.4	9.6	180.8	14.0	172.0	6 m.	5.845
10"	250.0	6.2	237.6	9.1	231.8	11.9	226.2	17.5	215.0	6 m.	5.840
12"	315.0	7.7	299.6	11.4	292.2	15.0	285.0	22.0	271.0	6 m.	5.810
*14"	355.0	8.7	337.6	12.9	329.2	16.9	321.2	24.8	305.4	6 m.	5.790
*16	400.0	9.8	380.4	14.5	371.0	19.1	361.8	28.0	344.0	6 m.	5.770

Fuente: Rocha, A. (2007). Hidráulica de tuberías y canales.

#### 2.2.16.4. DOTACIONES DE AGUA PARA DIFERENTES SOLICITACIONES

PITTMAN, R. (1997). Una comunidad o zona a desarrollar está constituida por sectores residenciales, comerciales, industrias y recreacionales, cuya composición es variable en cada caso.

Los aspectos relacionados con las dotaciones y los consumos de agua, son, tal vez, la parte más importante del diseño de todo sistema de distribución, el objetivo es dimensionar de manera adecuada los diferentes elementos del sistema, esto dependerá directamente de las dotaciones que se le dará a la población para un determinado uso y de la estimación de la variación horaria del consumo.

El consumo de agua está relacionado directamente con los siguientes aspectos:

- Calidad de agua. Mientras mayor sea la calidad del agua, existirá un mayor consumo.
- Características socio económica. Las poblaciones más desarrolladas y educadas tendrán un consumo mayor respecto a otras con menor grado de desarrollo socio económico.

- c. Existencia de servicios de alcantarillado. Existirá mayor consumo en poblaciones donde existan servicios de alcantarillado.
- d. Presión en la red. Mientras mayor sea la presión, existirá mayor cantidad de desperdicios de agua.
- e. Administración. Una administración eficiente, reduce significativamente los niveles de conexiones clandestinas y desperdicios.

A continuación, se presentan valores de dotaciones en zonas urbanas según al consumo que pueden oscilar entre 45 y los 200 lt/hab./día, son la integración de los consumos unitarios que se muestran a continuación.

**Cuadro Nº 2.33.** Dotaciones domesticas de agua

Unidad	Consumo normal de agua
Tanque WC	15 -23 lt/uso
Lavado	6 lt/uso
Baño	115 lt/uso
Ducha	95 – 115 lt/uso
Hidrante de Jardin	750 – 1200 lt/hora
Boca de Incendio	9000 lt/hora

Fuente: SEDA, 2015. Ayacucho

**Cuadro Nº 2.34.** Dotación de acuerdo a clima l/hab/día

POBLACION	CLIMA	
	FRIO	TEMPLADO CALIDO
2,000<P<10,000 hab	120	150
10,000<P<50,000 hab	150	200
P>50,000 hab	200	250

Fuente: RNE, 2012.

Con fines de comparación entre autores, se presenta a continuación el cuadro Nº 2.35, en donde se muestra un cuadro comparativo de dotación de agua entre el autor Hernández Muñoz y la Norma Peruana IS-10.

**Cuadro Nº 2.35.** Cuadro Comparativo de Dotaciones de agua

USO	Hernández Muñoz	Norma Peruana IS-10.
Doméstico (Por N° Habitantes)		
1000	150 lt/hab/día	
1000 – 6000	175 lt/hab/día	
6000 – 12000	200 lt/hab/día	
12000 – 50000	250 lt/hab/día	
50000 – 250000	300 lt/hab/día	
>250000	400 lt/hab/día	
Riego de parques	1.1 lts.Ha (9.50 lt/dia.m <sup>2</sup> )	2.0 lt/dia/m <sup>2</sup>
Laboratorios de ingeniería y científicos	6.0 lt/dia.m <sup>2</sup> )	
Hospitales	755 lt/cama/dia	800 lt/cama/dia
Instituciones Educativas:		
Primaria	38 – 57 lt/alumno/día	20 lt/alumno/día
Secundaria	38 – 57 lt/alumno/día	25 lt/alumno/día
Superior	38 – 57 lt/alumno/día	50 lt/alumno/día
Internados	285 lt/alumno/día	
Restaurantes	26 – 38 lt/asiento/día	50 lt/asiento/día
Estadios		15 lt/asiento/día
Teatros	11 lt/butaca/día	
Hidrante contra incendios	9000 lt/h	
Bares (en m <sup>2</sup> ):		
Hasta 30 m <sup>2</sup>		1500 lt/día
31 – 60		60 lt/m <sup>2</sup> /día.
61 – 100		50 lt/m <sup>2</sup> /día.
> 100		40 lt/m <sup>2</sup> /día.
Mataderos:		
Bovinos		500 lt/día/animal.
Porcinos		300 lt/día/animal.
Ovinos y caprinos		250 lt/día/animal.
Aves en general		16 lt/día/Kilo.
Prisiones	660 lt/interno/día	150 lt/interno/día

Fuente: Hernández Muñoz - Norma Peruana IS.010

#### 2.2.16.5. VARIACIONES PERIODICAS

RNE, (2012). Para suministrar eficientemente agua a la comunidad, es necesario que cada una de las partes que constituyen el sistema satisfaga las necesidades reales de la población; diseñando cada una de las estructuras de tal forma que las cifras del consumo y

variaciones de las mismas, no desarticulen todo el sistema, sino que permitan un servicio de agua eficiente y continuo.

La variación del consumo está influenciada por diversos factores tales como: tipo de actividad, hábitos de la población, condiciones de clima, etc.

#### a. CONSUMO PROMEDIO DIARIO ANUAL (Qm)

Es el consumo diario de una población, obtenido en un año de registros. Se determina con base en la población del proyecto y dotación, de acuerdo a la siguiente expresión:

#### Sistema de Agua Potable:

$$Qm = \frac{Pf * Dot}{86400} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.75)$$

Dónde:

- Qm: Consumo promedio diario (l/s)
- Pf: Población futura
- Dot: Dotación (l/hab./dia)

#### Sistema de Alcantarillado.

$$Qm = \frac{Pf * Dot}{86400} * Cr \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.76)$$

Dónde:

- Qm: Caudal medio diario de aguas residuales
- Pf: Población futura
- Dot: Dotación
- Cr: coeficiente de retorno (0.8)

Para los efectos de las variaciones de consumo se considera según las normas de RNE OS.070 se consideró los siguientes coeficientes de variación de consumo para el cálculo de caudales característicos.

- Coeficiente para consumo máximo diaria:  $K_1 = 1.30$
- Coeficiente para consumo máximo horaria:  $K_2 = 1.80 - 2.50$
- Coeficiente de variación mínima horaria:  $K_3 = 0.50$

### b. CAUDAL MÁXIMO DIARIO (Q<sub>md</sub>)

El día de máximo consumo de una serie de registros observados durante los 365 días del año es definido como el de consumo máximo diario.

Se determina multiplicando el caudal medio diario y el coeficiente  $k_1$  que varía según las características de la población. Su determinación se hace mediante registros de consumo o mediante la expresión:

$$Q_{\text{max diario}} = K_1 * Q_m \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.76)$$

### c. CAUDAL MÁXIMO HORARIO (Q<sub>mh</sub>)

Es la demanda máxima que se presenta en una hora durante un año completo. Se determina multiplicando el caudal medio diario y el coeficiente  $k_2$  que varía, según el número de habitantes.

Su determinación se hace mediante registros hora a hora durante un periodo de un año o mediante la expresión:

$$Q_{\text{max hor}} = K_2 * Q_m \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.77)$$

#### 2.2.16.6. PERIODO DE DISEÑO

FAIR, G., GEYER, J. y OKUN, D. (2010). Con respecto al periodo de diseño el reglamento Nacional de Construcción no especifica un valor determinado dice a la letra:

*“El periodo de diseño será fijado por el proyectista utilizando un procedimiento que garantice los períodos óptimos para cada componente de los sistemas”.*

Para calcular el periodo de diseño haremos el uso de la fórmula de Donal TLauria.

$$t = \frac{2.6(1-\alpha)^{1.12}}{i} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.78)$$

- ✓  $t$ =Periodo de diseño optimo
- ✓  $\alpha$ =Factor de economía de escala
- ✓  $i$ =Costo de oportunidad del capital a valores reales

En el Cuadro N° 04, muestra los valores del periodo óptimo de diseño para cada uno de los diversos componentes de los Sistemas de Agua y Desagüe.

**Cuadro N° 2.36.** Valores del periodo óptimo de diseño.

DESCRIPCION		$\alpha$	AÑOS	
SISTEMA	ESTRUCTURA		i	$t_i$
AGUA POTABLE	CAPTACION	0,20	0,09	23
	LINEA DE CONDUCCION	0,40	0,09	16
	LINEA DE ADUCCION	0,40	0,09	16
	REDES	0,30	0,09	19
	RESERVORIO	0,60	0,09	10
DESAGUE	REDES DE ALCANTARILLADO	0,30	0,09	19
	COLECTORES PRINCIPALES	0,16	0,09	24
	EMISORES	0,29	0,09	20
	EQUIPOS DE BOMBEO	0,49	0,09	20
Periodo Promedio				18

Fuente: FAIR, G., GEYER, J. y OKUN, D. (2010). Abastecimiento de agua y remoción de aguas residuales.

Tomando en cuenta los factores antes señalados se deben establecer para cada caso el periodo de diseño aconsejable. Siendo un sistema de agua potable y de desagüe una obra compleja, constituida a su vez por obras de concreto armado y concreto simple, tuberías, válvulas, etc., cuyas resistencias no son iguales para todos los materiales, no es posible asignar un periodo de diseño uniforme a todos sus componentes.

A continuación, en el cuadro N° 2.37, se indican rangos de valores de periodo de diseño asignados a los diversos componentes de los sistemas Saneamiento

**Cuadro N° 2.37.** Periodo de Diseño Estructuras de Saneamiento

SISTEMA	ESTRUCTURA		DESCRIPCION	PERIODO AÑOS	CAUDAL DISEÑO
AGUA POTABLE	Fuentes	Superficiales	Sin regulación	Infinito	Caudal Máximo Diario
			Con regulación	20 - 30	
	Subterráneas	Total	20 - 30		
		Por etapas	10		
	Captación	Superficiales	Tomas	15 - 25	
			Represas	30 - 50	
		Subterráneas	Galerías	25	
	Bombeo	Bombas, Motores	Periodos Cortos	10 - 15	Caudal Máximo Diario + Reserva
		Instalaciones, Edificios	Posibilidad de ampliación	20 - 25	
	Línea Aducción	Magnitud, Diámetro, Costos	En general	20 a 40	Caudal Máximo Diario
	Reservorios	Concreto	1 etapa	30 - 40	Caudal Máximo Horario o Caudal Máximo Diario +Caudal Incendio
		Metálicos		20 - 30	
	Línea Conducción	Magnitud, Diámetro, Costos	En general	30 a 40	
	Red Distribución	Magnitud, Diámetro, Costos	En general	20	
DESAGUE	Colector	Secundarios	Servicio a 1/2 sección	25	80% Máximo Anual de la Demanda Horaria
		Principales		40 - 50	
	Emisor	Emisores	Servicio a 3/4 sección	40 - 50	
	Plantas de Tratamiento	Crecimiento y tasa de interés bajo	Varias etapas	20 - 25	
		Crecimiento y tasa de interés alto		20 - 25	

Fuente: FAIR, G., GEYER, J. y OKUN, D. (2010). Abastecimiento de agua y remoción de aguas residuales.

#### 2.2.16.7. METODOS DE ESTIMACION DE LA POBLACION FUTURA

PITTMAN, R. (1997). El periodo de diseño, es el tiempo en el cual se considera que el sistema funcionara en forma eficiente cumpliendo los parámetros, respecto a los cuales se ha diseñado determinado sistema. Por tanto, el periodo de diseño puede definirse como el tiempo en el cual el sistema será 100% eficiente. El período de diseño, tiene factores que influyen la determinación del mismo, entre los cuales podemos citar:

- ✓ Durabilidad de los materiales
- ✓ Ampliaciones futuras
- ✓ Crecimiento o decrecimiento Poblacional
- ✓ Capacidad económica para la ejecución de obras

Los métodos más utilizados en la estimación de la población futura son:

#### **- MÉTODOS ANALÍTICOS**

Presuponen que el cálculo de la población para una región dada es ajustable a una curva matemática. Es evidente que este ajuste dependerá de las características de los valores de población censada, así como de los intervalos de tiempo en que éstos se han medido.

Dentro de los métodos analíticos tenemos el aritmético, geométrico, de la curva normal, logístico, de la ecuación de segundo grado, el exponencial, de los incrementos y de los mínimos cuadrados.

#### **- MÉTODOS COMPARATIVOS**

Son aquellos que mediante procedimientos gráficos estiman valores de población, ya sea en función de datos censales anteriores de la región o considerando los datos de poblaciones de crecimiento similar a la que se está estudiando.

#### **- MÉTODO RACIONAL**

En este caso para determinar la población, se realiza un estudio socioeconómico del lugar considerando el crecimiento vegetativo que es función de los nacimientos, defunciones, inmigraciones, emigraciones y población flotante.

El método más utilizado para el cálculo de la población futura en las zonas rurales es el analítico y con más frecuencia el de crecimiento aritmético. Este método se utiliza para el cálculo de

poblaciones bajo la consideración de que éstas van cambiando en la forma de una progresión aritmética y que se encuentran cerca del límite de saturación.

### a. Método del Crecimiento Aritmético

Consiste en considerar que el crecimiento de una población es constante, es decir asimilable a una línea recta, es decir que responde a la ecuación:

$$P_f = P_a \left(1 + \frac{rt}{1000}\right) \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.79)$$

Donde:

- ✓  $P_f$  = Población futura.
- ✓  $P_a$  = Población actual.
- ✓  $r$  = Tasa de crecimiento
- ✓  $t$  = Tiempo en años.

### b. Método de Crecimiento Geométrico

El método geométrico consiste en suponer que el crecimiento de la comunidad es en todo instante proporcional a su población, es decir que responde a la ecuación:

$$P_f = P_a (1 + r)^n \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.80)$$

Donde:

- ✓  $P_f$  = Población futura.
- ✓  $P_a$  = Población actual.
- ✓  $r$  = Tasa de crecimiento

Y para el cálculo de la tasa de crecimiento geométrico se tiene:

$$r = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{1/n} - 1 \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.81)$$

Donde:

- ✓  $P_2$ : Población actual
- ✓  $P_1$ : Población anterior
- ✓  $r$ : Factor de crecimiento geométrico
- ✓  $n$ : Periodo de años entre  $P_2$  y  $P_1$

### c. Método de Ajuste por Mínimos Cuadrados

Este procedimiento consiste en calcular la población de proyecto a partir de un ajuste de los resultados de los censos en años anteriores, a una recta o curva, de tal modo que los puntos pertenecientes a éstas, difieran lo menos posible de los datos observados.

Formulas del Método de Mínimos Cuadrados

Promedio en “X”:

$$\bullet \quad \bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.82)$$

Promedio en “Y”:

$$\bullet \quad \bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.83)$$

Suma de Cuadrados en “X”:

$$\bullet \quad SC(X) = \sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.84)$$

Suma de Cuadrados en “Y”:

$$\bullet \quad SC(Y) = \sum Y_i^2 - \frac{(\sum Y_i)^2}{n} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.85)$$

Producto de “XY”

$$\bullet \quad SP(XY) = \sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.86)$$

Formulas del método de Regresión Simple.

$$\bullet \quad \hat{Y}_1 = b_0 + b_1 X_1 \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.87)$$
$$\bullet \quad b_1 = \frac{SP(XY)}{SC(X)}$$
$$\bullet \quad bo = \bar{Y} - b_1 \bar{X}$$

Dónde:

- “Y” es la variable dependiente, y “X” es la variable independiente.
- “ $b_0$ ” es el valor de la ordenada donde la línea de regresión se intercepta con el eje Y.
- “ $b_1$ ” es el coeficiente de regresión poblacional (pendiente de la línea recta).

## 2.2.17. SISTEMA DE BOMBA - TUBERIA

### 2.2.17.1. LINEA DE IMPULSION O ADUCCION

SALDARRIAGA, J. (2007). Línea de impulsión o aducción en un sistema por bombeo, es el tramo de tubería que conduce el agua desde la estación de bombeo hasta el reservorio, mediante un dispositivo que está accionada por un motor eléctrico, la potencia eléctrica se puede calcular a partir de la potencia hidráulica generada.

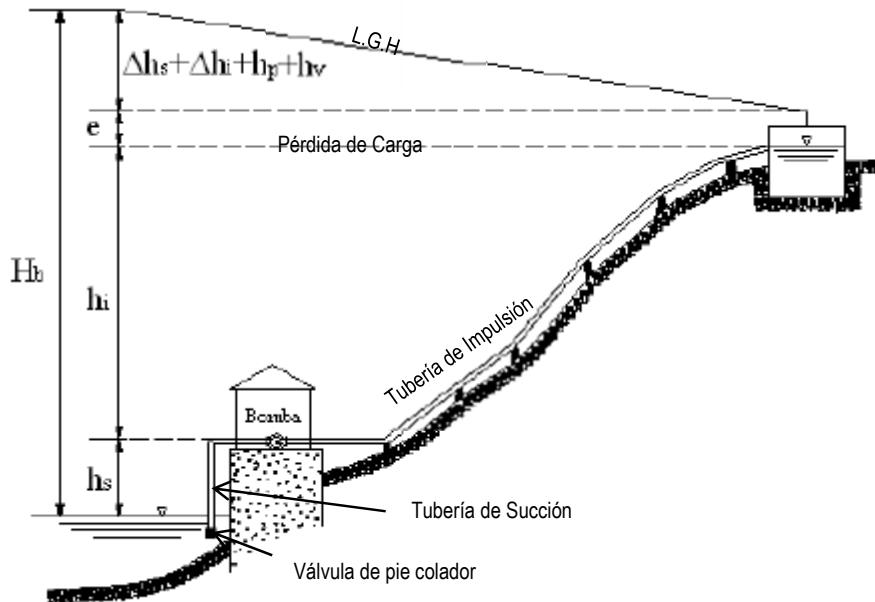
La presencia de bombas en sistemas de tuberías afecta a las líneas de energía total y piezométrica del flujo, ya que las bombas son máquinas hidráulicas cuyo objetivo es convertir energía mecánica de rotación en energía cinética o potencial del fluido dentro del sistema.

### 2.2.17.2. LA LÍNEA DE GRADIENTE HIDRÁULICA (L.G.H)

SALDARRIAGA, J. (2007). Indica la presión de agua a lo largo de la tubería bajo condiciones de operación.

La línea gradiente hidráulica se traza partiendo de la estación de bombeo con la altura dinámica total y la presión residual de llegada al reservorio.

La Figura N° 2.39. Muestra las líneas de energía total y de gradiente hidráulico o línea piezométrica para un sistema de bombeo, el cual incluye una bomba única colocada sobre una tubería simple (diámetro y rugosidad absoluta constantes).



**Figura N° 2.39.** Líneas de gradiente Hidráulico y energía total  
(Sistema por bombeo)

Fuente: SALDARRIAGA, J. (2007). Hidráulica de tuberías, abastecimiento de agua, redes y riegos.

$$Hb = hs + hi + \Delta hs + \Delta hi + \frac{V^2}{2g} + hp + hv + e \quad (\text{Ecuación N° 2.88})$$

Dónde:

- ✓  $Hb$  = Altura total de bombeo en (m)
- ✓  $hs$  = Altura geométrica de succión en (m)
- ✓  $hi$  = Altura geométrica de impulsión en (m)
- ✓  $\Delta hs$  = Altura de pérdida de carga en la tubería de succión en (m)
- ✓  $\Delta hi$  = Altura de pérdida de carga en la tubería de impulsión en (m)
- ✓  $hp$  = Altura de carga de sistemas hidroneumáticos (m)
- ✓  $v$  = Altura de grandes caudales en (m/s)
- ✓  $g$  = Altura de grandes caudales en (m/s<sup>2</sup>)
- ✓  $hv$  = Altura de grandes caudales en (m)
- ✓  $e$  = Altura (presión) mínima de llegada al tanque en (m),  $e \geq 2,00$  (m)

### **Altura total de aspiración o succión**

Representa la presión a la entrada de la bomba. Es la suma Algebraica de la altura estática de aspiración (distancia de la superficie libre del líquido al eje de la bomba), presión existente sobre el líquido y pérdidas de carga por rozamiento de la tubería de aspiración.

### **Altura total de impulsión**

Es la suma algebraica de la altura estática de impulsión, pérdida de carga en la impulsión y presión sobre el líquido en el punto de recepción.

La diferencia entre las alturas totales de impulsión y de aspiración es la carga de la bomba, es decir, la energía que ha de ser conferida al fluido.

A partir de la Figura anterior, esta última ecuación se puede reducir para obtener la siguiente expresión.

$$\Sigma H = (H_{\text{Topográfica}} + h_f + h_m)(1.10) \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.89)$$

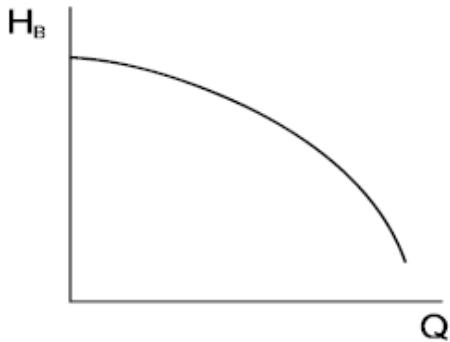
Dónde:

- ✓  $H_T$  = altura topográfica que debe ser vencida por la bomba
- ✓  $h_f$  = Perdida de cargas por fricción
- ✓  $h_m$  = Perdida de carga por accesorios

En el diagrama es claro que la bomba debe vencer la altura estática  $H_T$  más las pérdidas menores y las de fricción.

#### **2.2.17.3. BOMBAS**

SALDARRIAGA, J. (2007). Las bombas son los elementos que aportan energía para vencer las pérdidas de carga y la diferencia de alturas entre dos puntos. Fuerzan al fluido a circular en un determinado sentido. Aunque se puede obligar a que el fluido atraviese una bomba en sentido contrario, esta situación es anómala.



**Figura N° 2.40.** Altura de elevación de una bomba

Fuente: SALDARRIAGA, J. (2007). Hidráulica de tuberías, abastecimiento de agua, redes y riegos.

### TIPOS Y CARACTERÍSTICAS

Las bombas más utilizadas en los sistemas de bombeo convencionales son las centrífugas y las axiales. Estas bombas pueden impulsar un caudal mayor a medida que disminuye la resistencia o diferencia de altura que deben vencer.

Para el bombeo del agua residual, es muy importante elegir bombas que garanticen un funcionamiento adecuado con bajos costos de mantenimiento. La selección de las bombas se basa en los siguientes parámetros.

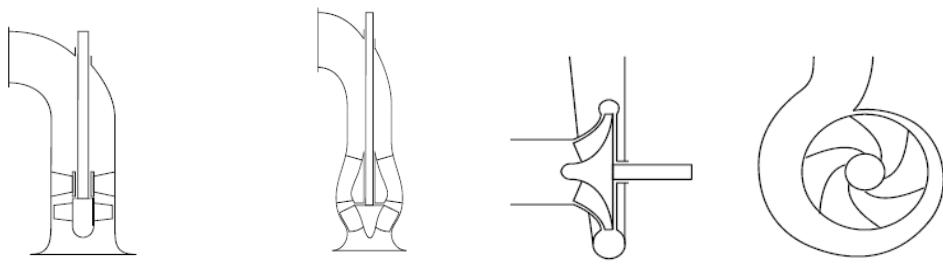
- ✓ Naturaleza del agua residual a evacuar
- ✓ Presión o carga a desarrollar (altura dinámica total)
- ✓ Caudal del efluente

El nombre común para las radiales es **bombas centrífugas**<sup>5</sup>, y así se denominarán en adelante, a pesar de que algunos autores utilizan este término para referirse a todo el conjunto de bombas rotodinámicas.

La utilización de bombas axiales está indicada cuando se necesitan grandes caudales con pequeñas alturas de elevación. Las Centrífugas, cuando se necesitan grandes alturas y pequeños caudales. Las bombas mixtas constituyen un caso intermedio.

---

<sup>5</sup> Las bombas centrífugas son recomendadas para bombear desde ríos, lagos, canales y pozos. Las bombas centrífugas, como su nombre lo indica, emplean fuerza centrífuga para elevar el agua hacia lugares más altos. Ellas también permiten la operación de los emisores en los sistemas de riego por presión.



A) Bomba axial

B) Bomba mixta

C) Bomba centrífugas

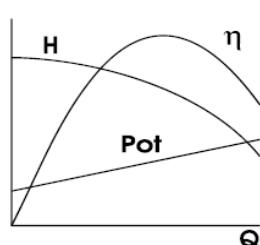
**Figura N° 2.41.** Tipos de Bombas.

Fuente: SALDARRIAGA, J. (2007). Hidráulica de tuberías, abastecimiento de agua, redes y riegos.

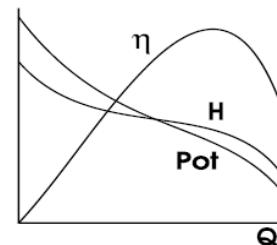
Para asegurar el funcionamiento del emisor, se hace necesario contar con una estación de bombeo equipado con bombas del tipo turbina.

#### CURVA CARACTERÍSTICA DE UN SISTEMA BOMBA-TUBERÍA

La altura de elevación de una bomba rotodinámica depende fundamentalmente del caudal que circula por ella, lo que quiere decir que va a estar definida por su acoplamiento con el sistema. Si se considera la bomba de forma aislada, la curva que representa la altura proporcionada por la bomba en función del caudal se llama curva característica.



a) Curva característica de una  
Bomba centrífuga



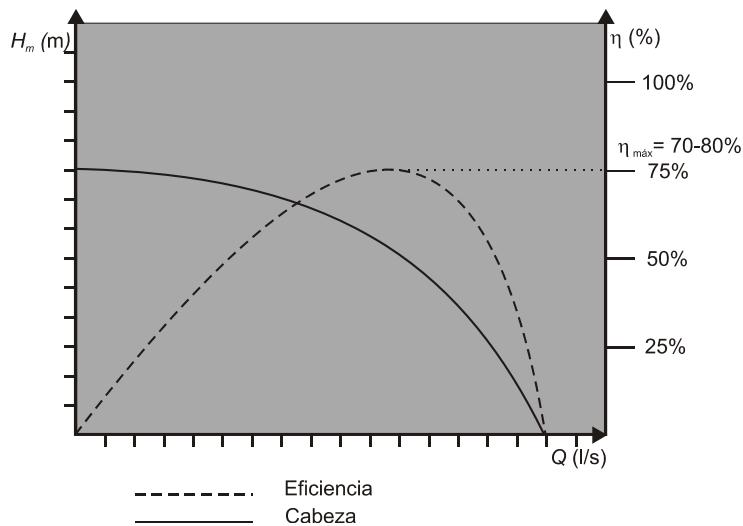
b) Curva característica de una  
Bomba axial

**Figura N° 2.42.** Curvas Características de las bombas.

Fuente: SALDARRIAGA, J. (2007). Hidráulica de tuberías, abastecimiento de agua, redes y riegos.

La **Figura a)** muestra una curva característica típica de una bomba centrífuga, y la **Figura b)** la de una bomba axial. La pendiente de

ambas curvas es negativa, lo que quiere decir que cuanto mayor sea la altura que el sistema exija, menor es el caudal que la bomba puede proporcionar. Las curvas de altura total contra caudal y contra eficiencia son suministradas por los fabricantes de las bombas. La primera de éstas ( $Q$  vs.  $H_m$ ) se conoce como la curva de la bomba.



**Figura N° 2.43. Eficiencia vs Caudal**

Fuente: SALDARRIAGA, J. (2007). Hidráulica de tuberías, abastecimiento de agua, redes y riegos.

La potencia consumida, es decir, la suministrada por la bomba al fluido, es:

$$Pot_H = \frac{1}{n} \gamma * Q * H_m \quad (\text{Ecuación N° 2.90})$$

Dónde:

- $Pot_H$ : Potencia Hidráulica en Kg.m/s
- $\gamma$ : Peso específico del fluido en Kg/m<sup>3</sup>, ( $\gamma = \rho \cdot g$ )
- $Q$ : Gasto en m<sup>3</sup>/s
- $H$ : es la energía total con respecto al plano de referencia en m

O también se puede realizar mediante esta fórmula:

$$P = \frac{Q H}{75 n_B} \quad (\text{Ecuación N° 2.91})$$

Dónde:

- P: Potencia Hidráulica en Kg.m/s
- Q: Caudal o Gasto en l/s
- H: es la energía total con respecto al plano de referencia en m.
- $n_B = 0.75$  (eficiencia del grupo de bombeo)

#### 2.2.17.4. CAUDAL DE BOMBEO

ROCHA, A. (2007). El caudal de bombeo, se debe determinar bajo los siguientes criterios:

- ✓ Si el sistema tiene tanque de almacenamiento, el caudal de bombeo deberá estimarse en función del caudal máximo diario y el número de horas de bombeo.
- ✓ Si el bombeo se realiza directamente a la red de distribución, el caudal de bombeo debe ser igual al caudal máximo diario ( $Q_{max,d}$ ).

La determinación del caudal de bombeo, dependerá del rendimiento de la fuente y las limitaciones de energía:

$$Q_b = Q_{max,d} * \frac{24}{N} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.92)$$

Dónde:

- $Q_b$  = Caudal de bombeo en l/s
- $Q_{max,d}$  = Caudal máximo diario en l/s
- N = Número de horas de bombeo

El número de horas de bombeo y el número de operaciones (arranques) en un día, dependerá de los siguientes factores:

- ✓ Rendimiento de la fuente
- ✓ Consumo de agua
- ✓ Limitaciones de energía
- ✓ Costo

Por razones económicas y operativas, se aconseja que el período de bombeo en un día deba ser menor a 12 horas, que podrán ser

distribuidas en una o más operaciones (arranques) de bombeo diario.

#### 2.2.17.5. DIAMETRO DE LA TUBERÍA DE SUCCIÓN

ROCHA, A. (2007). El empleo de la tubería de succión, solo se realizará cuando se utilicen bombas centrífugas y axiales con motores externos no sumergibles.

Para el diseño del diámetro de succión deben considerarse los siguientes criterios:

- ✓ El diámetro de la tubería de succión debe ser un diámetro comercial mayor que el diámetro de impulsión. Las bombas vienen diseñadas para el diámetro de succión recomendado.
- ✓ La velocidad en la tubería de succión debe estar entre 0,60 m/s y 0,90 m/s.
- ✓ El diámetro de la tubería de succión puede calcularse con la siguiente expresión:

$$d_s = 1.1284 * \sqrt{\frac{Q_b}{v}} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.93)$$

Dónde:

- $d_s$  = Diámetro de la tubería de succión en m
- $Q_b$  = Caudal de bombeo en m<sup>3</sup>/s
- $v$  = Velocidad media de succión en m/s

#### 2.2.17.6. DIAMETRO DE LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN

ROCHA, A. (2007). Para el cálculo del diámetro económico en instalaciones que son operadas continuamente, debe emplearse la fórmula de Bresse:

$$D = k * \sqrt{Q_b} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.94)$$

Dónde:

- $D$  = Diámetro económico en m
- $K$  = Coeficiente,  $k = 1,00$  a  $4,40$
- $Q_b$  = Caudal de bombeo en m<sup>3</sup>/s

Para el cálculo del diámetro económico en instalaciones que no son operadas continuamente, debe emplearse la siguiente fórmula:

$$D = 1.30 * x^{1/4} * \sqrt{Q_b} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 2.95)$$

Dónde:

- $D$  = Diámetro económico en m
- $x = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de horas de bombeo}}{24}$
- $Q_b$  = Caudal de bombeo en m<sup>3</sup>/s

En el diseño y cálculo de tuberías de impulsión se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- ✓ El diámetro de la tubería de impulsión, para distancias largas, debe ser elegido sobre la base de una evaluación económica que compare diámetros, potencia del motor, consumo de energía y costos.
- ✓ El diámetro de la tubería de impulsión, para distancias cortas, puede determinarse en base a la velocidad, que deberá estar entre un rango de 1,50 m/s a 2,0 m/s.
- ✓ La tubería de impulsión no debe ser diseñada con cambios bruscos de dirección de flujo.
- ✓ Deben instalarse los dispositivos necesarios para evitar el contraflujo del agua, cuando la bomba deja de trabajar o en caso de que exista falla eléctrica.
- ✓ Debe considerarse el fenómeno de golpe de ariete y en consecuencia dotar al sistema de dispositivos que aseguren los riesgos debidos a este efecto.
- ✓ A la salida de la bomba debe proyectarse una válvula de retención y una de compuerta. Se debe considerar la instalación de uniones flexibles de acuerdo a la importancia del sistema, a fin de mitigar los efectos de vibración.

- ✓ En todo cambio de dirección deben considerarse elementos de anclaje y sujeción para la tubería.

### **2.2.18. DISEÑO DE RESERVORIO O REGULACION**

PITTMAN, R. (1997). Son los que regulan la diferencia de volumen que se produce entre el ingreso de agua al reservorio (teóricamente constante) y la salida de agua, constituida principalmente por la demanda horaria, la cual es variable durante las horas del día.

La función principal es almacenar agua cuando el suministro es menor que el consumo y entregar el déficit cuando el consumo supera al suministro; y suministrar presión adecuada a la red de distribución para satisfacer la demanda de agua.

#### **2.2.18.1. CAPACIDAD DEL RESERVORIO**

Para determinar la capacidad del reservorio, es necesario considerar la compensación de las variaciones horarias de consumo y los eventuales desperfectos en la línea de conducción.

El reservorio debe permitir que la demanda máxima que se produce en el consumo sea satisfecha a cabalidad, al igual que cualquier variación en el consumo registrada en las 24 horas del día.

#### **2.2.18.2. TIPOS DE RESERVORIO**

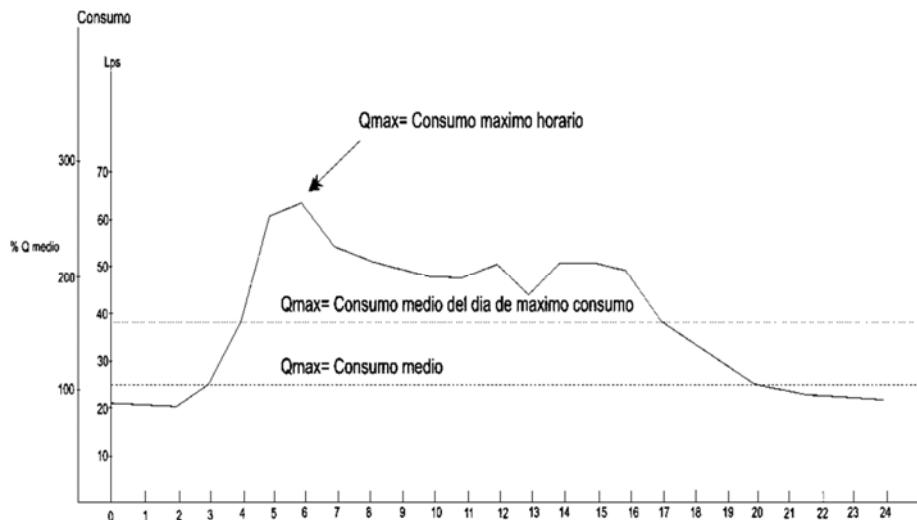
Los reservorios de almacenamiento pueden ser elevados, apoyados y enterrados. Los elevados que generalmente tienen forma esférica, cilíndrica y de paralelepípedo, son construidos sobre torres, columnas, pilotes, etc.; los apoyados que principalmente tienen forma rectangular y circular, son construidos directamente sobre la superficie del suelo; y los enterrados, de forma rectangular, son construidos por debajo de la superficie del suelo.

#### **2.2.18.3. CALCULO DE LA CAPACIDAD DEL RESERVORIO**

Para el cálculo del volumen de almacenamiento se utilizan métodos gráficos y analíticos.

Los primeros se basan en la determinación de la "curva de masa" o de "consumo integral", considerando los consumos acumulados;

para los métodos analíticos, se debe disponer de los datos de consumo por horas y del caudal disponible de la fuente, que por lo general es equivalente al consumo promedio diario.



**Figura N° 2.44.** Curva de variaciones horarias del día de máximo consumo

Fuente: PITTMAN, R. (1997). Agua potable para poblaciones rurales. Lima, Perú.

#### 2.2.19. MARCO NORMATIVO

FONAM, (2013). Frente a los inminentes efectos del cambio climático en nuestro país que agravan las condiciones actuales de vulnerabilidad y ponen en riesgo la seguridad del abastecimiento de agua potable principalmente en Lima, la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) planteó como prioridad de la agenda pendiente en el Sector, la necesidad de implementar fuentes alternativas de agua para satisfacer la demanda del recurso hídrico para el consumo poblacional, agricultura, minería, riego de áreas verdes, entre otros.

De este modo, la SUNASS expresa su preocupación en este tema y su intención de promover su discusión y análisis por parte de los diferentes actores involucrados en la reglamentación del uso del agua residual para el riego de parques y jardines, tales como la Autoridad Nacional del Agua, las Municipalidades, el Ministerio de Vivienda,

Construcción y Saneamiento, el Ministerio del Ambiente, las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento, los usuarios, entre otros.

#### **2.2.19.1. MARCO LEGAL NACIONAL**

1. Ley General de Aguas, 1969. Decreto Ley N° 17752, en su artículo 1º señala que, las aguas, sin excepción alguna, son de propiedad del Estado, y su dominio es inalienable e imprescriptible. No hay propiedad privada de las aguas ni derechos adquiridos sobre ellas. El uso justificado y racional del agua, sólo puede ser otorgado en armonía con el interés social y el desarrollo del país.
2. Ley General de Aguas, 1983. Artículo 81º.-Para los efectos de la aplicación del presente Reglamento, la calidad de los cuerpos de agua en general ya sea terrestre o marítima del país se clasificará respecto a sus usos de la siguiente manera:

**Cuadro N° 2.38. Clasificación de las Aguas Residuales.**

Clase	Características
I	Aguas de abastecimiento doméstico con simple desinfección
II	Aguas de abastecimiento doméstico con tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla y coagulación, sedimentación, filtración y cloración, aprobados por el Ministerio de Salud
III	Agua para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales.
IV	Agua de zonas recreativas de contacto primario (baños y afines).
V	Agua de zona de pesca de mariscos bivalvos.
VI	Agua de zona de preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial

Fuente: Ley General de Aguas Decreto Ley 17752. El tipo de agua a considerar en el proyecto es la Clase IV

3. Autoridad Nacional de Agua (ANA), 2005. Art. 79º, autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marina, previa opinión técnica favorable de las autoridades en materia ambiental y en materia de salud sobre el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental de agua (ECA – agua) y límites máximo permisibles (LMP) de los sectores. Queda

prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización.

4. MINAM, 2008. Decreto Supremo 002-2008-MINAM, Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad para Agua.

**Cuadro Nº 2.39.** Límite Máximo Permisible para cada tipo de agua.

Parámetro	Unidad	Uso de Recurso de Agua					
		I	II	III	IV	V	VI
<b>LÍMITES BACTERIOLÓGICOS</b>							
Coliformes totales (1)	NMP/100 ml	8.8	20000	5000	5000	1000	2000 0
Coliformes fecales (1)	NMP/100 ml	0.0	4000	1000	1000	200	4000
<b>LÍMITES DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DISUELTO</b>							
Oxígeno disuelto	mg/L	3	3	3	3	5	4
D.B.O. (2)	mg/L	5	5	15	10	10	10
<b>LÍMITES DE SUSTANCIAS POTENCIALMENTE PELIGROSAS</b>							
Selenio	mg/L	0.01	0.01	0.05	0.05	0.005	0.01
Mercurio	mg/L	0.002	0.002	0.01		0.000	0.000
P.C.B	mg/L	0.001	0.001	(3)		0.002	0.002
Esteres Estalatos	mg/L	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cadmio	mg/L	0.01	0.01	0.05		0.000	0.004
Cromo	mg/L	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Niquel	mg/L	0.002	0.002	(3)	3.0	0.002	(4)
Cobre	mg/L	1.0	1.0	0.50		0.01	(5)
Plomo	mg/L	0.05	0.05	0.10		0.01	0.03
Zinc		5.0	5.0	25.0		0.02	(4)
Cianuros (CN)		0.2	0.2	(3)	1.0	0.005	0.005
Fenoles		0.000 5	0.000 1	(3)		0.001	0.1
Sulfuros		0.001	0.002	(3)		0.002	0.002
Arsénico		0.1	0.1	0.2		0.01	0.05
Nitratos (N)		0.01	0.01	0.1		N.A	N.A
Pesticidas		(6)	(6)	(6)		(6)	(6)
<b>LÍMITES DE SUSTANCIAS O PARÁMETROS POTENCIALMENTE PERJUDICIALES</b>							
M.E.H		1.5	1.5	0.5	0.2		
S.A.A.M		0.5	0.5	1.0	0.5		
C.A.E		1.5	1.5	5.0	5.0		
C.C.E		0.3	0.3	1.0	1.0		

Fuente: Fuente: MINAM, 2008.

- (1): Entendidos como valor máximo en 80% de 5 ó más muestras mensuales.
  - (2): Demanda Bioquímica de Oxígeno, 5 días, 20°.
  - (3): Valores a ser determinados. En caso de sospechar su presencia, se aplicará los valores de la columna V provisionalmente.
  - (4): Pruebas de 96 horas multiplicadas.
  - (5): Pruebas de 96 horas LC50 multiplicadas por 0.1.
  - (6): Para cada uso se aplicará como límite los criterios de calidad de aguas establecidas por el Environmental Protection Agency de los Estados Unidos de Norteamérica.
5. Ley de Recursos Hídricos, 2009. Regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta.
  6. Decreto Supremo No 023-2009 - MINAM, cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles de Efluentes de PTAR.

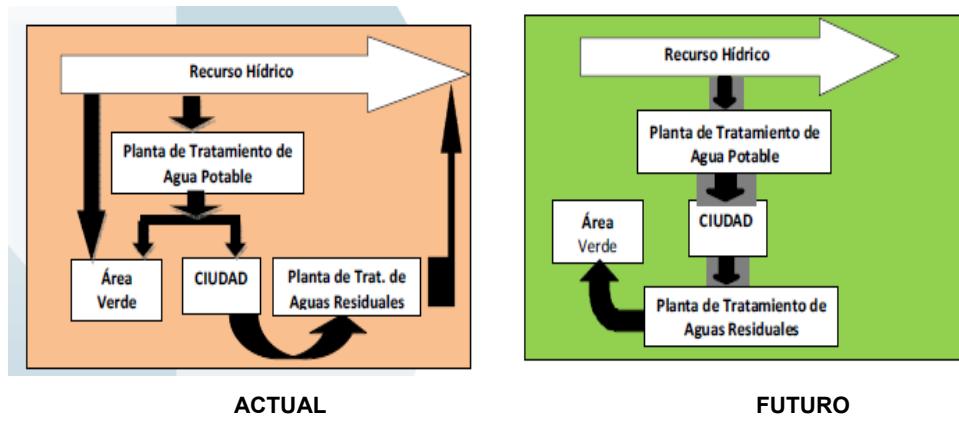
**Cuadro Nº 2.40. LMP de Efluentes de PTAR**

Parámetros	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua
Aceites y grasas	mg/l	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100 ml	10 000
DBO	mg/l	100
DQO	mg/l	200
pH	Unidad	6.5 – 8.5
Solidos Totales Suspensidos	mg/l	150
Temperatura	°C	< 35

Fuente: MINAM, 2009.

7. Ley General del Ambiente, 2005. Ley Nº 28611 en su artículo 120º señala en su inciso 2 que, el estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fines de su reutilización, considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria para su rehuso, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizarán.

8. Ley General de Agua, 2010. Art. 82º, autoriza el reúso del agua residual tratada, según el fin para el que se destine la misma, en coordinación con la autoridad sectorial competente y, cuando corresponda, con la Autoridad Ambiental Nacional.
  
9. SUNASS, 2011. Decreto Ley N° 25965, Mediante RCD N° 033-2011-SUNASS-CD, publicada el 15.08.2011, se aprobó el Proyecto de Resolución que contiene la propuesta de modificación del Reglamento de Calidad de la Prestación de Servicios de Saneamiento: Las Unidades de uso destinadas al riego de parques y jardines público varíen de la Categoría Estatal a la Categoría comercial, para efectos de recibir comentarios de los interesados.



**Figura N° 2.45. Manejo del Agua Residual**

Fuente: SUNASS. 2011.

10. RNE, 2012. OS: 070 Redes de aguas Residuales, OS: 080 Estaciones de bombeo de aguas residuales y OS.090 para las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, que norma el desarrollo de proyectos de tratamiento de aguas residuales, en su numeral 4.3.11 establece que en **ningún caso se permitirá la descarga de aguas residuales sin tratamiento a un cuerpo receptor, aun cuando los estudios del cuerpo receptor indiquen que no es necesario el tratamiento**. Señala que el tratamiento mínimo que deberán recibir las aguas residuales antes de su descarga deberá ser el tratamiento primario. Es decir, un nivel de

tratamiento capaz de remover la materia orgánica sedimentable, entre los que se encuentra el tanque Imhoff, el tanque séptico, el tanque o laguna de sedimentación y las lagunas en general, aunque estas últimas se encuentren dentro de los procesos de tratamiento secundario, que es un objetivo adicional al alcanzado mediante el tratamiento primario.

**Cuadro N° 2.41. Cuadro de Normas Legales de Aguas y Efluentes Líquidos.**

CÓD.	FECHA DE PUBLICACION	TIPO DE NORMA	ORGANO EMISOR	TITULO	DISPOSITIVO MOD/VIG
01	01/12/1960	Decreto Supremo N° 28-60-SAPL	Ministerio de Fomento	Reglamento de Desagües Industriales	VIG
02	12/01/1966	Decreto Supremo N° 2-66-DGS	Ministerio de Salud	Reglamento de Normas Sanitarias para diseño de tanques sépticos y pozos de percolación	VIG
03	17/03/1997	Resolución Directoral N° 008-97-EM/DGAA	Ministerio de Energía y Minas	Aprueban niveles máximos permisibles para efluentes líquidos producto de las actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.	VIG
04	12/06/2008	Resolución de Intendencia N° 470-2008 INRENA-IRH	INRENA	Reglamento de Procedimientos para el otorgamiento de Licencias de Uso de Agua	VIG
05	31/07/2008	Decreto Supremo 002-2008-MINAM	Ministerio del Ambiente	Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad para Agua	VIG
06	31/03/2009	Ley N° 29338	Congreso de la República	Ley de Recursos Hídricos	VIG
07	02/06/2009	Resolución Jefatural N° 0291 2009-ANA	Autoridad Nacional del Agua	Dictan disposiciones referidas al otorgamiento de autorizaciones de vertimientos y de reúsos de aguas Residuales tratadas	VIG
08	01/07/2009	Resolución Jefatural N° 351-2009-ANA	Autoridad Nacional del Agua	Modifican R.J. N° 0291-2009-ANA referente al otorgamiento de autorizaciones de vertimientos y de reúsos de aguas residuales tratadas	VIG
09	19/12/2009	Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM	Ministerio del Ambiente	Disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua	VIG
10	16/01/2010	Resolución Jefatural N° 014- 2010-ANA	Autoridad Nacional del Agua	Se establece el valor de la retribución económica por vertimiento de agua residual tratada para el año 2010	VIG

11	23/03/2010	Decreto Supremo 001-2010-AG	Ministerio de Agricultura	Reglamento de la Ley de los Recursos Hídricos	VIG
12	05/05/2010	Resolución Jefatural N° 274-2010-ANA	Autoridad Nacional del Agua	Dictan medidas para la implementación del Programa de Adecuación de Vertimientos y Reuso de Agua Residual.	VIG
13	08/07/2010	Decreto Supremo N° 006- 2010-AG	Ministerio de Agricultura	Se aprueba el Reglamento de organización y funciones de la Autoridad Nacional del Agua – ANA	VIG
14	17/07/2010	Decreto Supremo N° 007- 2010-AG	Ministerio de Agricultura	Declaran de interés nacional la protección de la calidad del agua en las fuentes naturales y sus bienes asociados.	VIG
15	11/09/2010	Resolución Jefatural N° 575 2010-ANA	Autoridad Nacional del Agua	Aprueban "Lineamientos Generales para la Creación de Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca"	VIG
16	14/09/2010	Decreto Supremo N° 012- 2010-AG	Ministerio de Agricultura	Aprueban el Texto Único de Procedimientos Administrativos de la Autoridad Nacional del Agua - ANA	VIG
17	15/09/2010	Resolución Jefatural N° 579- 2010-ANA	Autoridad Nacional del Agua	Aprueban Reglamento de Procedimientos Administrativos para el Otorgamiento de Derechos de Uso de Agua	VIG
18	06/11/2010	Resolución Ministerial N° 176 2010- VIVIENDA	Ministerio de Vivienda	Aprueban los Lineamientos de Política para la promoción del tratamiento para el reuso de las aguas residuales domésticas y municipales en el riego de áreas verdes urbanas y periurbanas	REF
19	16/11/2010	Resolución Ministerial N° 225 2010- MINAM	Ministerio del Ambiente	Aprueban el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) 2010- 2011	REF

Fuente: Elaboración Propia.

## 2.3. MARCO CONCEPTUAL

### 2.3.1. DEFINICIONES CONCEPTUALES

RNE, (2012). Las definiciones de las aguas residuales están definidas por las Norma OS.90.

**A. AGUAS NEGRAS.** Agua contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de vertidos humanos, orgánicos o animales su importancia es tal manera que requiere de un sistema para poder ser desalojado y tratamiento.

- B. AGUAS GRISES.** Básicamente son aguas con jabón, algunos residuos grasos de la cocina y detergentes biodegradables. Es importante señalar que las aguas grises pueden transformarse en aguas negras si son retenidas sin oxigenar en un tiempo corto.
- C. AGUAS RESIDUALES.** Fracción liquida que está constituida esencialmente por aguas de abastecimiento y que después de haber sido contaminada por los diversos usos a que ha sido sometida son vertidas a un cuerpo receptor.
- D. AGUAS SERVIDAS.** Provenientes de uso doméstico como pueden ser higiene personal, limpieza y lavado de cualquier índole.
- E. AGUAS DE INFILTRACION.** Son derivadas del subsuelo, y estas pueden ser penetradas a la red de alcantarillado a través de una tubería en malas condiciones, juntas de tuberías, y por las paredes de los pozos de visita.
- F. AFLUENTE O TRIBUTARIO.** Agua que entra a una unidad de tratamiento, o inicia una etapa, o el total de un proceso de tratamiento.
- G. CAUDAL.** Es la cantidad de agua residual que pasa por una sección determinada en una unidad de tiempo.
- H. EFLUENTE.** Liquido que sale de una planta de tratamiento de aguas residuales.
- I. LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (LMP).** Los LMP miden la concentración de elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en las emisiones, efluentes o descargas generadas por una actividad productiva (minería, hidrocarburos, electricidad, etc.), que al exceder causa daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

- J. PARÁMETROS DE CALIDAD.** Compuestos, elementos, sustancias, indicadores y propiedades físicas, químicas y biológicas de interés para la determinación de la calidad de agua.
- K. PATÓGENO.** Un patógeno o agente biológico patógeno es aquel elemento o medio capaz de producir algún tipo de enfermedad o daño en el cuerpo de un animal, un ser humano o un vegetal, cuyas condiciones estén predispuestas a las ocasiones mencionadas.
- L. PLANTA DE TRATAMIENTO.** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de aguas residuales.
- M. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS O MUNICIPALES (PTAR).** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales Domésticas o Municipales.
- N. PROCESO BIOLÓGICO.** Asimilación por bacterias y otros microorganismos de la materia orgánica del desecho, para su estabilización.
- O. REUSO DE AGUAS RESIDUALES.** Utilización de aguas residuales debidamente tratadas para un propósito específico.
- P. SÓLIDOS.** Incluye toda materia sólida contenida en los materiales líquidos y se clasifican: en sólidos disueltos, en suspensión y totales.
- Q. TRATAMIENTO BIOLÓGICO.** Procesos de tratamiento que intensifica la acción de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente.
- R. TRATAMIENTO CONVENCIONAL.** Proceso de tratamiento bien conocido y utilizado en la práctica. Generalmente se refiere a procesos de tratamiento primario o secundario y frecuentemente se incluye la desinfección mediante cloración. Se excluyen los procesos de tratamiento terciario o avanzado.
- S. VERTIMIENTO.** Descarga de cualquier cantidad de material o sustancias ofensivas a la salud pública.

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. DISEÑO METODOLOGICO**

##### **3.1.1. TIPO DE INVESTIGACION**

La investigación a desarrollarse es de tipo descriptivo y experimental debido a que están planeadas para realizarse en un ambiente específico de pruebas.

En el cual los resultados y conclusiones obtenidos, se enmarcan con la contrastación entre el problema e hipótesis planteados.

##### **3.1.2. NIVEL DE INVESTIGACION**

La presente investigación debida a sus características de estudio se considera descriptiva y explicativa; donde se intenta proponer una solución al vertido final de las aguas servidas domésticas. Esto implica explorar, escribir y proponer alternativas de cambio, y no necesariamente ejecutar la propuesta.

Solo se llegará hasta su diseño para cubrir las necesidades de la población universitaria, que permitan no solo incrementar las zonas con sombra, sino crear espacios agradables para el estudio y la enseñanza, luego la universidad decidirá si se ejecutará o no el proyecto.

### **3.1.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION**

El diseño de investigación realizada es de corte transversal, basada en características en el que intervienen los efectos de las variables dependientes e independientes, sobre el problema planteado.

### **3.1.4. POBLACION Y MUESTRA**

#### **✓ POBLACION**

La población del presente trabajo de tesis, está conformada por todas aquellas aguas residuales domésticas (afluentes) generados en la ciudad universitaria Los Módulos, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. (Estudiantes, Docentes y Administrativos).

#### **✓ MUESTRA**

Las muestras serán las aguas residuales (afluentes) de los tributarios (baños, laboratorios).

### **3.1.5. UNIDAD U OBJETO DE LA INVESTIGACION**

Objeto de la investigación es proponer un Sistema de tratamiento mediante humedales artificiales, con el fin de obtener un efluente final que cumplan con los Límites Máximos Permisibles y puedan utilizarse como reúso en las áreas verdes de la Ciudad Universitaria Los Módulos, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

### **3.1.6. TECNICAS DE RECOLECCION DE DATOS**

Las técnicas e instrumentos de recolección de datos que se usaron durante la investigación de la tesis son los siguientes:

**Cuadro Nº 3.1. Técnicas de Recolección de datos.**

Nº	TÉCNICA	INSTRUMENTO	APLICACIÓN
1	Análisis documental	Fichas de trabajo, registros estructurados.	- Recolección de datos de fuentes primarias, tales como boletín estadístico, registros climatológicos de Senamhi, registro de consumo de gasto de agua potable en la Ciudad Universitaria Los Módulos,

			Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. - Recolección de datos de fuentes primarias, tales como Tesis, revistas, folletos.
2	Observación de campo	Registros o fichas de observación, lista de verificación, cámaras fotográficas, microscopios.	- Visita de las instalaciones sanitarias, ubicación de buzones para la toma de muestras de aguas residuales, condiciones topográficas del lugar, posible ubicación de la PTAR, Reservorio, cuantificación de las áreas verdes de la ciudad universitaria.
3	Entrevista	Ficha de entrevista	- Se realizó contacto directo con los trabajadores administrativos, personal técnico con preguntas abiertas de la situación actual del uso de agua en los diferentes consumos.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.7. TECNICA DE ANALISIS DE DATOS

Una vez obtenidos los datos documentales, de campo y la entrevista, se procedió al procesamiento de los mismos con la finalidad de obtener el diseño definitivo de la PTAR respetando los parámetros y normas del RNE (OS.070 Redes de aguas residuales, OS.080 Estaciones de Bombeo de Aguas Residuales y OS.090 Plantas de tratamiento de aguas residuales), ANA, SUNASS y MINAM, así como también el diseño hidráulico del sistema de bombeo y la línea de Impulsión, diseño del reservorio para el almacenamiento de las aguas tratadas para el regadío de las áreas verdes.

Para la etapa del procesamiento de datos se requiere determinar la topología de la red y seguir una secuencia de cálculo en la cual se encuentran inmersos los cálculos ya definidos para el dimensionamiento de la PTAR según el RNE y otros autores, mientras para la línea de impulsión mediante las fórmulas de Darcy – Weisbach

y los coeficientes de fricción con la fórmula de White – Colebrook, estas fórmulas ya señalados en el capítulo II.

### 3.1.8. DEFINICIONES OPERACIONALES

#### 3.1.8.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

**Cuadro N° 3.2.** Operacionalización de la variable independiente

<b>Variable Independiente:</b> Planta de Tratamiento de Aguas Residuales mediante humedales artificiales.		
<b>Definición conceptual</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>
El tratamiento de aguas residuales consiste básicamente en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua y la obtención de un efluente tratado.	Tipo de tratamiento	Primario y secundario (Área Superficial)
	Composición Física, Química y Biológico de las aguas residuales.	SST, DBO, DQO y Coliformes.
	Aguas Residuales.	Caudal.

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.1.8.2. VARIABLE DEPENDIENTE

**Cuadro N° 3.3.** Operacionalización de la variable dependiente

<b>Variable dependiente:</b> Uso eficiente del recurso para el regadío de las áreas verdes.		
<b>Definición conceptual</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>
Recuperación y uso del recurso de las aguas servidas.	Calidad del efluente final.	Modalidad de uso del recurso en las áreas verdes (Has)

Fuente: Elaboración propia.

## **CAPITULO IV**

### **PRESENTACION DE RESULTADOS**

#### **4.1. DESCRIPCION DE LA CARACTERISTICAS DE LA ZONA TRABAJO DE INVESTIGACION**

##### **4.1.1. UBICACIÓN.**

###### **Ubicación Política:**

La Ciudad Universitaria Los Módulos, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga se encuentra ubicada en el distrito de Ayacucho, Provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho.

###### **Ubicación Geográfica:**

- Latitud : 13° 08' S
- Longitud : 74° 79" W
- Altitud : 2760 msnm

##### **4.1.2. LOCALIZACION Y TOPOGRAFIA DEL AREA DE ESTUDIO**

La ciudad Universitaria Los Módulos, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, se encuentra ubicada en la zona norte de la Ciudad de Ayacucho y cuenta con un área de 69.88 Has. Por su extensión se constituye un área importante dentro de la misma ciudad de Ayacucho, y tratándose de un área especializada, ha de tener consideraciones especiales en cuanto se refiere a su proceso de crecimiento y planeamiento.

La ciudad universitaria Los módulos, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, se encuentran en crecimiento constante debido a la construcción de nuevos pabellones de aulas, laboratorios y demás edificaciones que ofrecerán diversos servicios tanto a la comunidad universitaria como a la comunidad ayacuchana en general. Antes de acometer en el Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, es necesario contar con un levantamiento topográfico de la zona objeto de estudio. Para el presente trabajo se realizó el levantamiento topográfico de la Ciudad Universitaria Los Módulos, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga con curvas de nivel a cada metro, de donde se obtendrán directamente los datos de cotas topográficas.



**Figura N° 4.1.** Vista Aerea de la Ciudad Universitaria Los Módulos, de la Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga.

Fuente: Google Earth – Zonificacion de la Ciudad Universitaria UNSCH (Ayacucho)

La Figura N° 4.1 muestra una vista aérea de la Ciudad Universitaria Los Módulos, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en donde se puede apreciar además del crecimiento de la misma conforma al Plan de Expansión de la Ciudad Universitaria, el pésimo tratamiento paisajístico y de áreas verdes.

#### 4.1.3. REGISTROS CLIMATOLOGICOS.

Los registros climáticos se obtuvieron de la estación Meteorológica “Pampa del Arco”, realizada por el Ing. Oscar Roque Siguas en el año 2010, publicada en la Oficina General de Investigación e innovación<sup>1</sup>.

**Cuadro N° 4.1. Registro de Temperaturas Máxima Absolutas Diarias (°C)**

ESTACION	: Pampa del Arco	DISTRITO	: Ayacucho	ALTITUD	: 2772 msnm
CODIGO	: 01	PROVINCIA	: Huamanga	LATITUD	: 13°08'00"
AÑO	: 2010	DEPARTAMENTO	: Ayacucho	LONGITUD	: 74°13'00"

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	27.00	26.80	26.00	26.50	26.30	26.30	26.30	29.00	27.50	29.60	29.20	29.00
1996	25.50	25.30	22.20	23.00	22.00	24.50	26.30	25.30	24.50	24.00	26.00	25.00
1997	21.99	22.90	20.20	20.60	19.50	20.00	20.60	23.60	22.40	26.80	23.00	22.50
1998	26.30	24.50	21.40	22.00	21.60	26.50	24.70	21.60	22.80	23.20	24.00	23.50
1999	22.50	23.50	23.40	23.60	21.00	22.00	22.60	20.40	21.60	20.50	23.20	21.00
2001	25.20	23.50	22.90	22.80	22.00	23.40	23.50	21.00	22.20	20.80	24.20	22.20
2001	24.60	26.90	24.60	24.50	23.00	24.60	24.50	20.00	21.80	23.50	23.50	23.00
2002	23.50	22.00	25.60	22.30	22.00	23.10	23.50	20.00	23.50	21.50	22.00	22.50
2003	25.50	23.60	24.30	22.40	21.90	21.50	22.50	20.50	22.50	23.50	24.00	22.00
2004	24.40	24.10	23.80	24.40	24.60	21.60	21.80	23.20	20.20	28.20	22.00	21.20
2005	23.60	25.30	22.60	22.00	22.40	22.40	20.80	22.00	22.60	22.40	24.00	23.20
2006	24.50	24.80	23.00	25.00	23.30	24.00	25.00	24.50	26.00	27.00	26.00	27.00
2007	25.50	26.00	23.00	24.00	24.00	23.00	23.00	25.20	25.00	25.50	26.70	26.30
2008	23.20	25.00	26.20	24.20	24.00	23.00	22.70	24.50	25.00	26.00	27.20	27.60
2009	25.00	24.20	21.90	23.50	24.00	22.90	21.90	24.00	25.80	27.60	28.00	27.20
2010	23.30	26.00	25.00	26.00	25.20	23.10	24.00	25.10	28.00	26.50	27.40	24.00
2011	26.20	22.80	22.10	23.70	24.70	23.70	23.00	25.10	26.60	26.50	28.50	27.20
2012	25.30	26.20	23.50	24.50	25.60	23.80	22.20	24.20	26.00	25.50	26.70	27.50
<b>MEDIA</b>	<b>24.62</b>	<b>24.63</b>	<b>23.43</b>	<b>23.61</b>	<b>23.17</b>	<b>23.30</b>	<b>23.27</b>	<b>23.29</b>	<b>24.11</b>	<b>24.92</b>	<b>25.31</b>	<b>24.55</b>

Fuente: Estación Meteorológica Pampa del Arco - Ing. Oscar Roque Siguas

**Cuadro N° 4.2. Registro de Temperaturas Mínimas Absolutas Diarias (°C)**

ESTACION	: Pampa del Arco	DISTRITO	: Ayacucho	ALTITUD	: 2772 msnm
CODIGO	: 01	PROVINCIA	: Huamanga	LATITUD	: 13°08'00"
AÑO	: 2010	DEPARTAMENTO	: Ayacucho	LONGITUD	: 74°13'00"

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	10.00	10.20	9.00	9.50	6.20	3.00	3.50	5.00	9.00	9.50	8.80	9.50
1996	9.50	10.00	9.50	9.00	6.30	2.50	3.00	5.50	8.60	8.80	9.50	9.00
1997	10.50	9.80	10.00	9.20	6.00	2.60	3.20	5.60	8.00	8.60	8.50	9.80
1998	10.20	9.00	11.20	8.80	5.80	2.30	2.80	4.50	7.50	9.80	10.50	10.00

<sup>1</sup> Evidencias del cambio climático en la localidad de Ayacucho – 2009 y Caracterización de las precipitaciones y la evapotranspiración potencial (ETP) en la localidad de Ayacucho. Oficina de Investigación. U.N.S.C.H (2010)

1999	10.30	9.00	11.50	10.20	7.20	2.50	2.90	4.80	7.00	10.00	11.00	10.20
2001	9.80	8.80	10.60	9.60	6.00	3.00	1.90	5.30	7.50	10.50	11.30	10.00
2001	9.00	9.80	10.50	8.90	6.10	3.50	2.60	6.00	7.80	10.20	11.20	9.50
2002	9.00	10.50	9.50	9.80	5.80	2.00	2.50	6.50	8.00	9.80	11.00	8.50
2003	10.00	9.80	9.80	8.70	5.80	3.00	2.60	6.40	8.30	9.50	10.00	8.80
2004	10.50	9.00	10.20	10.30	6.35	2.00	3.00	6.30	8.50	9.00	8.80	9.00
2005	9.80	10.00	10.00	8.90	6.00	3.00	3.20	6.00	9.30	9.00	9.00	9.50
2006	9.80	9.00	9.00	9.80	7.20	1.80	3.50	6.00	8.00	9.00	9.50	10.00
2007	9.00	9.50	10.00	9.50	7.50	3.60	3.50	5.80	8.50	9.50	10.50	10.20
2008	11.00	10.40	10.00	9.80	7.00	7.00	6.50	7.70	10.30	10.70	12.00	11.10
2009	11.00	10.00	11.20	10.00	8.60	5.30	6.00	6.00	10.00	10.40	12.00	12.60
2010	11.30	13.00	12.00	11.70	6.00	7.50	7.10	6.00	9.90	11.00	11.30	10.00
2011	10.40	10.60	10.10	10.80	6.20	8.30	7.60	8.90	10.20	11.00	10.10	10.40
2012	9.80	10.00	10.00	8.90	6.00	3.00	3.20	6.00	9.30	9.00	9.00	9.50
<b>MEDIA</b>	<b>10.05</b>	<b>9.91</b>	<b>10.23</b>	<b>9.63</b>	<b>6.45</b>	<b>3.66</b>	<b>3.81</b>	<b>6.02</b>	<b>8.65</b>	<b>9.74</b>	<b>10.22</b>	<b>9.87</b>

Fuente: Estación Meteorológica Pampa del Arco - Ing. Oscar Roque Siguas

#### Cuadro N° 4.3. Temperaturas Medias Mensual (TMM, °C)

ESTACION : Pampa del Arco DISTRITO : Ayacucho ALTITUD : 2772 msnm  
 CODIGO : 01 PROVINCIA : Huamanga LATITUD : 13°08'00"  
 AÑO : 2010 DEPARTAMENTO : Ayacucho LONGITUD : 74°13'00"

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>TMM</b>	<b>17.32</b>	<b>17.22</b>	<b>16.83</b>	<b>16.62</b>	<b>14.75</b>	<b>13.49</b>	<b>13.59</b>	<b>14.63</b>	<b>16.31</b>	<b>17.34</b>	<b>17.76</b>	<b>17.13</b>

Fuente: Estación Meteorológica Pampa del Arco - Ing. Oscar Roque Siguas

#### Cuadro N° 4.4. Registro de Precipitaciones Mensual (mm)

ESTACION : Pampa del Arco DISTRITO : Ayacucho ALTITUD : 2772 msnm  
 CODIGO : 01 PROVINCIA : Huamanga LATITUD : 13°08'00"  
 AÑO : 2010 DEPARTAMENTO : Ayacucho LONGITUD : 74°13'00"

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1991	60.2	57.9	107.0	98.7	17.5	26.0	10.5	16.5	15.0	40.0	53.6	15.5
1992	0.0	64.2	53.5	17.0	0.0	10.0	6.0	26.0	13.0	24.0	28.5	25.5
1993	125.0	100.0	94.0	34.5	8.0	7.0	15.0	16.5	26.0	22.0	75.0	116.0
1994	115.5	140.0	102.0	30.0	6.5	3.0	0.0	6.5	9.8	19.4	49.3	88.0
1995	157.4	128.9	123.3	12.5	16.5	0.5	2.0	5.6	9.7	34.3	78.7	48.5
1996	75.2	126.8	99.0	43.8	0.0	0.0	0.0	16.7	25.3	20.8	22.3	61.9
1997	136.8	122.6	78.1	25.4	2.9	0.0	2.0	20.2	38.7	25.4	75.3	98.9
1998	117.4	109.5	95.9	7.2	0.4	6.2	0.0	3.9	19.6	46.2	32.4	42.6
1999	107.3	144.7	91.5	29.0	2.6	0.6	4.8	0.0	57.7	13.2	91.6	59.3
2001	130.2	176.0	91.5	6.0	14.6	10.8	55.8	12.7	4.4	66.0	26.9	79.2
2001	161.9	101.9	86.5	23.0	23.2	4.4	24.3	12.6	7.7	31.9	62.6	80.9
2002	105.7	141.8	91.0	21.0	15.1	5.7	25.8	19.3	42.8	22.5	58.6	102.0

2003	76.6	164.9	121.5	77.5	20.6	0.0	0.0	30.6	27.2	11.6	28.0	83.8
2004	69.9	149.1	83.0	29.8	11.3	10.7	26.3	7.5	16.1	26.6	39.7	162.0
2005	46.7	69.8	78.4	11.7	0.2	0.0	2.6	0.0	5.4	47.2	29.7	87.4
2006	107.4	102.3	151.5	21.3	1.2	13.2	0.2	23.0	18.1	47.1	72.1	108.0
2007	71.2	69.6	151.5	38.4	2.5	0.0	6.4	1.0	13.6	37.7	74.0	105.0
2008	116.8	104.1	94.1	6.8	0.4	5.8	0.0	3.9	19.6	56.3	32.4	42.6
2009	107.1	144.3	91.5	29.0	4.0	0.6	0.0	4.2	20.3	50.3	25.6	68.6
2010	105.6	123.6	99.8	26.9	12.3	5.2	0.2	3.6	15.4	50.1	68.9	95.4
2011	69.9	149.1	83.0	29.8	11.3	10.7	26.3	7.5	16.1	26.6	39.7	162.0
2012	46.7	69.8	78.4	11.7	0.2	0.0	2.6	0.0	5.4	47.2	29.7	87.4
<b>MEDIA</b>	<b>95.1</b>	<b>111.4</b>	<b>93.4</b>	<b>27.9</b>	<b>7.7</b>	<b>5.2</b>	<b>9.2</b>	<b>10.7</b>	<b>19.0</b>	<b>33.6</b>	<b>53.8</b>	<b>85.4</b>

Fuente: Estación Meteorológica Pampa del Arco - Ing. Oscar Roque Siguas

## 4.2. PROCEDIMIENTO METODOLOGICO

### 4.2.1. DATOS DE POBLACION

La población está conformada por alumnos de pre – grado, docentes, Personal administrativo y obreros de todas las áreas. Para realizar un mejor estudio de la población, es necesario contar con datos censales de años recientes, los mismos que se realizaron desde el año 2000 hasta el 2014, para ello se utilizó la información contenida en el Boletín Estadístico 2000 – 2014 de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

**Cuadro Nº 4.5.** Población Estudiantil, Docentes y Personal

Administrativos entre los años 2000 - 2014

Años	Alumnos matriculados <sup>2</sup>	Docentes <sup>3</sup>	Administrativos <sup>4</sup>	Total
2000	7423	504	431	8358
2001	8102	523	414	9039
2002	8379	530	412	9321
2003	8859	534	408	9801
2004	9090	534	413	10037
2005	8869	542	393	9804
2006	9252	545	391	10188
2007	9787	584	403	10774

<sup>2</sup>Se toman como datos los correspondientes al primer semestre, debido a que el número de estudiantes matriculados en el primer semestre es mayor al número de estudiantes matriculados en el segundo semestre. El número de estudiantes en el primer semestre corresponde a la situación más crítica.

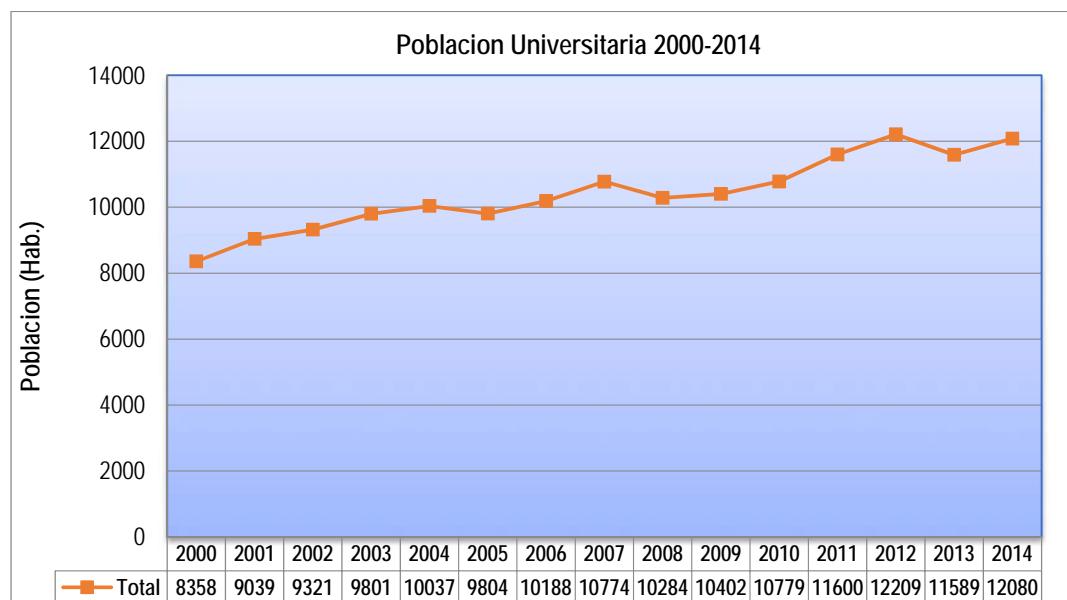
<sup>3</sup> Corresponde a docentes Principales, asociados, Auxiliar y jefe de práctica.

<sup>4</sup> Corresponde a administrativos nombrados y contratados por niveles.

2008	9279	599	406	10284
2009	9406	597	399	10402
2010	9770	612	397	10779
2011	10619	594	387	11600
2012	11221	613	375	12209
2013	10580	626	383	11589
2014	11020	642	418	12080

Fuente: Boletín Estadístico 2000 – 2014. Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga.

**Grafico N° 4.1. Población Universitaria**



Fuente: Elaboración Propia.

En el Grafico N° 4.1, se observa que del año 2000 hasta el 2014, la población fue aumentada, debido a la construcción de los nuevos pabellones y la misma demanda de cada facultad principalmente al aumento de vacantes para las diferentes carreras.

Casos como el año 2005 y 2008, esto se debe principalmente a que el centro de estudios disminuyó sus vacantes, los postulantes no alcanzaron el puntaje mínimo establecido para su ingreso, los alumnos postergaron sus Vacantes y al cese del personal.

#### **4.2.2. SERVICIOS ACTUALES DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA LOS MODULOS.**

La Ciudad Universitaria Los Módulos, cuenta con el servicio de luz, agua, desagüe, teléfono, Internet, etc. Estos se pagan mensualmente a sus respectivas dependencias (Electrocentro, Seda y telefónica). El área de mantenimiento de la universidad es la encargada de monitorear y llevar el control del consumo de estos servicios.

##### **A) SERVICIOS BASICOS**

El sistema de alcantarillado existente está conformado por tuberías de PVC SAP cuyos diámetros son de 8 pulgadas (Red principal: Troncales de tuberías) y 4 pulgadas (Red secundaria: Tuberías que van de las facultades hacia la red principal), el número total de Buzones actuales encontrados en la ciudad Universitaria son de 28 buzones.

Las tuberías de la red principal derivan sus aguas residuales hacia los buzones principales, en el plano que se adjunta, se observa la distribución de las redes de agua potable y alcantarillado de la Ciudad Universitaria.

Se tiene el cruce del Cono Norte por la Ciudad Universitaria Los Módulos, y el empalme de la Escuela de Veterinaria y las facultades de Ciencias Agrarias, Ciencias Sociales y Ciencias de la Educación. Igualmente, el recorrido de las aguas residuales generadas en la Ciudad Universitaria en otro desfogue por la puerta N° 02 de la Ciudad Universitaria.

Se presenta la ubicación y localización de las facultades y laboratorios de la ciudad universitaria Los Módulos, en forma simplificada en los planos (Ver anexo).

- Facultad de Ciencias Sociales
- E.F.P. de Medicina Veterinaria
- Laboratorio de Facultad de Ingeniería minas, geología y civil.
- Laboratorio de E.F.P. de Agronomía
- Laboratorio de E.F.P. de Biología
- Laboratorio de Facultad de Química

- Facultad de Ciencias Económicas y contables.
- Facultad de Derecho
- Facultad de enfermería
- Facultad de Obstetricia
- Facultad de Educación
- Planteles de Aplicación Guamán Poma de Ayala.
- Puerta Principal N° 02

Los costos actuales de riego de las áreas verdes con agua proveniente de la red del sistema de agua potable, el precio unitario asciende a S/. 0.875 x m<sup>3</sup> de agua, S/. 0.394 por concepto de desagüe emitido por la Empresa Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Ayacucho S.A. (SEDA); considerado como tarifa no residencial Categoría Estatal, siendo los altos costos por el consumo de agua potable y abastecimiento mensuales que viene afrontando la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

En el cuadro N° 4.6, se detalla los conceptos tarifarios para cada clase y categoría y que son autorizados y aprobado por la resolución N° 087 – 2007 – SUNASS – CD y autorizado con oficio N° 536 – 2012/SUNASS – CD y en el cuadro N° 4.7, se reporta la facturación por mes desde el año 2010 al 2014.

**Cuadro N° 4.6.** Tarifa por el servicio de Agua y Alcantarillado

Clase	Categoría	Rango	Tarifa (S/. m <sup>3</sup> )		Cargo fijo (S/.)	Asignación de consumo (m <sup>3</sup> /mes)
			Agua	Alcantarillado		
Residencial	Social	0 a 10	0.268	0.125	0.00	10
		10 a mas	0.470	0.228	2.65	
	Domestico	0 a 8	0.551	0.240	2.65	20
		8 a 20	0.572	0.251	2.65	
		20 a mas	1.032	0.460	2.65	
No residencial	Comercial	0 a 30	1.282	0.580	2.65	30
		30 a mas	1.669	0.761	2.65	
	Industrial	0 a mas	2.351	1.069	2.65	60
	Estatal	0 a mas	0.875	0.394	2.65	100

Fuente: SEDA Ayacucho

**Cuadro Nº 4.7.** Control de Suministro mensual de Agua y Desagüe correspondiente a los años 2011 – 2014

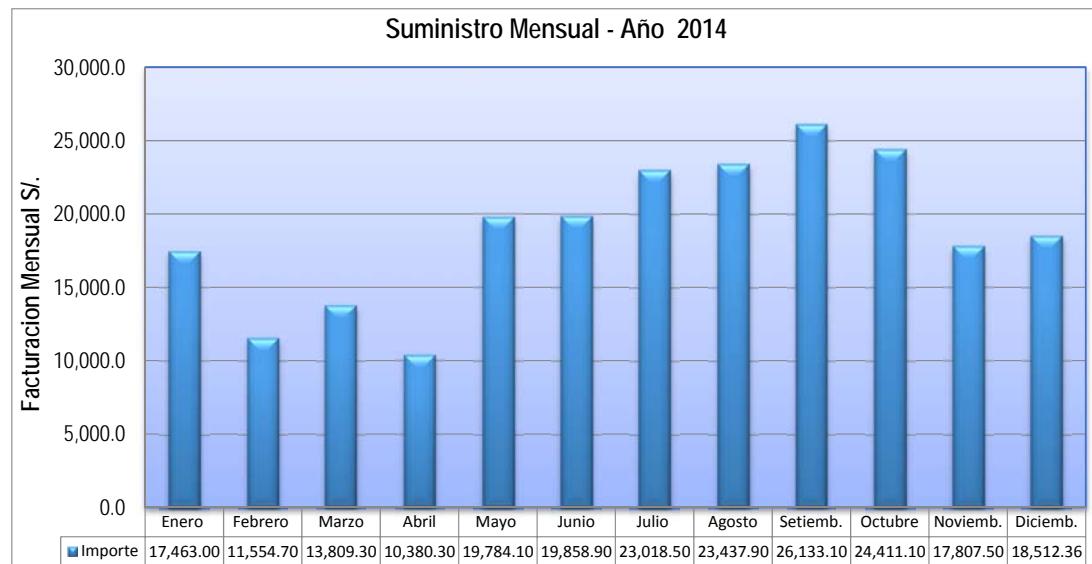
Mes	2011	2012	2013	2014
Enero	16,964.60	24,588.20	21,933.70	17,463.00
Febrero	9,645.50	22,595.10	22,642.60	11,554.70
Marzo	14,585.70	17,881.70	18,658.10	13,809.30
Abril	15,140.50	16,549.90	16,360.30	10,380.30
Mayo	22,101.60	19,931.20	17,144.10	19,784.10
Junio	30,198.70	24,894.50	26,515.20	19,858.90
Julio	31,242.90	33,687.40	27,354.20	23,018.50
Agosto	36,706.00	34,778.60	31,449.00	23,437.90
Setiembre	32,048.00	28,755.30	29,547.20	26,133.10
Octubre	26,790.80	26,679.80	18,975.40	24,411.10
Noviembre	28,230.60	23,472.20	17,043.80	17,807.50
Diciembre	29,117.70	30,555.60	19,604.40	18,512.36
<b>Anual</b>				
<b>Acumulado</b>	<b>294,782.60</b>	<b>306,380.50</b>	<b>269,240.00</b>	<b>226,170.76</b>

Fuente: Oficina de Suministro de Agua y Desagüe - SEDA

Según el cuadro N° 4.7, se reporta que las variaciones de las facturaciones en cada mes se deben al exceso consumo de agua debido a las necesidades de la población estudiantil, docente y administrativos, riego en las áreas verdes, arboles forestales, frutícolas, laboratorios siendo los meses con más consumo los meses de junio, Julio, agosto y Setiembre; y anualmente con mayor consumo según los últimos 4 años se tiene el año 2012.

A Continuación, en el Grafico N° 4.2, se observa los pagos mensuales del año 2014 que realiza la universidad por descargar su agua residual hacia el sistema alcantarillado de la Ciudad Universitaria.

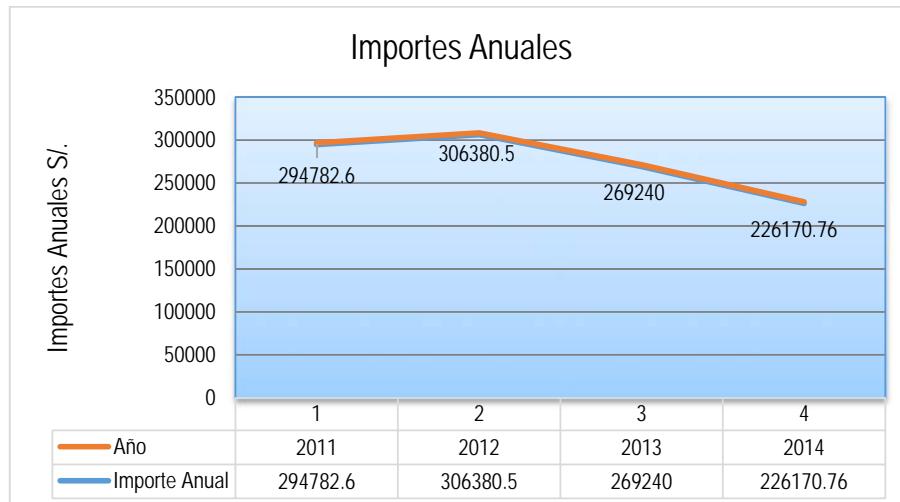
**Gráfico Nº 4.2.** Facturación mensual, por el uso de la red de agua y alcantarillado



Fuente: Elaboración Propia.

Según el gráfico Nº 4.2, se tiene que el menor importe que se pagó a SEDA, fue en abril, con un valor de 10,380.30 soles, y el mayor valor que se pago fue en Setiembre, con un valor de 26,133.10 soles.

**Grafico Nº 4.3.** Importe Anuales correspondiente a los años 2011 – 2014



Fuente: Elaboración Propia.

En el Grafico Nº 4.3, el año que más consumo de agua y desagüe corresponde al año 2012 con un acumulado de S/. 306,380.5 nuevos

soles; siendo los dos últimos años disminuyeron gradualmente, tal como se muestra en el año 2014 con importe acumulado de S/. 226, 170.76 nuevos soles.

## B. INVENTARIO DE AMBIENTES EXISTENTES.

Actualmente la Ciudad Universitaria, cuenta con los siguientes ambientes, que se muestra en el cuadro adjunto.

**Cuadro Nº 4.8.** Inventariado de Ambientes de la Ciudad Universitaria.

DENOMINACION DE LA DEPENDENCIA	AMBIENTES TOTALES
Modulo Tipo Húngaro "G"	132
Pabellón Aulas, Laboratorios y Oficinas "J"	39
Local: Dr. Efraín Morote Best	45
Local: Laboratorio Ingeniería Civil	40
Local: Facultad de Educación	46
Local: Post Grado	22
Local: Laboratorio de Ingeniería Minas y Geología	38
Local: Facultad de Obstetricia	14
Local: Facultad de Enfermería	14
Local: Laboratorio de Ingeniería Química y Metalurgia	37
Local: Laboratorio de Ciencias Biológicas	120
Local: Facultad de Derecho y Ciencias Políticas	28
Local: Pabellón EFP Medicina Veterinaria	36
Local: Centro Tecnológico e informático.	17
Pabellón Laboratorio Facultad de Ciencias agrarias	68
Local: Restaurante y Cafetería Ciudad Universitaria.	3

Fuente: Oficina de Control Patrimonial. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

## C. SERVICIOS SANITARIOS EXISTENTES.

Los servicios sanitarios existentes en la ciudad universitaria, se tiene en todas las facultades.

**Cuadro Nº 4.9. Servicios Sanitarios Existentes**

Código de Pabellón	Numero de SS. HH por ambiente	Código de Pabellón	Numero de SS. HH por ambiente
G	12	S	5
H	8	T	1
I	4	U	2
J	3	W	5
K	8	X	6
N	4	Y	8
O	14	AA	20
P	2	AB	8
AD	15	AC	4
<b>TOTAL</b>		<b>129 ambientes de SS. HH</b>	

Fuente: Oficina de Control Patrimonial. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

#### 4.2.3. UNIDADES ACADEMICAS QUE BRINDA LA UNIVERSIDAD

La Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, cuenta con veintinueve (29) Escuelas de Formación Profesional, distribuida en diez (10) Facultades.

**Cuadro Nº 4.10. Relación de Escuelas de Formación Profesional**

FACULTAD	CODIGO	ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL
Ciencias Agrarias	01	Agronomía
	21	Ingeniería Agrícola
	24	Medicina Veterinaria
	28	Ingeniería Agroforestal
Ciencias Biológicas	02	Biología
	20	Farmacia y Bioquímica
Ciencias de la Educación	03	Educación Inicial
	04	Educación Primaria
	05	Educación Secundaria
	06	Educación Física
Ciencias Económicas, Administrativas y Contables	07	Administración de Empresas
	08	Contabilidad y Auditoria
	09	Economía
Ciencias Sociales	10	Antropología Social
	11	Arqueología e Historia
	12	Trabajo Social

	23	Ciencias de la Comunicación
Derecho y Ciencias	13	Derecho
Enfermería	14	Enfermería
Ingeniería de Minas, Geología y Civil	15	Ingeniería de Minas
	16	Ingeniería Civil
	25	Ingeniería Informática
	26	Ciencias Físico-Matemáticas
	27	Ingeniería de Sistemas
Ingeniería Química y Metalurgia	17	Ingeniería Química
	19	Ingeniería en Industrias
	21	Ingeniería Agroindustrial
Obstetricia	18	Obstetricia
Medicina Humana	29	Medicina Humana

Fuente: Oficina de Admisión. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

#### 4.2.4. LOCALIZACION DE PUNTOS DE MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES

Los muestreos realizados en la Ciudad Universitaria se tomaron en cuenta la ubicación de los Buzones, lo cual se observa en Figura N° 4.2 y el cuadro N° 4.11

- **MUESTRA N° 01:** El buzón (**Bz – 02**) muestreado se ubica en lado Oeste de la Ciudad Universitaria (ENTRADA UNSCH) y que reúne la E.F.P. de Medicina Veterinaria, La facultad de Ciencias Sociales y las aguas residuales provenientes de las aguas domesticas de la Av. Independencia.
- **MUESTRA N° 02:** El buzón (**Bz – 09**) muestreado se ubica en los nuevos locales construidos que limita con los laboratorios de las Facultades de Ing. Minas y Civil, y que reúne la facultad de Biología e Ing. Química.
- **MUESTRA N° 03:** El buzón (**Bz – 12**) muestreado se ubica a la entrada del Nuevo Parque Central UNSCH, y que reúne la E.F.P. de Biología, E.F.P. Ing. Química, Laboratorios de Ingeniería de Minas y Civil, del Buzón (**Bz – 02**).
- **MUESTRA N° 04:** El buzón (**Bz – 13**) muestreado se ubica en el lado Este de la Ciudad Universitaria, y que reúne de la Facultad de Ciencias Administrativas y Contables (FACEA).

- **MUESTRA N° 05:** El buzón (**Bz – 28**) muestreado se ubica en el lado Sur de la Ciudad Universitaria en Salida UNSCH (Puerta N° 02), y que reúne del Pabellón “H”, Laboratorios Húngaros, Obstetricia, Farmacia y Bioquímica, Ing. Agrícola, Cafetín, Biblioteca, Centro Tecnológico de Informática, Facultad de Ciencias Agrarias, Planta de Jugos y Escuela de Post Grado y del otro extremo proviene de las Facultades de Obstetricia y Enfermería.

**Cuadro N° 4.11.** Coordenadas de los puntos de muestreo de aguas residuales

PUNTO DE MUESTRO		UBICACIÓN EN COORDENADAS GEOGRAFICAS LATITUD, LONGITUD, ALTITUD Y COORDENADAS UTM				
MUESTRA N°	DESCRIPCION	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Este (E)	Norte (N)
1	<b>ENTRADA CONO OESTE UNSCH (Bz – 02)</b>	13°8'49.338" S	74°13'26.568" O	2745.25	<b>58096</b>	<b>8546479</b>
2	<b>UNION FACULTADES (Bz – 09)</b>	13°8'45.06" S	74°13'12.756" O	2738.00	<b>584557</b>	<b>8546597</b>
3	<b>UNION FACULTADES (Bz – 12)</b>	13°8'48.60" S	74°13'11.60" O	2736.80	<b>584562</b>	<b>8546562</b>
4	<b>SALIDA CONO ESTE UNSCH (FACEA) (Bz – 13)</b>	13°8'49.806" S	74°13'6.178" O	2739.56	<b>584715</b>	<b>8546465</b>
5	<b>SALIDA UNSCH (Puerta N° 02) (Bz – 28)</b>	13°8'59.064" S	74°13'13.764" O	2728.60	<b>584485</b>	<b>8546161</b>

Fuente: Elaboración Propia.



**Figura N° 4.2.** Localización de puntos de muestreo de aguas residuales

Fuente: Google Earth – Vista Satelital de la Ciudad Universitaria UNSCH

#### 4.2.5. IDENTIFICACION Y UBICACIÓN DE LAS AREAS VERDES ACTUALES

La cantidad de agua necesaria para abastecer a la universidad y satisfacer sus demandas de riego, está directamente relacionado con el área a regar y la cantidad de vegetación existente en la Ciudad Universitaria.

El tipo de flora que predomina es propio de la región, y en cuanto a las áreas verdes es el *Kikuyo pennisetum sp.*, que está distribuida por toda la ciudad universitaria y varían según su extensión y tipo de vegetación.

**Cuadro N° 4.12.** Identificación y Ubicación de las Areas verdes.

DESCRIPCION	TOTAL (M2)
ESTADIO UNSCH	8,098.00
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS	8,955.70
FACULTAD DE BIOLOGIA	5,720.06
CENTRO TECNOLOGICO DE INFORMATICA	1,184.47

PLANTA DE JUGOS	1,306.23
AREA DERECHO	11,563.09
FACULTAD DERECHO	10,351.52
POST GRADO	882.50
PUERTA N° 01 - EXTERIOR E INTERIOR	9,444.25
BIBLIOTECA GENERAL	7,202.96
CONTORNO CAFETIN	5,628.56
E.F.P. DE ING. AGRICOLA	3,284.25
LABORATORIO DE OBSTETRICIA	3973.73
PABELLON "H"	4,661.02
LABORATORIO DE FARMACIA Y BIOQUIMICA	1,089.19
LABORATORIO DE BIOLOGIA	4,482.29
PABELLON AD - AGRONOMIA	7,254.65
LABORATORIO ING. QUIMICA	3,856.14
LABORATORIO ING. MINAS Y CIVIL	11,048.24
FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS Y CONTABLES	4,645.93
FACULTAD OBSTETRICIA Y ENFERMERIA	3,884.48
E.F.P. DE MEDICINA VETERINARIA	5,976.91
E.F.P. DE TRABAJO SOCIAL	1,082.25
CONTORNO DEL RESERVORIO	29,924.77
<b>Total de Áreas Verdes (m<sup>2</sup>)</b>	<b>155,501.190</b>
<b>Total de Áreas Verdes (Ha)</b>	<b>15.55</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Se tiene actualmente en la ciudad universitaria 15.55 has son áreas verdes, árboles forestales, árboles típicos de la zona; y con arreglos de plantas de flores, de los cuales se dividen por facultades y escuelas, cada uno con sus respectivas áreas verdes los cuales son muestra del interés de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga en la preservación del medioambiente.

La Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, como institución educativa, debe proporcionar las condiciones de máximo confort para quienes en ella elaboran o asisten a su formación, por lo que deberá buscar los medios para generar áreas verdes, que permitan no solo incrementar las zonas con sombra, sino crear espacios agradables para el estudio y la enseñanza.

## CAPITULO V

### ANALISIS DE RESULTADOS

#### 5.1. DESCRIPCION DEL PROCESO DE DISEÑO

##### 5.1.1. POBLACION UNIVERSITARIA DE DISEÑO

La población de diseño está comprendida por la población estudiantil, docente y administrativos, tal como se detalló en el Cuadro N° 4.5 del capítulo IV, los datos registrados se obtuvieron de la oficina de Informática y estadística correspondiente de los años 2000 a 2014.

Para el cálculo de la población futura existen diversos métodos, ya mencionados en el Capítulo II.

###### 5.1.1.1. METODO ARITMETICO

$$P_f = P_o(1 + r \cdot t)$$

$$r = \frac{\frac{P_f}{P_o} - 1}{t}$$

Donde:

- $P_f$  = Población Futura
- $P_o$  = Población Inicial
- $r$  = Tasa de crecimiento
- $t$  = Tiempo en años

Calculando "r":

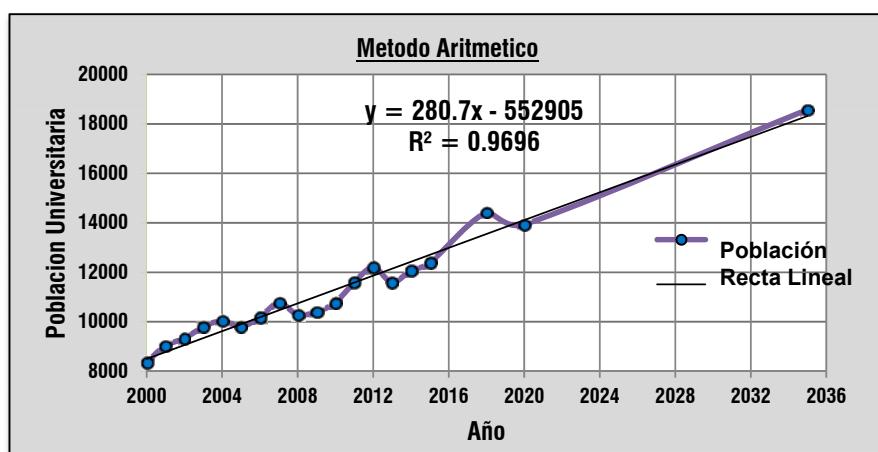
$$r = \frac{\frac{8358}{9039} - 1}{1} = 0.081$$

De igual forma se calculará para los años 2001 al 2014 en forma secuencial, hasta obtener el promedio en el año 2015.

**Cuadro N° 5.1.** Tasa de Crecimiento Poblacional por el Método Aritmético.

AÑO	TOTAL	r
2000	8358	0.081
2001	9039	0.031
2002	9321	0.051
2003	9801	0.024
2004	10037	-0.023
2005	9804	0.039
2006	10188	0.058
2007	10774	-0.045
2008	10284	0.011
2009	10402	0.036
2010	10779	0.076
2011	11600	0.053
2012	12209	-0.051
2013	11589	0.042
2014	12080	<b>r=0.0256</b> R = 2.56%

**Grafico N° 5.1.** Crecimiento Poblacional de la ciudad Universitaria mediante el Método Aritmético.



Fuente: Elaboración Propia

Para el año 2015:

$$P_{2015} = 12080 \ (1 + 0.0256 * 1)$$

$$P_{2016} = 12,389.0$$

Para el año 2035:

$$P_{2035} = 12080 \ (1 + 0.0256 * 20)$$

$$P_{2035} = 18,265.0$$

#### 5.1.1.2. METODO GEOMETRICO

$$P_f = P_o(1 + r)^t$$

$$r = \left(\frac{P_f}{P_o}\right)^{\frac{1}{t}} - 1$$

Donde:

- $P_f$  = Población Futura
- $P_0$  = Población Inicial
- $r$  = Tasa de crecimiento
- $t$  = Tiempo en años

Calculando “r”:

$$r = \left(\frac{8358}{9039}\right)^{\frac{1}{1}} - 1 = 0.081$$

De igual forma se calculará para los años 2001 al 2014 en forma secuencial, hasta obtener el promedio en el año 2015.

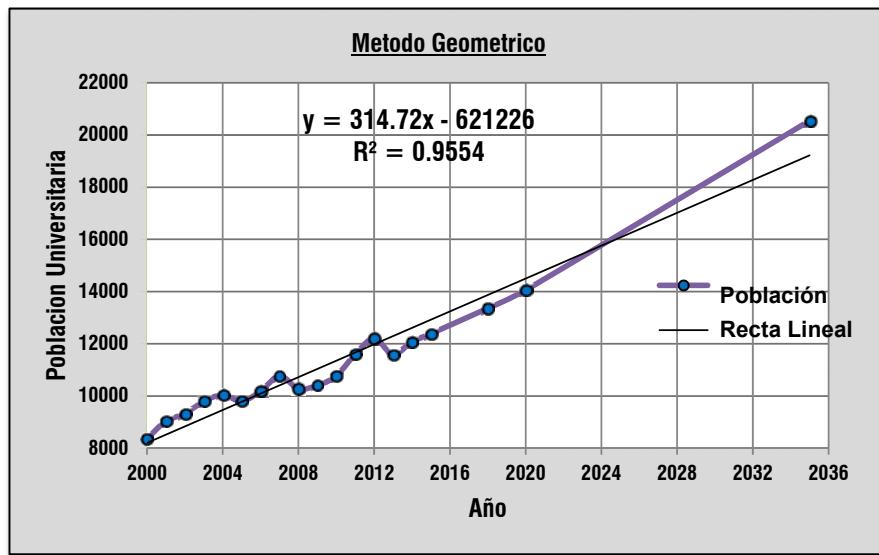
**Cuadro N° 5.2.** Tasa de Crecimiento Poblacional por el Método Geométrico.

AÑO	TOTAL	r
2000	8358	0.081
2001	9039	0.031
2002	9321	0.051
2003	9801	0.024
2004	10037	-0.023
2005	9804	0.039
2006	10188	0.058
2007	10774	-0.045

<b>2008</b>	10284	0.011
<b>2009</b>	10402	0.036
<b>2010</b>	10779	0.076
<b>2011</b>	11600	0.053
<b>2012</b>	12209	-0.051
<b>2013</b>	11589	0.042
<b>2014</b>	12080	<b>r=0.0256</b>

$$r = 2.56 \%$$

**Grafico N° 5.2.** Crecimiento Poblacional de la ciudad Universitaria mediante el Método Geométrico.



Fuente: Elaboración Propia

Para el año 2015:

$$P_{2015} = 12080 * (1 + 0.0256)^1$$

$$P_{2015} = 12389$$

Para el año 2035:

$$P_{2035} = 12080 * (1 + 0.0256)^{20}$$

$$P_{2035} = 20,027.0$$

### 5.1.1.3. METODO MINIMOS CUADRADOS

Para una tendencia más exacta lo realizaremos por el método de la **REGRESION SIMPLE** y el **MÉTODO DE MÍNIMO CUADRADOS**, los parámetros a utilizar: X (Año), Y (Número de Población).

**Cuadro Nº 5.3.** Variables de la población de la Ciudad Universitaria.

VARIABLE		MÍNIMOS CUADRADOS		
Año (X)	Población (Y)	X^2	Y^2	X*Y
2000	8358	4,000,000.00	69,856,164.00	16,716,000.00
2001	9039	4,004,001.00	81,703,521.00	18,087,039.00
2002	9321	4,008,004.00	86,881,041.00	18,660,642.00
2003	9801	4,012,009.00	96,059,601.00	19,631,403.00
2004	10037	4,016,016.00	100,741,369.00	20,114,148.00
2005	9804	4,020,025.00	96,118,416.00	19,657,020.00
2006	10188	4,024,036.00	103,795,344.00	20,437,128.00
2007	10774	4,028,049.00	116,079,076.00	21,623,418.00
2008	10284	4,032,064.00	105,760,656.00	20,650,272.00
2009	10402	4,036,081.00	108,201,604.00	20,897,618.00
2010	10779	4,040,100.00	116,186,841.00	21,665,790.00
2011	11600	4,044,121.00	134,560,000.00	23,327,600.00
2012	12209	4,048,144.00	149,059,681.00	24,564,508.00
2013	11589	4,052,169.00	134,304,921.00	23,328,657.00
2014	12080	4,056,196.00	145,926,400.00	24,329,120.00
<b>30,105.00</b>	<b>156,265.00</b>	<b>60,421,015.00</b>	<b>1,645,234,635.00</b>	<b>313,690,363.00</b>

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, detallaremos con las siguientes fórmulas de los Mínimos Cuadrados, sus respectivos cálculos:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{30,105.00}{15} = 2007.0$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n} = \frac{156,265.0}{15} = 10,417.67$$

$$SC(Y) = \sum Y_i^2 - \frac{(\sum Y_i)^2}{n} = 1,645,234,635.0 - \frac{(156,265.0)^2}{15} = 17,317,953.33$$

$$SC(X) = \sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n} = 60,421,015.0 - \frac{(30,105.00)^2}{15} = 280.0$$

$$SP(XY) = \Sigma XY - \frac{\Sigma X \Sigma Y}{n} = 313,690,363.0 - \frac{(30,105.0)(156,265.0)}{15} = 66,580.00$$

Con el método de la Regresión simple, determinaremos sus respectivos parámetros  $b_1$  y  $b_0$ .

$$\hat{Y}_1 = b_0 + b_1 X_1$$

$$b_1 = \frac{SP(XY)}{SC(X)} = \frac{66,580.0}{280.0} = 237.53$$

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X} = 10,417.67 - 237.53(2007) = -466,302.18$$

Reemplazando en la ecuación de la Regresión Lineal Simple se tiene:

$$Y_1 = -466,302.18 + 237.53X_1$$

$$Y_1 = 237.53X_1 - 466,302.18$$

Calculando el coeficiente de correlación múltiple ( $R$ ).

$$R = \frac{n(\Sigma xy) - (\Sigma x)(\Sigma y)}{\sqrt[n]{[\sum(x^2) - (\sum x)^2][\sum(y^2) - (\sum y)^2]}}$$

Reemplazando en la ecuación del coeficiente de correlación se tiene:

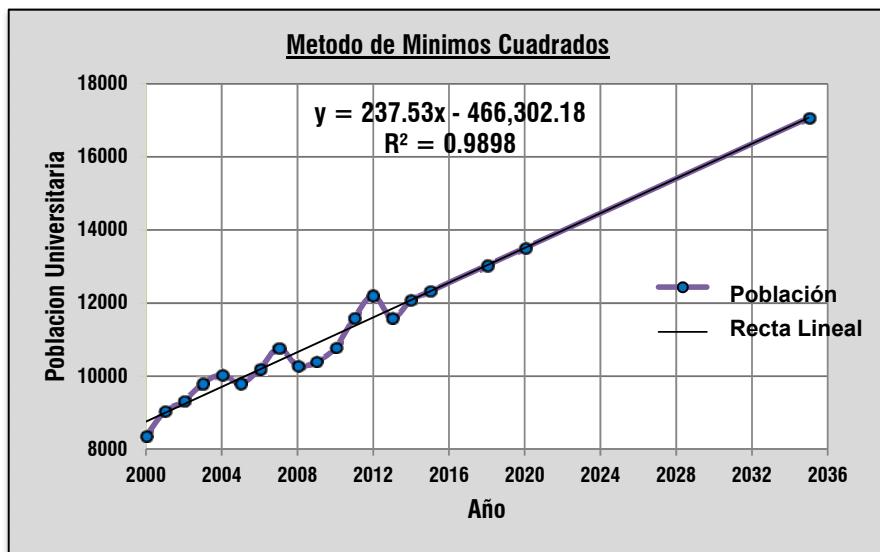
$$R = \frac{15(313,690,363.0)(30,105.0)(156,265.0)}{\sqrt[15]{[(60,421,015.0) - (30,105.0)^2][(1,645,234,635.0) - (156,265.0)^2]}}$$

$$R = 0.995$$

$$R^2 = 0.9898 = 98.98\%$$

Para estudiar mejor a la población contribuyente, se observa en el Gráfico N° 5.3, la tendencia que sigue la población con el paso de los años.

**Grafico N° 5.3. Crecimiento Poblacional de la ciudad Universitaria mediante la ecuación de regresión Lineal Simple.**



Fuente: Elaboración Propia

La población futura universitaria se considerará un periodo de diseño de 20 años, a partir del 2015 hasta el 2035.

Con la ecuación de la Regresión Simple obtenida, calcularemos en la población futura para el primer año (2015) y para el periodo de diseño de 20 años (2035).

#### Año 2015:

$$Y_{15} = 237.53 X_{15} - 466,302.18$$

$$Y_{15} = 237.53 (2015) - 466,302.18$$

$$Y_{15} = 12,297.77 \text{ habitantes}$$

#### Año 2035:

$$Y_{35} = 237.53 X_{35} - 466,302.18$$

$$Y_{35} = 237.53 (2035) - 466,302.18$$

$$Y_{35} = 17,071.37 \text{ habitantes.}$$

La población futura de diseño en el año 2035 es de 17,071.37 habitantes.

La comparación de crecimiento poblacional entre el método aritmético, geométrico y mínimo cuadrados, se tiene en el siguiente cuadro:

**Cuadro Nº 5.4.** Comparación de Crecimiento Población por los diferentes métodos.

Población	Método aritmético	Método Geométrico	Método Mínimos Cuadrados
Año 2015	12,389.0	12,389.0	12,297.0
Año 2035	18,265.0	20,027.0	17,071.0
R <sup>2</sup>	0.9696	0.9554	0.9898

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en el cuadro Nº 5.4, la comparación entre los métodos, el más aceptable es por el método de mínimos cuadrados, este resultado nos indica que existe un 98.98% entre las variables de año y población estudiantil, por tanto, es significativo debido a que el coeficiente se asemeja a 1.

### 5.1.2. CAUDAL DE DISEÑO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Los caudales de aguas residuales se obtienen a partir de la base de datos de consumo de agua potable para el sector estudiado. El consumo que se registra por tipo de usuario es convertido en caudal de agua residual a partir del coeficiente de retorno.

Dónde:

- Qm: Caudal medio diario de aguas residuales
  - Pf: Población futura
  - Dot: Dotación
  - Cr: coeficiente de retorno
- $$Qm = \frac{Pf * Dot}{86400} * Cr$$
- $$Qm = \frac{17,071.37 \text{ hab.} * 50 \text{ lt/hab/dia}}{86400} * 0.8$$

$$Qm = 7.90 \text{ lt/seg}$$

Para los efectos de las variaciones de consumo se considera según las normas de RNE OS.070 se consideró los siguientes coeficientes de variación de consumo para el cálculo de caudales característicos.

- Coeficiente para consumo máximo diaria:  $K_1 = 1.30$
- Coeficiente para consumo máximo horaria:  $K_2 = 1.80 - 2.50$
- Coeficiente de variación mínima horaria:  $K_3 = 0.50$

#### **Caudal máximo diario:**

$$Q_{\text{max diario}} = K_1 * Q_m$$

$$Q_{\text{max diario}} = 1.30 * 7.90 \text{ lt/seg}$$

$$Q_{\text{max diario}} = 10.27 \text{ lt/seg} = 0.01027 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

#### **Caudal máximo horario:**

$$Q_{\text{max hor}} = K_2 * Q_m$$

$$Q_{\text{max hor}} = 2.50 * 7.90 \text{ lt/seg}$$

$$Q_{\text{max hor}} = 19.75 \text{ lt/seg} = 0.01975 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

También se tendrá en cuenta el caudal de infiltración de las aguas lluvias. Los caudales de infiltración son calculados:

Longitud total de la red	3.5228	Km
Número de Buzones de la red	28.00	Und

#### **Calculando el caudal de infiltración en la red.**

$$Q_i = 0.0002315 \times L$$

$$Q_i = 0.0002315 \times 3.52 \text{ km}$$

$$Q_i = 0.82 \text{ l/seg}$$

#### **Calculando el caudal Buzones de la red.**

$$Q_b = 0.0044 \times N^{\circ} \text{ Buzones}$$

$$Q_b = 0.0044 \times 28$$

$$Q_b = 0.12 \text{ l/seg}$$

### **Calculando el caudal de infiltración por lluvias.**

$$Q_{II} = 0.008 \times L$$

$$Q_{II} = 0.008 \times 3522.8 \text{ ml}$$

$$Q_{II} = 28.18 \text{ l/s}$$

Por tanto, la sumatoria de los caudales generados por la población, infiltración, buzones y lluvias se tiene:

$$\sum Q_T = Q_{mh} + Q_i + Q_b + Q_{II}$$

$$Q_T = 19.75 \text{ l/s} + 0.82 \text{ l/s} + 0.12 \text{ l/s} + 28.18 \text{ l/s}$$

$$Q_T = 48.87 \text{ l/s}$$

#### **5.1.3. SISTEMA DE ALCANTARILLADO**

Con el diseño se propone una red de alcantarillado de 3522.83 ml y 28 buzones, las cuales tendrán como disposición final cargar los afluentes hacia la planta de tratamiento de aguas residuales que está ubicado en el lado este entre las losas deportivas de la ciudad universitaria.

Para ello utilizaremos las formulas correspondientes al diseño de la red de alcantarillado entre ellos la fórmula de Manning y la Ecuación de Continuidad, detallados en el capítulo II, es la más práctica para el diseño de canales abiertos y cerrados, actualmente se utiliza para conductos cerrados y tiene la siguiente expresión:

**Continuidad:** 
$$Q = V \cdot A$$

Dónde:

- $Q$  = Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- $V$  = Velocidad ( $\text{m/s}$ ).
- $A$  = Área ( $\text{m}^2$ )

Despejamos en función al diámetro y se tiene:

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

Dónde:

- $D$  = Diámetro (Pulgadas, cm).
- $Q$  = Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- $V$  = Velocidad ( $\text{m/s}$ ), consideraremos como velocidad mínima de 0.60 m/s.

$$D = \sqrt{\frac{4(0.04887 \text{ m}^3/\text{s})}{\pi \times 0.60 \text{ m/s}}}$$

$$D = 0.321 \text{ m} = 32.1 \text{ cm} \quad 12.6"$$

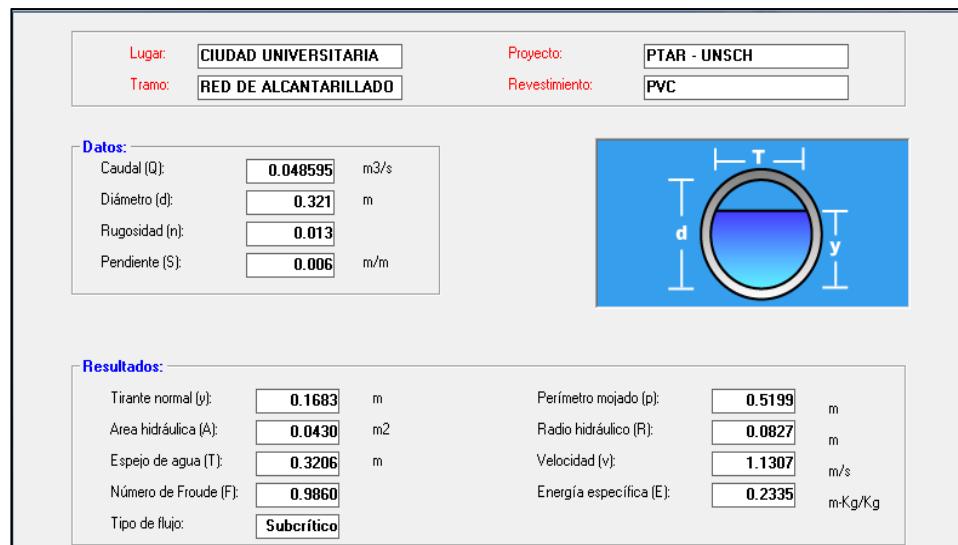
El diámetro obtenido, es la entrada del inicio de la planta de tratamiento de aguas residuales, por lo que en el diseño es de  $D = 12"$ .

Para verificar esta velocidad, lo realizaremos mediante un programa de ingeniería **H canales**, la cual determinara mediante la fórmula de Manning las características hidráulicas y velocidad.

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

Dónde:

- $V$  = Velocidad (m/s).
- $n$  = Coeficiente de rugosidad (adimensional).
- $R$  = Radio hidráulico (m).
- $S$  = Pendiente (m/m).



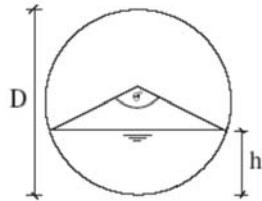
**Figura N° 5.1. Determinación de las Características Hidráulicas y Velocidad.**

Fuente: software "H CANALES"

Su velocidad obtenida mediante el software "H CANALES" es  $V = 1.1307 \text{ m/s}$

**Para tuberías con sección parcialmente llena:**

El grado central  $\theta$  en grado sexagesimal:



$$\theta = 2 \arccos\left(1 - \frac{2h}{D}\right)$$

Para la red de alcantarillado el valor de "h", consideraremos a la mitad del diámetro de la tubería, 0.152 m.

$$\theta = 2 \arccos\left(1 - \frac{2(0.10)}{0.20}\right)$$

$$\theta = 2 \arccos(0^\circ) = 180^\circ$$

**Radio hidráulico:**

$$R = \frac{D}{4} \left(1 - \frac{360 \sin \theta}{2\pi \theta}\right)$$

$$R = \frac{D}{4} \left(1 - \frac{360 \sin 180^\circ}{2\pi(180)}\right)$$

$$R = \frac{0.304}{4} (1 - 0) = 0.076 \text{ m}$$

Entonces se obtiene, la nueva velocidad.

**Velocidad:**

$$V = \frac{0.397 D^{\frac{2}{3}}}{n} \left(1 - \frac{360 \sin \theta}{2\pi \theta}\right)^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$V = \frac{0.397(0.304)^{\frac{2}{3}}}{0.013} \left(1 - \frac{360 \sin 180^\circ}{2\pi(180)}\right)^{\frac{2}{3}} (0.006)^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 1.233 \text{ m/s}$$

**Caudal:**

$$Q = V \times A$$

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

$$Q = 1.233 \text{ m/s} \times \frac{\pi (0.304)^2}{4} = 0.089 \text{ m}^3/\text{s} = 89.49 \text{ l/s}$$

#### **5.1.4. DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

La capacidad de una planta de tratamiento de aguas residuales normalmente se estima con base en el **caudal máximo horario** en el que se realiza el diseño.

La propuesta del diseño de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, se divide en fases de tratamiento, siendo éstas las siguientes: Cámara de rejas, desarenador, tanque Imhoff, Lecho de Secado, Filtro Percolador biológico y Humedal Artificial.

Cada una de estas fases la constituyen elementos diseñados para lograr remover algunos componentes presentes en las aguas residuales una vez que ésta pasa por ellos, logrando de esta manera producir un efluente de la planta que cumpla con los requisitos para ser descargada a un cuerpo receptor.

##### **5.1.4.1. CARACTERIZACION Y ANALISIS EXPERIMENTALES DE AGUAS RESIDUALES.**

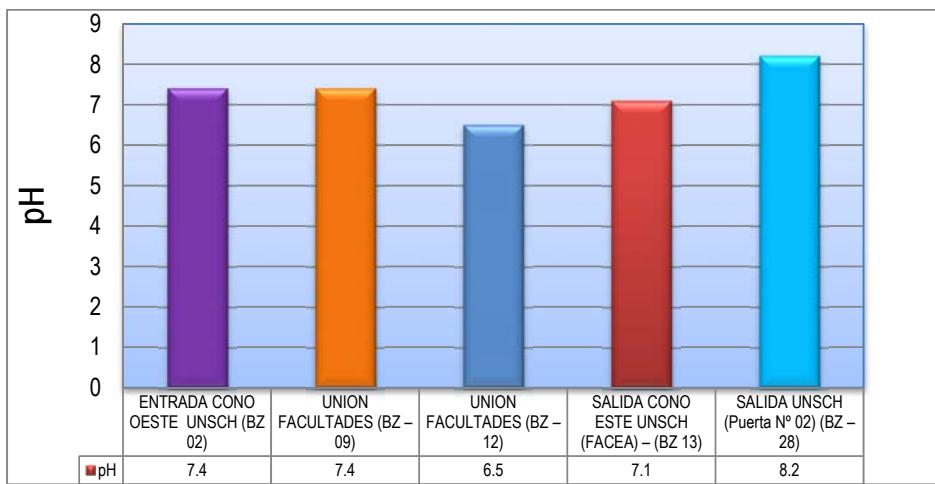
Los muestreos realizados se dieron con frecuencia durante el día, por la misma variación de la temperatura y clima, tomándose en cuenta los parámetros ya mencionados en el Cuadro N° 2.38 y el Cuadro N° 2.39 del Capítulo II. Para tal fin detallaremos en forma gráfica y en cuadros respectivos para cada parámetro de agua residual.

**Cuadro N° 5.5.** Valores de pH, turbiedad, conductividad, sales, Alcalinidad, dureza calcica, dureza total, cloruros, dureza magnesica en aguas residuales generadas en la Ciudad Universitaria.

PUNTO DE MUESTREO	pH	Turbieda d	C.E	SAL	ALCA L.
		UNT	$\mu S/cm$	%	mg/L
ENTRADA CONO OESTE UNSCH (BZ 02)	7.4	446.8	936.9	0.5	233.1
UNION FACULTADES (BZ - 09)	7.4	37.1	631.8	0.3	82.9
UNION FACULTADES (BZ - 12)	6.5	364.0	1154.0	0.4	136.0
SALIDA CONO ESTE UNSCH (FACEA) – (BZ 13)	7.1	424.2	977.4	0.5	234.0
SALIDA UNSCH (Puerta N° 02) (BZ – 28)	8.2	87.9	724.9	0.4	114.5

Fuente: Elaboración Propia – Ensayo Laboratorio Facultad de Ciencias Biológicas

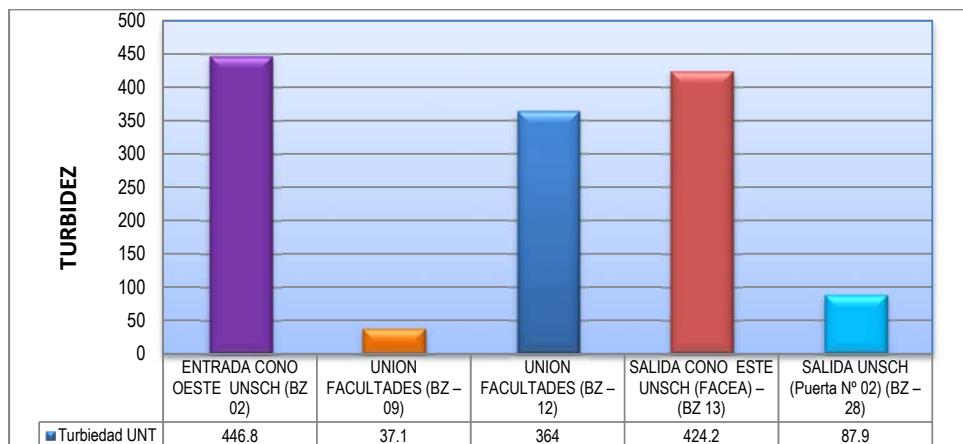
**Gráfico Nº 5.4.** Comportamiento del pH en las aguas residuales de los puntos de muestreo.



Fuente: Elaboración Propia.

En la Entrada Cono Oeste (Bz – 02) de la ciudad Universitaria, el pH es de 7.4, son aguas provenientes de desagües domésticos y mercados, mientras en la unión de las facultades (Bz -12), son provenientes de la E.F.P. de Biología, E.F.P. Ing. Química, Laboratorios de Ingeniería de Minas y Civil, del Buzón (Bz – 02), siendo su pH de 6.5, esta disminución se atribuye a que en algunos laboratorios se utilizan y se desechan soluciones acidas.

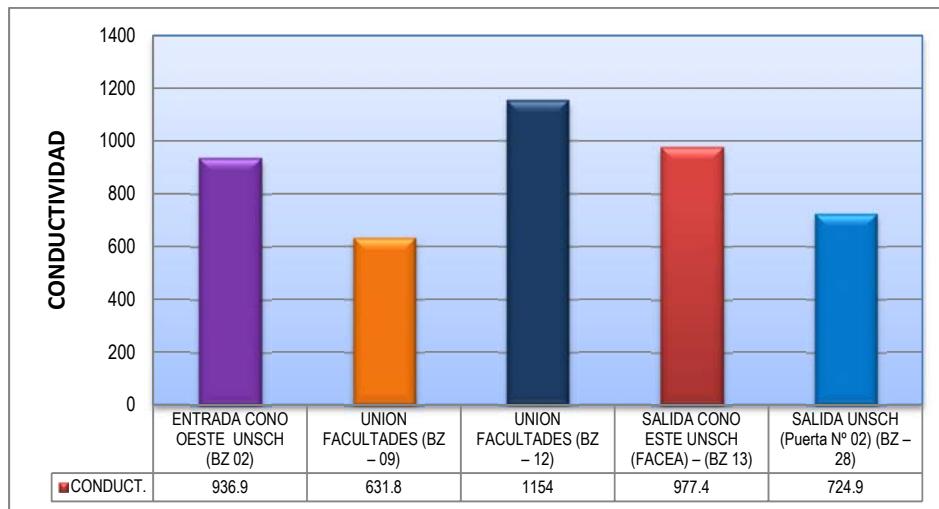
**Gráfico Nº 5.5.** Comportamiento de la Turbiedad en las aguas residuales de los puntos de muestreo.



Fuente: Elaboración Propia.

Se observa que los resultados de turbiedad varían de acuerdo a la procedencia de las aguas muestreadas, ya que a la entrada del cono oeste (Bz – 02), salida del cono este (Bz – 13) y en la unión de facultades (Bz – 12) de la ciudad universitaria, las aguas residuales son muy turbias y de uso doméstico, lo que indica la existencia de sólidos suspendidos y sustancias orgánicas en el agua, que fluctúan en un rango de 364 UNT a 447 UNT. En cuanto a la Unión de Facultades (Bz -09) y Salida UNSCH (Puerta N° 02) (Bz – 28), su turbidez son mínimas debido a que las aguas son claras y con poca existencia de sólidos suspendidos y que provienen en gran parte solo de uso en los laboratorios

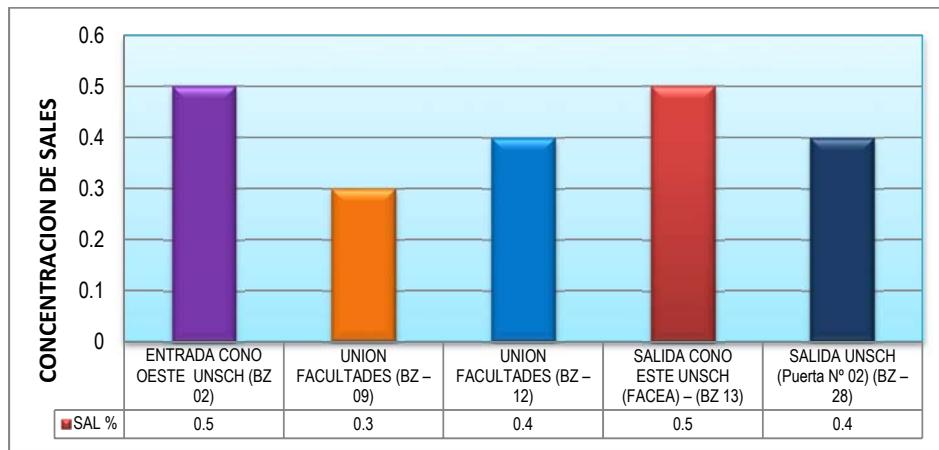
**Gráfico N° 5.6.** Comportamiento de la Conductividad Eléctrica en las aguas residuales de los puntos de muestreo.



Fuente: Elaboración Propia.

La conductividad Eléctrica específica a la entrada del cono oeste (Bz – 02), salida del cono este (Bz – 13) y en la unión de facultades (Bz – 12) de la ciudad universitaria mostraron valores altos 936.9  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 1154  $\mu\text{S}/\text{cm}$  con respecto a las otras muestras que solo provienen solamente de la ciudad universitaria.

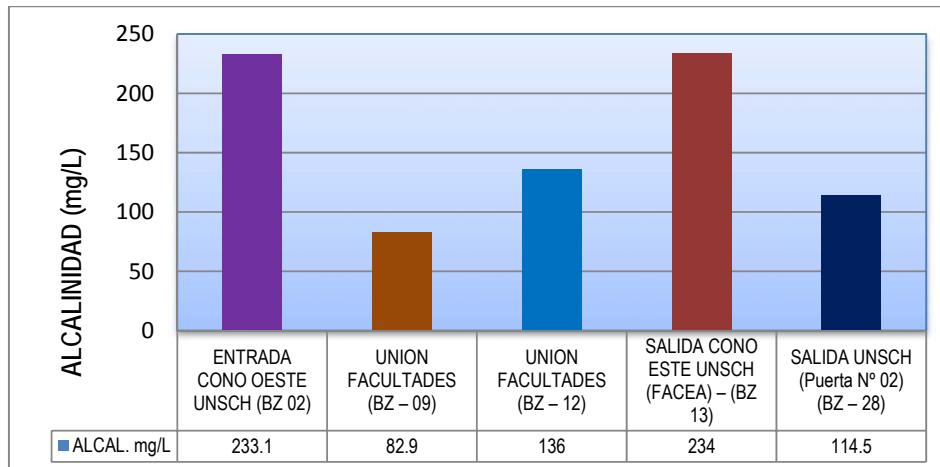
**Gráfico Nº 5.7. Comportamiento de la Concentración de Sales en las aguas residuales de los puntos de muestreo.**



Fuente: Elaboración Propia.

El rango del porcentaje de concentración de sal oscilo entre 0.3% a 0.5%. Las soluciones salinas provenientes de la Entrada Cono Oeste y de la ciudad universitaria estuvieron dentro del rango del mínimo permisible de aguas residuales.

**Gráfico Nº 5.8. Comportamiento de alcalinidad en las aguas residuales de los puntos de muestreo.**



Fuente: Elaboración Propia.

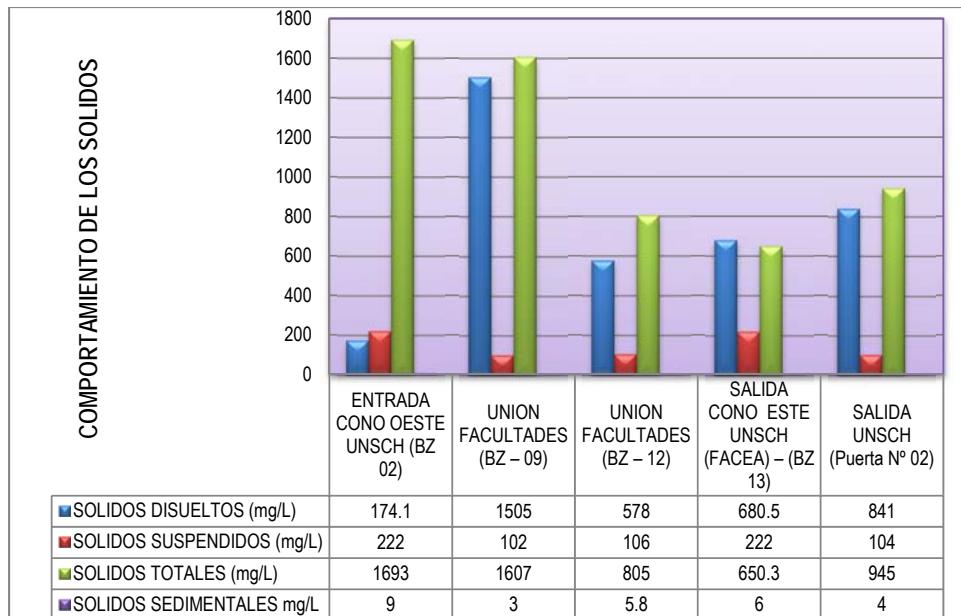
En cuanto a la Alcalinidad en los muestreos a la entrada del cono oeste (Bz – 02), salida del cono este (Bz – 13) de la ciudad universitaria mostraron valores altos entre 233 mg/L a 234 mg/L con respecto a las otras muestras que solo provienen solamente de la ciudad universitaria.

**Cuadro Nº 5.6.** Resultados de los Solidos Disueltos, suspendidos, totales y sedimentales, en aguas residuales generadas en la Ciudad Universitaria.

PUNTO DE MUESTREO	SOLIDOS DISUELTO	SOLIDOS SUSPENDIDOS	SOLIDOS TOTALES	SOLIDOS SEDIMENTALES
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	mg/L
ENTRADA CONO OESTE UNSCH (BZ 02)	174.1	222.0	1693.0	9.0
UNION FACULTADES (BZ – 09)	1505.0	102.0	1607.0	3.0
UNION FACULTADES (BZ – 12)	578.0	106.0	805.0	5.8
SALIDA CONO ESTE UNSCH (FACEA) – (BZ 13)	680.5	222.0	650.3	6.0
SALIDA UNSCH (Puerta N° 02)	841.0	104.0	945.0	4.0

Fuente: Elaboración Propia – Ensayo Laboratorio Facultad de Ciencias Biológicas

**Gráfico Nº 5.9.** Comportamiento de Concentraciones de sólidos en las aguas residuales de los puntos de muestreo.



Fuente: Elaboración Propia.

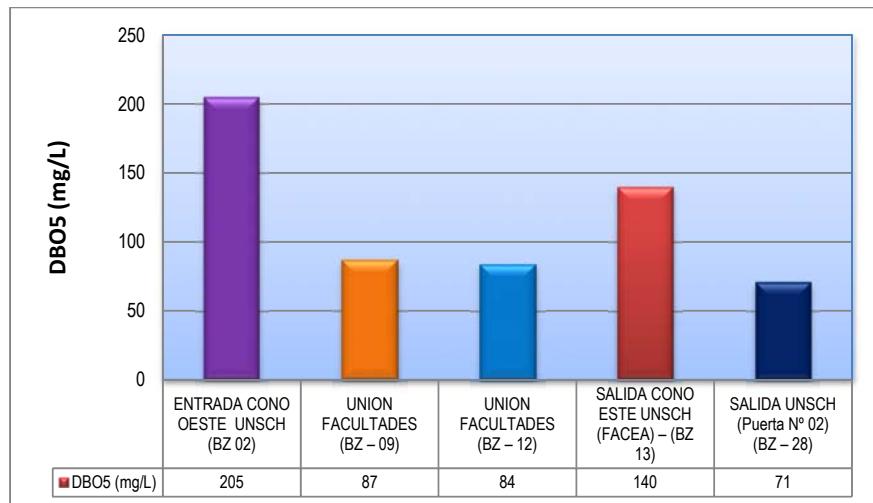
En la zona de muestreo, las aguas residuales provenientes solamente de la Ciudad Universitaria fueron ligeramente claras con poca cantidad de sólidos disueltos y suspendidos, mientras que en las aguas provenientes del Cono Oeste (Bz – 02) que cruza por la ciudad universitaria tuvieron aguas residuales turbias con muchos sólidos suspendidos y sólidos disueltos.

**Cuadro Nº 5.7. Resultados de la Demanda quimica de Oxigeno (DQO), Demanda Bioquimica de Oxigeno (DBO<sub>5</sub>)**

<b>PUNTO DE MUESTREO</b>	<b>DBO<sub>5</sub></b>	<b>DQO</b>
	(mg/L)	(mg/L)
<b>ENTRADA CONO OESTE UNSCH (BZ 02)</b>	205.0	574.0
<b>UNION FACULTADES (BZ – 09)</b>	87.0	
<b>UNION FACULTADES (BZ – 12)</b>	84.0	
<b>SALIDA CONO ESTE UNSCH (FACEA) – (BZ 13)</b>	140.0	Parámetro no realizado
<b>SALIDA UNSCH (Puerta N° 02) (BZ – 28)</b>	71.0	84.0

Fuente: Elaboración Propia – Ensayo Laboratorio Facultad de Ciencias Biológicas.

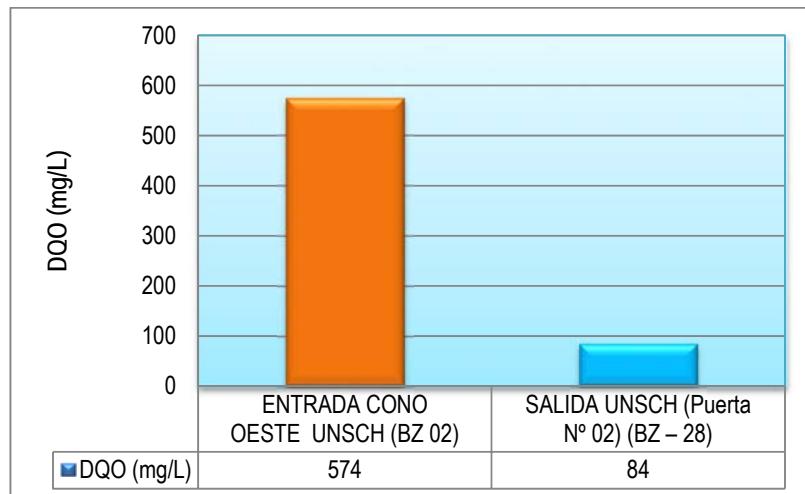
**Gráfico Nº 5.10. Comportamiento de la DBO<sub>5</sub> en las aguas residuales de los puntos de muestreo.**



Fuente: Elaboración Propia.

El resultado del valor de la DBO a los cinco días, en la Entrada de Cono Oeste (Bz- 02) y la Salida Cono Este (Bz – 13), mostro valores altos que oscilan entre 205 y 140 mg/L respectivamente, mientras provenientes de la ciudad universitaria se obtuvieron concentraciones bajas entre 71 a 87 mg/L.

**Gráfico N° 5.11.** Comportamiento de la DQO en las aguas residuales de los puntos de muestreo.



Fuente: Elaboración Propia.

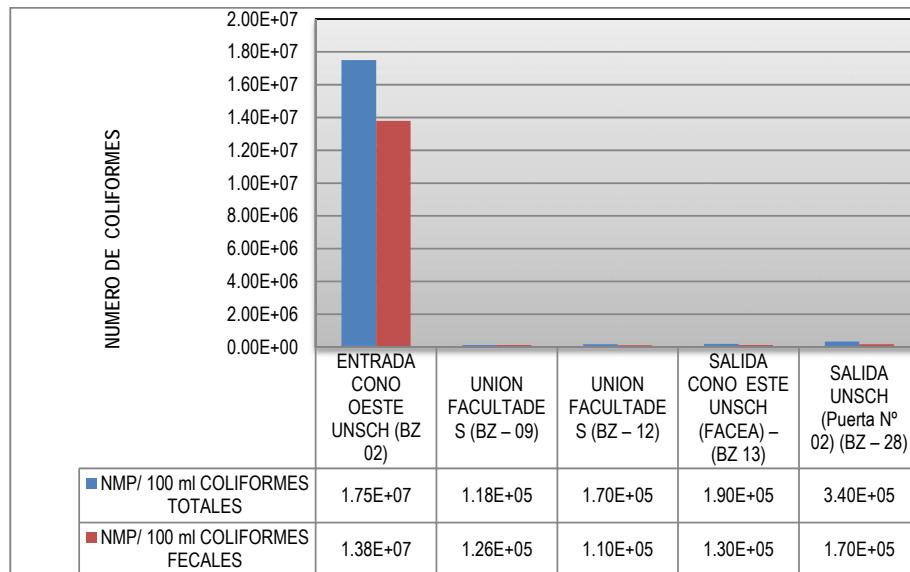
Al realizar las características de las aguas residuales de la ciudad universitaria, se concluye como resultado, que estas son aguas residuales domésticas, por lo que se considera la relación de  $\frac{DBO}{DQO} = 0.5$

**Cuadro N° 5.8.** Resultados de numeros de coliformes fecales en aguas residuales generadas en la Ciudad Universitaria.

PUNTO DE MUESTREO	NMP/ 100 ml	
	COLIFORMES TOTALES	COLIFORMES FÉCALES
ENTRADA CONO OESTE UNSCH (BZ 02)	$1.75 \times 10^7$	$1.38 \times 10^7$
UNION FACULTADES (BZ - 09)	$1.18 \times 10^5$	$1.26 \times 10^5$
UNION FACULTADES (BZ - 12)	$1.7 \times 10^5$	$1.1 \times 10^5$
SALIDA CONO ESTE UNSCH (FACEA) – (BZ 13)	$1.9 \times 10^5$	$1.3 \times 10^5$
SALIDA UNSCH (Puerta N° 02) (BZ - 28)	$3.4 \times 10^5$	$1.7 \times 10^5$

Fuente: Elaboración Propia – Ensayo Laboratorio Facultad de Ciencias Biológicas

**Gráfico N° 5.12.** Comportamiento de los Coliformes en las aguas residuales de los puntos de muestreo.



Fuente: Elaboración Propia.

A la Entrada del Cono Oeste de la ciudad universitaria el numero de coliformes totales y fecales reportan valores muy alto debido a que estas aguas provienen de las desagües domesticos y de los mercados, mientras que el numero de coliformes fecales de las aguas residuales generadas en la ciudad universitaria son bajas, esto varian en funcion al tiempo (Horario de clases y laboral).

#### **5.1.4.2. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS - BIOLOGICO DE LAS AGUAS RESIDUALES.**

Para el diseño de las unidades de tratamiento de las aguas residuales de esta tesis, utilizaremos como parámetro, los resultados de exámenes de laboratorio de aguas residuales, llevados a cabo en la ciudad de universitaria, ya que cuenta con servicio de alcantarillado sanitario y se tomara valores promedios de las muestras realizadas en los parámetros representativos. Los resultados de los análisis son presentados en el siguiente cuadro N° 5.9.

**Cuadro N° 5.9.** Valores representativos de los Análisis de Laboratorio.

Parámetro	Unidad	Valor
DBO <sub>5</sub>	mg/L	117.40
DQO	mg/L	329.0
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	2.87E+06
Coliformes Totales	NMP/100 ml	2.66E+06
Solidos suspendidos totales	mg/L	1140.06
Aceites y Grasas	mg/L	1950.00
pH		7.32

Fuente: Elaboración Propia – Ensayo Laboratorio Facultad de Ciencias Biológicas.

De acuerdo al grado de remoción y eficiencia de cada fase de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales utilizando como tratamiento final Sistema de Humedal Artificial consideraremos el afluente como la descarga de aguas servidas y efluente el resultado final, para el reúso de estas aguas en las áreas verdes, plantaciones forestales y ornamentales.

#### **5.1.4.3. TRATAMIENTO PRELIMINAR**

Este tratamiento consiste en una serie de procesos físicos, los cuales tienen el objetivo de acondicionar las características del agua, de forma tal que no causen problemas de operación y funcionamiento a las siguientes etapas. La utilidad que esta presenta es la de remover los sólidos gruesos, arenas y gravillas; así como también minimizar los efectos negativos al tratamiento. Dentro de las unidades más importantes son los que se detallan a continuación:

- Canal de entrada
- Cámara de rejas
- Desarenador

##### **a. CANAL DE ENTRADA**

El canal de acceso o, de entrada, es la estructura en la cual descarga la tubería del colector de conducción en la planta. Se propone un canal

de conducción a cielo abierto y con sección rectangular del mismo ancho de la tubería de llegada, esto con el fin de mantener constantes la velocidad y el tirante del agua. La longitud del canal de acceso no necesariamente habrá de ser calculada, pero habrá de ser suficiente para dar cabida a la basura que se aglomere en las rejillas.

**Canal de entrada Ø = 8 pulgadas = 20 cm.**

Velocidad = 0.30 - 0.60 m/s. (Velocidad de aproximación propuesta por RNE)

**Por continuidad:**

$$Q = V \cdot A$$

De ecuación de Continuidad se despeja "A" y sustituyendo el valor de caudal máximo horario calculado, se obtiene:

$$\begin{aligned} A &= \frac{Q}{V} \\ A &= \frac{0.04887 \text{ m}^3/\text{s}}{0.60 \text{ m/s}} \\ A &= 0.090 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Se asume un ancho de canal de  $b = 0.30$  mts.

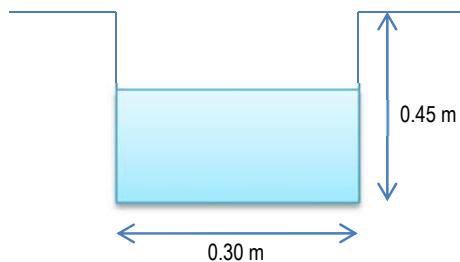
$$A = Y \cdot b$$

Dónde:

- $Y$ : es la tirante o profundidad del flujo.

$$\begin{aligned} Y &= \frac{A}{b} \\ Y &= \frac{0.090 \text{ m}^2}{0.30 \text{ m}} \\ Y &= 0.30 \text{ m} \end{aligned}$$

$Y = 30.0$  cm y se considerara 15 cm adicionales para que no trabaje a canal lleno, por tanto  $Y = 45.0$  cm.



**Figura N° 5.2.** Detalle de Seccion Transversal de Canal de Entrada

### b. CAMARA DE REJAS

El primer paso en el tratamiento preliminar del agua residual consiste en la separación de los sólidos gruesos. El procedimiento más corriente, es hacer pasar el agua residual influente a través de rejas o tamices. Se puede utilizar también triturador, que reducen a partículas diminutas los sólidos gruesos, pero sin separarlos del agua.

En los procesos de tratamiento de agua residual, las rejas se utilizan para proteger bombas, válvulas, tuberías y otros elementos, contra los posibles daños e obstrucciones provocadas por la presencia de objetos extraños de gran tamaño.

#### Criterios de diseño

Según el Cuadro N° 2.13. Parámetros de Diseño de Cámara de Rejas del Capítulo II, se calculará los parámetros establecidos como el ancho, largo y altura.

#### a) Calculo del área efectiva ( $A_u$ ):

$$A_u = \frac{Q}{V} \frac{\text{max horario}(m^3/s)}{\text{reja obstruida } (m/s)}$$

Para una velocidad entre rejas ( $V_r$ ) de 0.6m/s (NT. S.010)

$$A_u = \frac{0.04887 \text{ m}^3/\text{s}}{0.60 \text{ m/s}} = 0.081\text{m}^2$$

**b) Calculo de Eficiencia (%E):**

$$E = \frac{a}{a+e}$$

Dónde:

- e: Espesor de barras propuestas < 5-15 > (1/4") = 10 mm
- a: Separación libre entre cada barra < 25- 50 > (1" = 25 mm)

$$E = \frac{25 \text{ mm}}{25 \text{ mm} + 10 \text{ mm}}$$

$$E = 0.714 \approx 71.4\%$$

**c) Área del caudal a nivel del agua (S):**

Dónde:  $S = \frac{A_u}{E}$

- Au: Área efectiva
- E: % de eficiencia

$$S = \frac{0.081 \text{ m}^2}{0.714}$$

$$S = 0.113 \text{ m}^2$$

**d) Calculo de la Tirante (y)**

$$y = \frac{S}{a}$$

Dónde:

- S: Área del caudal a nivel del agua
- a: Ancho del canal de entrada a considerar (0.30 m)

$$y = \frac{0.113 \text{ m}^2}{0.30 \text{ m}}$$

$$y = 0.378 \text{ m} \approx 37.8 \text{ cm} \leq 40.0 \text{ cm}$$

**e) Área total de la cámara rejas**

$$At = \frac{Q_{\max \text{ hor}} * Tr}{Tirante (y)}$$

Dónde:

- At: Área total

- $Q_{\text{max hor}}$ : Caudal máximo horario
- $T_r$ : Tiempo de retención (10 seg)
- $y$ : Tirante

$$A_t = \frac{0.04887 \text{ m}^3/\text{s} * 10 \text{ s}}{0.40 \text{ m}}$$

$$A_t = 1.22 \text{ m}^2$$

### f) Longitud de la Cámara Rejas

Dónde:  $L = \frac{A_t}{a}$

- $A_t$ : Área del caudal a nivel del agua
- $a$ : Ancho del canal de entrada

$$L = \frac{1.22 \text{ m}^2}{0.30}$$

$$L = 4.05 \text{ m} \approx 4.00 \text{ m}$$

### g) Nivel máximo de agua en la cámara de rejas ( $d_{\text{max}}$ )

$$d_{\text{max}} = \frac{Q_{\text{maxhorario}}}{V.B}$$

Dónde:

- $Q_{\text{max horario}}$ : Caudal Máximo horario
- $V$ : velocidad a través de reja limpia
- $B$ : Ancho de canal para rejas

$$d_{\text{max}} = \frac{0.04887 \text{ m}^3/\text{s}}{0.60 \text{ m/s} \times 0.30 \text{ m}}$$

$$d_{\text{max}} = 0.27 \text{ m} \approx 27 \text{ cm}$$

### h) La longitud sumergida de la reja ( $L_s$ ) será:

$$L_s = \frac{d_{\text{max}}}{\sin \theta}$$

Dónde:

- $d_{\text{max}}$ : nivel máximo de agua

## **CAPITULO VI**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Una vez concluido el trabajo de investigación se puede afirmar que se alcanzó los objetivos del diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales mediante los humedales artificiales, con los parámetros establecidos según la Norma OS.070, OS.080 y OS.090, partiendo con un caudal de diseño de 48.87 l/s de acuerdo a los efectos de las variaciones de consumo ( $K_1=1.30$  -  $K_2=1.80$  a  $2.50$  –  $K_3= 0.50$ ) y luego su dimensionamiento de cada componente, tales como la canal de entrada, Cámara de Rejas (1.29 m<sup>2</sup>), Desarenador (1.96 m<sup>2</sup>), Tanque Imhoff (53.53 m<sup>2</sup>), Filtro Biológico (365.00 m<sup>2</sup>) y Humedal Artificial Sub Superficial (55.50 m<sup>2</sup>), llegando a obtener un efluente final de DBO<sub>5</sub> 1.87 mg/l, SST 16.92 mg/l y coliformes Fecales 401.80 NMP/ 100 ml, que están por debajo de los Límites Máximo Permisible (LMP), por tanto es admisible para el uso de riego de la clase III, y que solo se necesita un tratamiento de proceso biológico (Humedales Artificiales).

Diseño hidráulico de la línea de impulsión inicia con un caudal de bombeo de 69.97 l/s, potencia de 150.0 HP y diámetro de la tubería de impulsión de 8", volumen de almacenamiento circular de 1000.0 m<sup>3</sup> que necesita para el riego de todas las áreas verdes, forestales y ornamentales, según a las necesidades hídricas.

Una vez que se llegó a esta última parte del estudio, se puede decir, en primera instancia, que se demostró la importancia de una planta de tratamiento de agua residual para la Ciudad Universitaria Los Módulos, el valor presente neto (VPN) es mayor a cero, lo que origina automáticamente que el proyecto sea factible.

Los costos de inversión, operación y mantenimiento que requiere la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales utilizando humedales artificiales son costos muy reducidos a comparación de otros tratamientos secundarios, así mismo el ahorro que generara en obtener un efluente final con respecto al agua de consumo es de 875.0 %.

El uso racional de los recursos hídricos, es vital para la humanidad, debiendo estimar las fuentes de agua dulce para el consumo humano y aprovechar los desagües tratados mediante plantas de tratamiento, en el riego de las áreas verdes.

## CONCLUSIONES

1. Las muestras de las aguas residuales capturadas (recogidas) en los diferentes buzones de la ciudad universitaria Los Módulos, siendo el análisis de laboratorio DBO<sub>5</sub>, Coliformes Fecales y SST con 117.40 mg/L, 2.87E+06 NMP/100 ml y 1140.06 mg/L respectivamente y con la propuesta de la PTAR utilizando humedales artificiales se ha obtenido DBO<sub>5</sub>, Coliformes Fecales y SST con 1.87 mg/L, 401.80 NMP/100 ml y 16.92 mg/L respectivamente, siendo su tratamiento un **PROCESO BIOLOGICO**.
2. El caudal de diseño de las aguas residuales es  $Q_m = 48.87 \text{ l/s}$  de acuerdo a los efectos de las variaciones de consumo ( $K_1=1.30$  -  $K_2=1.80$  a  $2.50$  –  $K_3= 0.50$ ) y luego su dimensionamiento de cada componente, tales como la canal de entrada, Cámara de Rejas (1.29 m<sup>2</sup>), Desarenador (1.96 m<sup>2</sup>), Tanque Imhoff (53.53 m<sup>2</sup>), Filtro Biológico (365.00 m<sup>2</sup>) y Humedal Artificial Sub Superficial (55.50 m<sup>2</sup>).
3. El diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales utilizando los humedales artificiales, responde adecuadamente al comportamiento previsto, es una tecnología válida para depurar aguas residuales como tratamiento secundario o terciario; es una planta eficiente para el tratamiento de aguas residuales domésticas un grado

de remoción de 80 a 99%. Se considera una tecnología viable de bajo costos, en cuanto a su instalación, pues no requiere de trabajo permanente ni personal calificado para su operación y mantenimiento, el cual es mínimo. La dimensión de las celdas para el diseño del humedal, con relación 4:1 es aceptable, para la influencia del régimen hidráulico y la resistencia del flujo dentro del sistema.

4. Diseño hidráulico de la línea de impulsión inicia con un caudal de bombeo de 69.97 l/s, potencia de 150 HP y diámetro de la tubería de impulsión de 8", volumen de almacenamiento de 1000.0 m<sup>3</sup>; que necesita para el riego de todas las áreas verdes, forestales y ornamentales, según a las necesidades hídricas.
5. La alternativa propuesta presenta un valor presente neto positivo. Por lo tanto, se recomienda realizar la construcción por ser rentable.
6. El costo de producción de metro cubico de agua residual es de S/.0.10, este costo es inferior al costo tarifario comercial de SEDA AYACUCHO S.A, siendo la tarifa de agua de S/. 0.875, por tanto, el ahorro de agua es de 875.0 %.
7. Haciendo extensivo este ahorro se concluye que cuanto más áreas verdes, plantas forestales, frutícolas y otros se irriguen con aguas residuales tratadas en reemplazo de agua limpia, más ahorro de agua limpia.

## **RECOMENDACIONES**

1. Conociendo las características de las aguas residuales, se recomienda que la autoridad universitaria por intermedio de los profesionales de las diversas facultades, en coordinación con la Entidades Privadas y públicas, implementen la PTAR en la Ciudad Universitaria Los módulos, para reutilizar el agua residual en áreas verdes, plantaciones forestales, plantas ornamentales y evitar el uso de agua potable.
2. Despues de los estudios realizados, se determinó que el mejor lugar para la construcción de la planta se localiza al Nor-Este de las instalaciones de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, entre los límites del Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Civil y las Losas Deportivas, de acuerdo a la norma se ubican a 500 m de distancia de las aulas universitarias.
3. Se recomienda la implementación de los humedales artificiales como sistema de tratamiento de los efluentes de la ciudad universitaria, por su bajo costo de instalación, y además utilizar vegetales que se adapten al clima de la región, y cuya fibra se pueda aprovechar para otros usos.
4. La eficiencia en el uso del agua, variable futura para medir el desarrollo socio económico, solo será posible, si y solo si, se genera conciencia a

todo nivel, sobre la escasez de ella; Es decir, no debe permitirse usos irracionales del líquido elemento, generándose así una cultura hídrica y trabajando integralmente.

5. Esta Investigación proporcionara al estudiante y/o profesional interesado en el tema, el conocimiento, pasos y/o metodología para el diseño; por lo cual se proporciona la información suficiente, para poder llevar a cabo el proyecto y la ejecución; la inversión en un proyecto de esta magnitud significaría un renombre importantísimo para la universidad y generaría la atención de otros organismos públicos y privados.
6. Para garantizar el proyecto de investigación se debe ejecutar la construcción de la planta de tratamiento tal como se contempla en los planos, ya que fueron estipuladas especialmente para esta investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ANA, (2013). Autoridad Nacional del Agua. Lima, Perú.
2. Andrews, L. (2001). Métodos de Análisis de parámetros del agua, 7ma Edic. Madrid, España.
3. Ayala, R. y Gonzales, G. (2008). Apoyo didáctico en la enseñanza – aprendizaje de la asignatura de plantas de tratamiento de aguas residuales. Cochabamba – Bolivia.
4. Bermeo, L. (2010). Estudio, diseño y selección de la tecnología adecuada para tratamiento de aguas residuales domésticas para poblaciones menores a 2000 habitantes en la ciudad de Gonzanamá. Universidad Técnica Particular de Loja. Ecuador.
5. Baca, M. (2012). Tratamiento de los efluentes domésticos mediante humedales artificiales para el riego de áreas verdes en el distrito de San Juan de Marcona. Universidad Nacional de Callao. Callao, Perú.
6. Calderón, J. 2004. Indicadores ambientales. [En línea]: Scielo, (<http://www.scielo.org/scielo.php?monografias.com>, 8 junio 2013).
7. Collazos, C. (2008). Tratamiento de Aguas residuales domesticas e industriales. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
8. Cuba. J. (2002). “Determinación de la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia (ET<sub>0</sub>), coeficiente de Cultivo (K<sub>c</sub>) y Régimen de Riego para tres especies de Cultivo, Pampa del Arco a 2760 msnm - Ayacucho”. Tesis Ing° Agrónomo, UNSCH. Ayacucho, Perú.
9. Espinosa, C. (2014). “Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30,000.0 habitantes”. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, Colombia.
10. Fassbender, H. y Bornemisza, E. (1990). Química de Suelos con énfasis en suelos de América latina. IICA. San José, Costa Rica.
11. Fair, M., Geyer, J. y Okun, D. (2010). Ingeniería sanitaria y de las Aguas residuales. Abastecimiento de aguas y remoción de aguas residuales. México.
12. FONAM, (2013). Fondo Nacional del Ambiente. Lima, Perú.

13. Gil Rodríguez, Manuel. (2006). Depuración de aguas residuales: Modelización de procesos de lodos activos. CSIC.Madrid
14. González, F. (2011). “Diseño de una Planta de Tratamiento Piloto de Aguas Residuales Domésticas para el Conjunto Residencial Matisse utilizando un Humedal Artificial”. Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.
15. González, M.; Gutiérrez, J. 2005. Método gráfico para la evaluación de la calidad microbiológica de las aguas recreativas, Centro Habana, CIP 10300, Cuba.
16. Ibáñez, W. (2012). Obras Hidráulicas y de Saneamiento. Tomo I. Lima, Perú.
17. Ingaruca, E. (2010). Manual de Diseño Tratamiento y Reúso de Aguas Residuales. Gobierno Regional de Junín, Sub Gerencia de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Junín, Perú.
18. Isla, R. (2005). Proyectos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Madrid, España.
19. Llagas, W. (2006). “Diseño de Humedales Artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM”. Lima, Perú.
20. Méndez, F. (2010). “Propuesta de un modelo socio económico de decisión de uso de aguas residuales tratadas en sustitución de agua limpia para áreas verdes”. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
21. Miranda, J. (2012). “Determinación de parámetros de diseño, puesta en marcha y evaluación de la eficiencia de humedales de flujo subsuperficial en la planta piloto aurora II, para el tratamiento de aguas residuales domésticas”. Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala.
22. MINAM, 2015. V Curso de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Lima, Perú.
23. Metcalf & Eddy (1995). Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización. Volumen I-II, 3ra. Edición en español, MacGraw-Hill. Madrid, España.
24. Moscoso, J. y León, R. (1996). Curso de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales. OPS/CEPIS/PUB 96.20. Lima, Perú.
25. Montoya, E. (2007). Evaluación de las alternativas para la instalación de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales con fines de riego

agrícola en el sub sector San Agustín - Callao. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

26. OEFA, 2015. Organismo de evaluación y fiscalización ambiental.
27. Once, D. (2014). "Evaluación de las plantas de depuración de agua residual de las comunidades de soldados y Churuguzo, Cantón Cuenca, Azuay". Universidad de Cuenca. Ecuador.
28. Palomino, J. (1996). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química.
29. Pagoaga, C. (2010). Evaluación y sistematización de la operación y mantenimiento del humedal artificial de la planta San Miguel de Cementos Progreso.
30. Pittman, R. (1997). Agua potable para poblaciones rurales. Lima, Peru.
31. RNE, (2012). Reglamento Nacional de Edificaciones; Titulo II – Parte II.3. Obras de Saneamiento. Limas, Perú.
32. Rocha, A. (2007). Hidráulica de Tuberías y Canales. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
33. Schaum, V. (2005). Mecánica de los fluidos e hidráulica. Madrid – España.
34. Saldaña, J. (2007). Hidráulica de tuberías, abastecimiento de agua, redes y riegos. Universidad Los Andes. Bogotá – Colombia.
35. SUNASS, (2013). Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. Lima, Perú.
36. UNSCH. (2015). Oficina de Matricula e Informática.
37. SENHAMI. (2010). Estación Meteorológica Pampa del Arco.

**UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO**



# **ANEXOS**

**UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO**



**ANEXO N° 01:**  
**FOTOGRAFIAS**

**UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO**



**ANEXO N° 02:**  
**ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES**

**UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO**



**ANEXO N° 03:**  
**BOLETIN DE POBLACION ESTUDIANTIL**

**UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO**



**ANEXO N° 04:**  
**PLANOS**



Fotografía N° 01: Inicio del Levantamiento Topográfico en la PTAR proyectado.



Fotografía N° 02: Levantamiento Topográfico para la Línea de Impulsión.



Fotografía N° 03: Vista Panorámica de la Ubicación de la PTAR.



Fotografía N° 04: Vista Panorámica de la Línea de Impulsión de la PTAR hacia el Reservorio.



Fotografía N° 05: Recojo de Muestreo de aguas residuales en el Bz – 13 (FACEA)



Fotografía N° 06: Recojo de Muestreo de aguas residuales en el Bz – 02 (Facultad de Ciencias Sociales)



Fotografía N° 07: Recojo de Muestreo de aguas residuales en el Bz – 28 (Salida a la Puerta N° 02)



Fotografía N° 08: Recojo de Muestreo de aguas residuales en el Bz – 12 (Parque Central de la UNSCH)



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA

## FACULTAD DE CIENCIAS BIOLOGICAS

### ENSAYO DE LABORATORIO N° 011 – 2015

Solicitante	: Serapio Flores Llantoy
Dirección Legal	: Jr. Grau N° 880 – Ayacucho
Muestra N° 01	: Agua Residual Domestico: ENTRADA CONO OESTE UNSCH (Bz – 02)
Cantidad	: 2000 ml
Procedencia	: Ciudad Universitaria UNSCH
Localidad	: Ayacucho – Huamanga – Ayacucho.
Tesis	: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Utilizando Humedales Artificiales para riego en la Ciudad Universitaria Los Módulos, Ayacucho.
Fecha de Solicitud	: 13 de Agosto del 2015
Fecha de Muestreo	: 14 de Setiembre del 2015
Fecha de Análisis	: del 16 al 20 de Setiembre del 2015

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO		
PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
pH	-.-	7.4
Turbidez	UNT	446.8
Conductividad	µs/cm	936.9
Sal	%	0.5
Solidos Disueltos	mg/L	1471.0
Solidos Suspendidos	mg/L	222.0
Solidos Totales	mg/L	1693.0
Solidos Sedimentales	mg/L	9.0
Alcalinidad	mg/L	233.1
Dureza Cálcica	mg/L	61.6
Dureza Total	mg/L	115.3
Cloruros	mg/L	96.7
Dureza Magnésica	mg/L	53.6
DBO <sub>5</sub>	mg/L	205.0

LMP : Límite Máximo Permisible, para riego Clase III

mg/L : Miligramos por litro

µs/cm : microsiems por centímetro

UNT : Unidades nefelometricas de turbidez



Ayacucho, 23 de Setiembre del 2015.



UNSGS. SAÚL A. CHUCHÓN MARTÍNEZ



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLOGICAS

## ENSAYO DE LABORATORIO N° 012 – 2015

Solicitante : Serapio Flores Llantoy  
Dirección Legal : Jr. Grau N° 880 – Ayacucho  
Muestra N° 01 : Agua Residual Domestico: ENTRADA CONO OESTE UNSCH (Bz – 02)  
Cantidad : 2000 ml  
Procedencia : Ciudad Universitaria UNSCH  
Localidad : Ayacucho – Huamanga – Ayacucho.  
Tesis : Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Utilizando Humedales Artificiales para riego en la Ciudad Universitaria Los Módulos, Ayacucho.  
Fecha de Solicitud : 13 de Agosto del 2015  
Fecha de Muestreo : 14 de Setiembre del 2015  
Fecha de Análisis : del 16 al 20 de Setiembre del 2015

ANÁLISIS MICROBIOLOGICO		
PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Coliformes Totales	NMP/ 100 ml	1.75 x 10 <sup>7</sup>
Coliformes Fecales termotolerantes 0	NMP/ 100 ml	1.38 x 10 <sup>7</sup>

LMP : Límite Máximo Permisible, para riego Clase III y IV  
NMP : Numero más probable



Ayacucho, 23 de Setiembre del 2015.

  
UNSGS. SAUL A. CHUCHON MARTINEZ



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLOGICAS

## ENSAYO DE LABORATORIO N° 013 – 2015

Solicitante	: Serapio Flores Llantoy
Dirección Legal	: Jr. Grau N° 880 – Ayacucho
Muestra N° 02	: Agua Residual Domestico: UNION FACULTADES (Bz – 09)
Cantidad	: 2000 ml
Procedencia	: Ciudad Universitaria UNSCH
Localidad	: Ayacucho – Huamanga – Ayacucho.
Tesis	: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Utilizando Humedales Artificiales para riego en la Ciudad Universitaria Los Módulos, Ayacucho.
Fecha de Solicitud	: 13 de Agosto del 2015
Fecha de Muestreo	: 14 de Setiembre del 2015
Fecha de Análisis	: del 16 al 20 de Setiembre del 2015

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO		
PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
pH	-.-	7.4
Turbidez	UNT	37.1
Conductividad	µs/cm	631.8
Sal	%	0.3
Solidos Disueltos	mg/L	1505.0
Solidos Suspendidos	mg/L	102.0
Solidos Totales	mg/L	1607.0
Solidos Sedimentales	mg/L	3.0
Alcalinidad	mg/L	82.9
Dureza Cálcica	mg/L	70.0
Dureza Total	mg/L	124.9
Cloruros	mg/L	118.6
Dureza Magnésica	mg/L	54.9
DBO <sub>5</sub>	mg/L	87.0

LMP : Límite Máximo Permisible, para riego Clase III y IV

mg/L : Miligramos or litro

µs/cm : microsiems or centímetro

UNT : Unidades nefelometricas de turbidez



Ayacucho, 23 de Setiembre del 2015.

  
UNSCH. SAUL A. CHUCHON MARTINEZ



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLOGICAS

## ENSAYO DE LABORATORIO N° 014 – 2015

Solicitante : Serapio Flores Llantoy  
Dirección Legal : Jr. Grau N° 880 – Ayacucho  
Muestra N° 02 : Agua Residual Domestico: UNION FACULTADES (Bz – 09)  
Cantidad : 2000 ml  
Procedencia : Ciudad Universitaria UNSCH  
Localidad : Ayacucho – Huamanga – Ayacucho.  
Tesis : Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Utilizando  
Humedales Artificiales para riego en la Ciudad Universitaria Los  
Módulos, Ayacucho.  
Fecha de Solicitud : 13 de Agosto del 2015  
Fecha de Muestreo : 14 de Setiembre del 2015  
Fecha de Análisis : del 16 al 20 de Setiembre del 2015

ANÁLISIS MICROBIOLOGICO			
PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	
Coliformes Totales	NMP/ 100 ml	1.18 x 10 <sup>5</sup>	
Coliformes Fecales termotolerantes	0	NMP/ 100 ml	1.26 x 10 <sup>5</sup>

LMP : Límite Máximo Permisible, para riego Clase III y IV  
NMP : Numero má probable



Ayacucho, 23 de Setiembre del 2015.



UNSEHb. SAUL A. CHUCHON MARTINEZ



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA

## FACULTAD DE CIENCIAS BIOLOGICAS

### ENSAYO DE LABORATORIO N° 015 – 2015

Solicitante : Serapio Flores Llantoy  
Dirección Legal : Jr. Grau N° 880 – Ayacucho  
Muestra N° 03 : Agua Residual Domestico: UNION FACULTADES (Bz – 12)  
Cantidad : 2000 ml  
Procedencia : Ciudad Universitaria UNSCH  
Localidad : Ayacucho – Huamanga – Ayacucho.  
Tesis : Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Utilizando  
Humedales Artificiales para riego en la Ciudad Universitaria Los  
Módulos, Ayacucho.  
Fecha de Solicitud : 13 de Agosto del 2015  
Fecha de Muestreo : 14 de Setiembre del 2015  
Fecha de Análisis : del 16 al 20 de Setiembre del 2015

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO		
PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
pH	-.-	6.48
Turbidez	UNT	364.0
Conductividad	µs/cm	1154.0
Sal	%	0.4
Solidos Disueltos	mg/L	578.0
Solidos Suspendidos	mg/L	106.0
Solidos Totales	mg/L	805.0
Solidos Sedimentales	mg/L	5.80
Alcalinidad	mg/L	136.0
Dureza Cálcica	mg/L	78.6
Dureza Total	mg/L	110.56
Cloruros	mg/L	48.98
Dureza Magnésica	mg/L	37.8
DBO <sub>5</sub>	mg/L	84.0

LMP : Límite Máximo Permisible, para riego Clase III y IV

mg/L : Miligramos or litro

µs/cm : microsiems por centímetro

UNT : Unidades nefelometricas de turbidez



Ayacucho, 23 de Setiembre del 2015.

  
Saul A. CHUCHON MARTINEZ



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLOGICAS

## ENSAYO DE LABORATORIO N° 016 – 2015

Solicitante : Serapio Flores Llantoy  
Dirección Legal : Jr. Grau N° 880 – Ayacucho  
Muestra N° 03 : Agua Residual Domestico: UNION FACULTADES (Bz – 12)  
Cantidad : 2000 ml  
Procedencia : Ciudad Universitaria UNSCH  
Localidad : Ayacucho – Huamanga – Ayacucho.  
Tesis : Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Utilizando  
Humedales Artificiales para riego en la Ciudad Universitaria Los  
Módulos, Ayacucho.  
Fecha de Solicitud : 13 de Agosto del 2015  
Fecha de Muestreo : 14 de Setiembre del 2015  
Fecha de Análisis : del 16 al 20 de Setiembre del 2015

ANÁLISIS MICROBIOLOGICO		
PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Coliformes Totales	NMP/ 100 ml	$1.7 \times 10^5$
Coliformes Fecales termotolerantes	0 NMP/ 100 ml	$1.1 \times 10^5$

LMP : Límite Máximo Permisible, para riego Clase III y IV  
NMP : Numero má probable



Ayacucho, 23 de Setiembre del 2015.

  
Dr. SAÚL A. CHUCHON MARTÍNEZ



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLOGICAS

## ENSAYO DE LABORATORIO N° 017 – 2015

Solicitante : Serapio Flores Llantoy  
Dirección Legal : Jr. Grau N° 880 – Ayacucho  
Muestra N° 04 : Agua Residual Domestico: SALIDA CONO ESTE UNSCH (Bz – 13)  
Cantidad : 2000 ml  
Procedencia : Ciudad Universitaria UNSCH  
Localidad : Ayacucho – Huamanga – Ayacucho.  
Tesis : Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Utilizando Humedales Artificiales para riego en la Ciudad Universitaria Los Módulos, Ayacucho.  
Fecha de Solicitud : 13 de Agosto del 2015  
Fecha de Muestreo : 14 de Setiembre del 2015  
Fecha de Análisis : del 16 al 20 de Setiembre del 2015

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO		
PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
pH	-.-	7.1
Turbidez	UNT	424.2
Conductividad	µs/cm	977.4
Sal	%	0.5
Solidos Disueltos	mg/L	680.5
Solidos Suspendidos	mg/L	220.0
Solidos Totales	mg/L	650.3
Solidos Sedimentales	mg/L	6.0
Alcalinidad	mg/L	234.0
Dureza Cálcica	mg/L	106.0
Dureza Total	mg/L	78.98
Cloruros	mg/L	56.32
Dureza Magnésica	mg/L	36.25
DBO <sub>5</sub>	mg/L	140.0

LMP : Límite Máximo Permisible, para riego Clase III y IV

mg/L : Miligramos por litro

µs/cm : microsiems por centímetro

UNT : Unidades nefelometricas de turbidez



Ayacucho, 23 de Setiembre del 2015.

  
UNSCH. SAUL A. CHUCHON MARTINEZ



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLOGICAS

## ENSAYO DE LABORATORIO N° 018 – 2015

Solicitante	: Serapio Flores Llantoy
Dirección Legal	: Jr. Grau N° 880 – Ayacucho
Muestra N° 04	: Agua Residual Domestico: SALIDA CONO ESTE UNSCH (Bz – 13)
Cantidad	: 2000 ml
Procedencia	: Ciudad Universitaria UNSCH
Localidad	: Ayacucho – Huamanga – Ayacucho.
Tesis	: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Utilizando Humedales Artificiales para riego en la Ciudad Universitaria Los Módulos, Ayacucho.
Fecha de Solicitud	: 13 de Agosto del 2015
Fecha de Muestreo	: 14 de Setiembre del 2015
Fecha de Análisis	: del 16 al 20 de Setiembre del 2015

ANÁLISIS MICROBIOLOGICO		
PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Coliformes Totales	NMP/ 100 ml	1.9 x 10 <sup>5</sup>
Coliformes Fecales termotolerantes	0 NMP/ 100 ml	1.3 x 10 <sup>5</sup>

LMP : Límite Máximo Permisible, para riego Clase III y IV  
NMP : Numero más probable



Ayacucho, 23 de Setiembre del 2015.

  
Saul A. CHUCHON MARTINEZ



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA

## FACULTAD DE CIENCIAS BIOLOGICAS

### ENSAYO DE LABORATORIO N° 019 – 2015

Solicitante : Serapio Flores Llantoy  
Dirección Legal : Jr. Grau N° 880 – Ayacucho  
Muestra N° 05 : Agua Residual Domestico: SALIDA UNSCH (Puerta N° 02) (Bz – 28)  
Cantidad : 2000 ml  
Procedencia : Ciudad Universitaria UNSCH  
Localidad : Ayacucho – Huamanga – Ayacucho.  
Tesis : Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Utilizando Humedales Artificiales para riego en la Ciudad Universitaria Los Módulos, Ayacucho.  
Fecha de Solicitud : 13 de Agosto del 2015  
Fecha de Muestreo : 14 de Setiembre del 2015  
Fecha de Análisis : del 16 al 20 de Setiembre del 2015

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO		
PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
pH	-.-	8.2
Turbidez	UNT	87.9
Conductividad	µs/cm	724.9
Sal	%	0.4
Solidos Disueltos	mg/L	841.0
Solidos Suspensidos	mg/L	104.0
Solidos Totales	mg/L	945.0
Solidos Sedimentales	mg/L	4.0
Alcalinidad	mg/L	114.5
Dureza Cálcica	mg/L	61.0
Dureza Total	mg/L	98.80
Cloruros	mg/L	132.0
Dureza Magnésica	mg/L	37.8
DBO <sub>5</sub>	mg/L	71.0

LMP : Límite Máximo Permisible, para riego Clase III y IV

mg/L : Miligramos por litro

µs/cm : microsiems por centímetro

UNT : Unidades nefelometricas de turbidez



Ayacucho, 23 de Setiembre del 2015.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
Saula Chuchon Martínez



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLOGICAS

## ENSAYO DE LABORATORIO N° 020 – 2015

Solicitante : Serapio Flores Llantoy  
Dirección Legal : Jr. Grau N° 880 – Ayacucho  
Muestra N° 05 : Agua Residual Domestico: SALIDA UNSCH (Puerta N° 02) (Bz – 28)  
Cantidad : 2000 ml  
Procedencia : Ciudad Universitaria UNSCH  
Localidad : Ayacucho – Huamanga – Ayacucho.  
Tesis : Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Utilizando Humedales Artificiales para riego en la Ciudad Universitaria Los Módulos, Ayacucho.  
Fecha de Solicitud : 13 de Agosto del 2015  
Fecha de Muestreo : 14 de Setiembre del 2015  
Fecha de Análisis : del 16 al 20 de Setiembre del 2015

ANÁLISIS MICROBIOLOGICO		
PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Coliformes Totales	NMP/ 100 ml	3.4 x 10 <sup>5</sup>
Coliformes Fecales termotolerantes	0 NMP/ 100 ml	1.7 x 10 <sup>5</sup>

LMP : Límite Máximo Permisible, para riego Clase III y IV  
NMP : Numero más probable



Ayacucho, 23 de Setiembre del 2015.

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLOGICAS  
AYACUCHO  
UNSCH, SAUL A. CHUCHON MARTINEZ

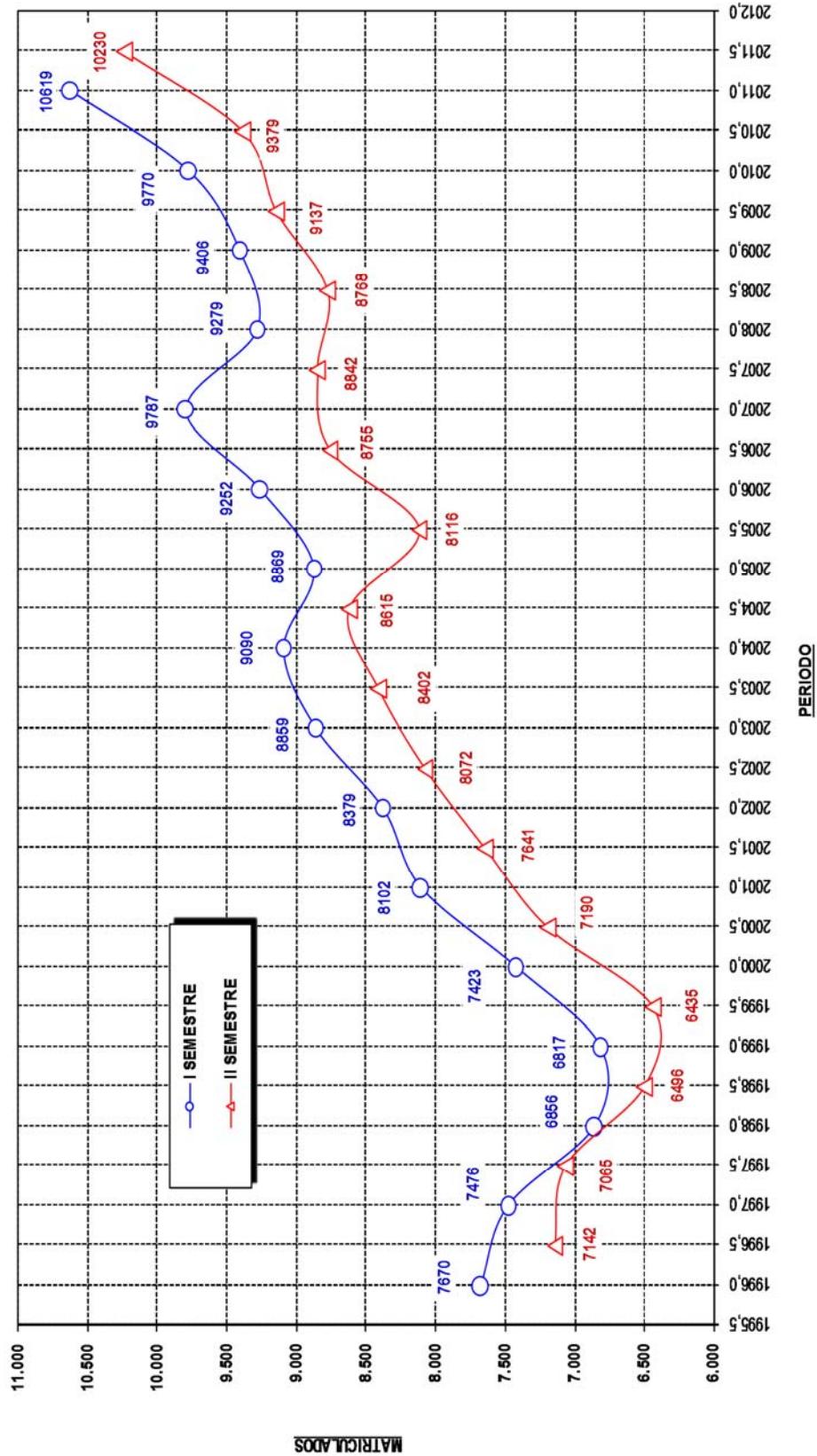
**CUADRO N° 2.2: MATRICULADOS 1990 – 2011. POR ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL**

Cod	Escuela de Formación Profesional	1990*	1991	1992*	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011																
01	Agronomía	438	578	583	479	590	641	608	588	567	510	524	503	498	570	557	582	551	565	540	550	532	548	512	553	510	570	514											
02	Biología	287	450	419	330	276	416	364	391	354	307	319	315	308	325	307	349	328	347	325	328	323	327	326	341	326	363	333	368	421	399	465	454						
03	Educación Inicial	133	201	170	164	215	202	203	201	198	191	209	188	210	205	225	214	242	226	254	245	250	238	216	213	204	196	169	166	146	145	122	111	111	114	140	153		
04	Educación Primaria	123	206	210	184	260	284	283	278	267	265	260	284	245	287	282	309	305	325	322	332	322	332	329	324	317	298	290	292	275	252	222	215	189	187	169	166	171	173
05	Educación Secundaria	465	542	528	435	425	557	523	493	473	481	464	433	406	387	396	368	351	381	358	379	347	369	351	359	316	360	346	368	324	367	348	365	353	359	348	412	420	
06	Educación Física	134	174	165	125	146	152	148	143	140	131	127	148	140	146	138	165	160	197	178	216	206	227	220	234	201	213	190	195	157	148	145	114	104	96	100	132	123	
07	Administración	267	361	342	302	362	372	367	361	335	363	379	319	294	357	339	383	350	380	370	406	390	431	412	392	459	419	501	456	491	480	534	525	591	568	645	621		
08	Contabilidad y Auditoría	473	566	453	536	540	592	560	571	540	460	463	478	447	547	522	549	535	555	519	567	512	564	582	611	533	594	582	627	592	601	581	611	620	629	634	684	679	
09	Economía	248	309	317	192	261	253	226	248	218	215	228	222	277	257	297	282	329	309	345	336	371	357	347	324	392	374	480	427	488	465	534	525	598	571	641			
10	Antropología Social	93	139	154	91	112	129	113	127	114	92	110	118	116	134	140	159	155	205	202	251	239	261	250	294	228	290	299	306	275	341	284	370	333	384	360	384	336	
11	Arqueología e Historia	97	195	175	101	145	150	134	139	131	109	102	119	99	128	119	148	146	171	191	216	223	228	226	270	243	280	292	279	268	255	284	263	276	248	279	282	280	
12	Servicio Social	103	156	156	109	122	127	117	139	126	137	125	137	125	137	156	150	208	197	245	234	266	252	286	268	306	288	340	328	323	315	312	316	336	346	347	349	359	356
13	Derecho	571	546	516	420	568	693	604	652	631	587	552	621	590	665	634	667	639	712	632	625	610	639	599	639	602	661	628	686	626	657	637	652	655	659	646	698	680	
14	Enfermería	433	497	537	436	516	531	511	523	447	488	438	362	367	360	344	374	337	335	332	374	355	395	353	372	358	437	408	461	419	412	376	433	410	411	400	433	421	
15	Ingeniería de Minas	216	258	236	175	233	226	207	239	222	183	216	191	241	228	278	211	260	288	262	296	279	261	254	272	273	310	285	294	271	301	299	332	315	369	353			
16	Ingeniería Civil	341	462	473	413	549	559	558	564	507	391	457	423	465	443	512	465	483	433	482	437	481	440	465	428	461	413	491	439	487	465	488	473	526	508	547	535		
17	Ingeniería Química	260	325	293	225	217	223	171	193	196	221	177	171	164	193	185	218	204	22	203	227	206	228	229	205	164	179	161	187	155	150	145	159	146	142	141	201	188	
18	Obstetricia	544	549	553	426	537	566	549	539	548	507	486	455	453	469	500	466	507	435	466	418	468	426	404	404	366	463	404	395	396	407	376	419	376	463	418			
19	Ing. en Ind. Alimentarias	50	171	171	169	246	311	269	309	299	269	263	252	316	294	341	314	360	305	359	318	335	326	286	245	270	261	294	238	225	247	238	243	209	305	274			
20	Farmacia y Biología	-	-	60	58	191	302	288	326	314	296	295	341	332	336	340	346	330	349	338	310	262	369	344	303	370	322	337	330	285	369	386	411	400	435	409	430	433	
21	Ingeniería Agrícola	-	-	45	19	65	82	73	82	80	84	82	100	99	161	162	220	211	286	276	328	309	351	334	352	331	411	376	447	400	462	436	472	463	491	480	531	519	
22	Ingeniería Agroindustrial	-	-	51	17	79	93	78	86	72	91	90	113	107	141	143	202	183	231	270	259	283	264	267	241	278	257	287	259	250	220	227	237	215	242	220	275	263	
23	Cs. de la Comunicación	-	-	-	61	133	129	160	154	171	162	158	150	171	160	172	172	202	180	215	209	231	249	232	264	261	294	287	301	291	325	314	356	360	396	398			
24	Medicina Veterinaria	-	-	-	-	27	27	53	48	58	64	81	81	145	142	204	187	258	276	294	278	337	330	349	338	144	135	108	102	77	49	42	-	-	-	-	-		
25	Ingeniería Informática	-	-	-	-	36	33	69	66	91	78	120	114	167	167	223	200	251	311	296	362	338	154	159	169	178	160	203	159	152	163	146	160	137	177	150			
26	Cs. Físico-Matemáticas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
27	Ing. de Sistemas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
28	Ing. Agroforestal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Estudios Generales	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Total		5276	6685	6741	7191	7389	7607	7142	7476	7068	6856	6496	6817	6435	7423	7190	8102	7641	8379	8072	8859	8402	9090	8615	8869	8116	9252	8755	9787	8842	9279	8768	9406	9137	9770	9379	10619	10230	

Fuente: Oficina General de Informática y Sistemas

(\*) En el año de 1991 hubo desfase del Año Académico

GRAFICO N° 2.2: MATRICULADOS PREGRADO 1996 - 2012 (I y II SEMESTRE ACADEMICO)

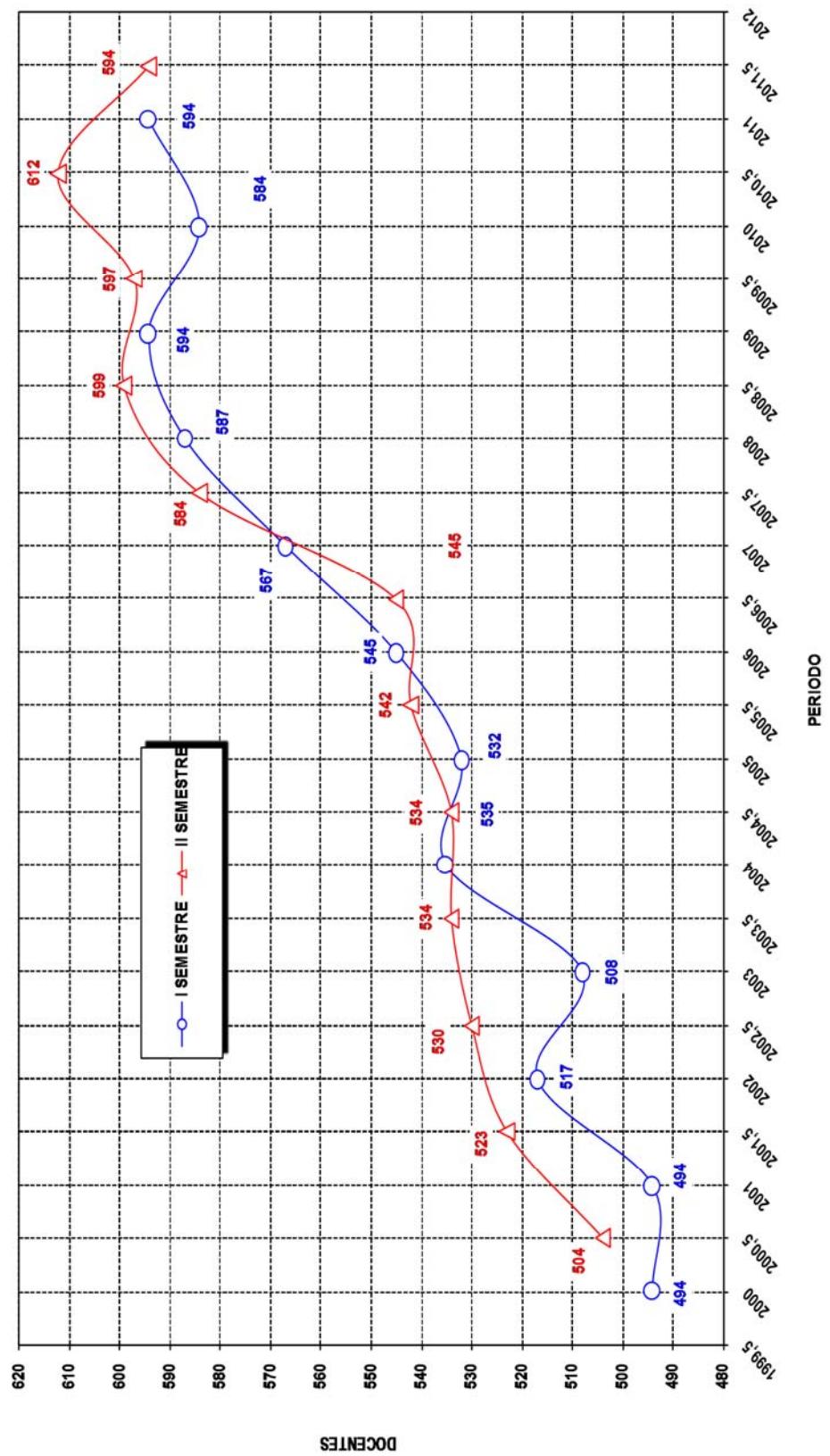


**CUADRO N° 2.3: DOCENTES 1981 – 2011. NOMBRADOS Y CONTRATADOS POR DEPARTAMENTO ACADÉMICO Y CONDICION LABORAL**

Facultad	Departamento Académico	Condición Laboral	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011		
FCA	Agronomía y Zootecnia	Contratado	13	8	7	2	5	8	5	7	5	6	9	5	8	4	10	8	9	7	13	14	18	20	19	15	15	21	16	21	31	24			
	Nombrado	27	30	31	34	36	33	39	36	40	37	35	39	35	40	40	40	40	40	40	40	40	39	40	38	38	44	44	44	44	42				
FCB	Ciencias Biológicas	Contratado	8	6	8	4	4	12	9	12	7	26	28	5	7	10	10	13	17	19	12	12	16	15	15	15	7	8	13	14	16	18	15		
	Nombrado	25	25	31	32	25	30	29	37	60	55	32	31	33	31	33	33	32	32	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	43	43	47	47	44	
FCE	Educación y Ciencias Humanas	Contratado	18	18	25	24	15	12	15	17	13	36	30	27	20	17	17	20	29	27	23	19	24	24	24	25	26	27	24	23	32	31			
	Nombrado	35	38	33	37	49	52	51	47	50	73	58	53	52	52	54	50	48	48	47	51	51	49	49	49	51	52	54	60	60	82	81			
FCEAC	Lenguas y Literatura	Contratado	2	4	8	7	11	8	9	6	6	6	6	4	5	4	5	5	8	7	6	9	10	11	12	13	6	3	5	5	6				
	Nombrado	19	18	20	22	19	21	18	22	26			20	20	17	21	19	18	18	19	18	18	18	17	24	25	25	26	25						
FCS	Clencias Económicas y Administrativas	Contratado	10	13	14	12	12	15	19	14	12	20	20	6	8	9	7	9	5	8	7	9	6	8	9	9	5	6	9	6	9	8	5		
	Nombrado	18	18	21	22	25	25	22	30	31	28	24	37	33	33	36	36	35	35	34	33	33	32	32	32	32	35	35	34	38	37	36			
FDCJ	Clencias Histórico Sociales	Contratado	6	8	6	6	7	7	10	8	14	15	11	13	10	9	12	13	19	17	15	17	18	21	19	23	23	35	19	19	18				
	Nombrado	28	25	30	30	27	27	27	28	31	30	24	21	20	21	24	23	23	23	21	24	21	21	21	21	21	21	21	21	37	36	35			
FENF	Enfermería	Contratado	9	10	9	9	12	12	14	14	12	11	14	15	14	19	16	18	18	17	17	17	17	17	17	15	13	14	15	14	14				
	Nombrado	11	16	20	9	10	11	8	8	4	6	7	10	11	13	6	6	14	16	9	12	12	10	11	8	7	7	7	13	11					
FIMGC	Ingeniería de Minas, Geología y Civil	Contratado	37	36	34	16	17	17	20	23	27	25	22	20	20	18	24	22	22	24	24	24	24	24	24	23	27	27	27	29	29	27			
	Nombrado	5	3	3	2	4	4	7	5	7	9	16	12	19	18	20	10	9	11	6	8	12	14	11	13	8	7	6	4	4	37	46			
FIQM	Ingeniería Química	Contratado	22	20	22	23	24	26	23	26	25	20	23	23	23	25	23	22	22	25	23	20	20	21	20	23	25	26	28	27	66	65			
	Nombrado	8	6	10	9	11	11	20	15	13			13	9	11	15	14	14	18	10	24	30	34	35	36	30	35	35	35	30					
FO	Obstetricia	Contratado	37	37	38	36	34	36	36	25	30	36		30	27	27	33	31	31	32	31	29	28	28	35	30	35	46	42						
	Nombrado	6	6		1	1	5	3	3	5	6	4	8	9	12	4	5	10	7	8	9	10	11	8	10	12	4	4	5	5					
	Subtotal	Contratado	94	91	109	85	98	111	129	120	100	152	165	115	129	127	131	128	151	167	122	148	174	188	193	199	159	163	196	147	157	182	175		
	Nombrado	286	288	299	317	328	325	315	336	379	346	302	345	331	325	376	353	352	353	349	342	341	335	383	382	388	382	388	452	440	430	419			
	Total	380	379	408	402	426	436	444	456	479	498	467	460	452	460	457	481	503	519	475	504	530	534	542	545	584	599	597	612	594					

Fuente: Oficina de Remuneraciones y Pensiones  
Docentes\_1981-2011

GRAFICO N° 2.3: DOCENTES 2000 – 2012 (I y II SEMESTRE ACADEMICO)



**CUADRO N° 2.4: PERSONAL ADMINISTRATIVO (1990 – 2011). NOMBRADOS Y CONTRATADOS POR NIWELES**

G. Ocupacional y Nivel Remunerativo		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	
		N	C	N	C	N	C	N	C	N	C	N	C	N	C	N	C	N	C	N	C	N	C	
FUNCIONARIOS	30	1	19	5	39	38	37	31	3	31	2	11	30	10	2	28	3	32	5	31	6	30	9	
F - 5		21																						
F - 4		7	1	4	2	7	7	7	2	3	1	7				3	2	3	6	3	4	1	3	
F - 3		2	15	3	27	26	27	27	28	1	11	20	10	25	1	30	2	28	1	23	4	23	4	
F - 2																								
F - 1																								
PROFESSIONALES	134		179		45	36	36	80		73	2	36	16	36	17	31	25	32	18	30	20	28	18	
SP'A"	9	18	8	8	7	7	8	7	2	6	6	7	2	6	7	2	7	1	6	1	4	2	3	
SP"B"	17	18	3	3	3	8	9	7	7	1	6	6	6	5	1	5	8	4	4	1	1	3	5	
SP'C"	73	73	13	12	9	9	42	37	13	6	13	7	12	15	13	11	10	13	10	11	20	5	17	
SP'D"	35	70	21	21	16	16	21	19	9	4	8	7	7	7	7	5	7	4	5	7	9	3	8	
SP'F"																								
TÉCNICOS	91	1	92	1	154	125	117	58	54	5	109	49	120	75	105	80	98	75	95	77	94	76	93	84
ST"A"	12	11	1	77	75	73	73	8	8	1	45	9	41	11	38	11	38	10	35	15	39	4	43	8
ST"B"	16	15	55	34	34	10	9	27	2	23	8	20	9	19	8	18	9	18	8	18	12	21	7	
ST"C"		40	10	8	8	8																		
ST"D"	37	26	7	6																				
ST"E"	26	1	5	1	1	19	18	12	4	13	15	12	12	11	11	11	11	11	11	10	12	11	10	
ST"F"																								
AUXILIARES	25	1	77	194	190	187	67	66	79	65	32	46	81	41	83	39	80	40	78	42	77	41	79	78
SA"A"	8	45	43	41	40	38	46	23	45	6	32	8	29	10	27	9	28	9	30	9	29	8	34	2
SA"B"	17	1	23	27	27	20	11	52	11	15	10	16	10	16	10	15	10	13	19	6	17	6	35	4
SA"C"		9	65	63	63																			
SA"D"																								
SA"E"																								
SA"F"																								
OBEROS	104	14	39	23																				
OB'I"	38	8	30	15																				
OB''I"	66	6	9	8																				
SUBTOTAL	384	17	406	29	432	398	377	271	21	260	88	257	127	247	175	240	191	236	178	231	181	228	180	
TOTAL	401		435		830		754		292		348		384		422		431		414		412		408	

Fuente: Oficina de Remuneraciones y Pensiones C: Contratado N: Nombrado

26

3

4

5

6

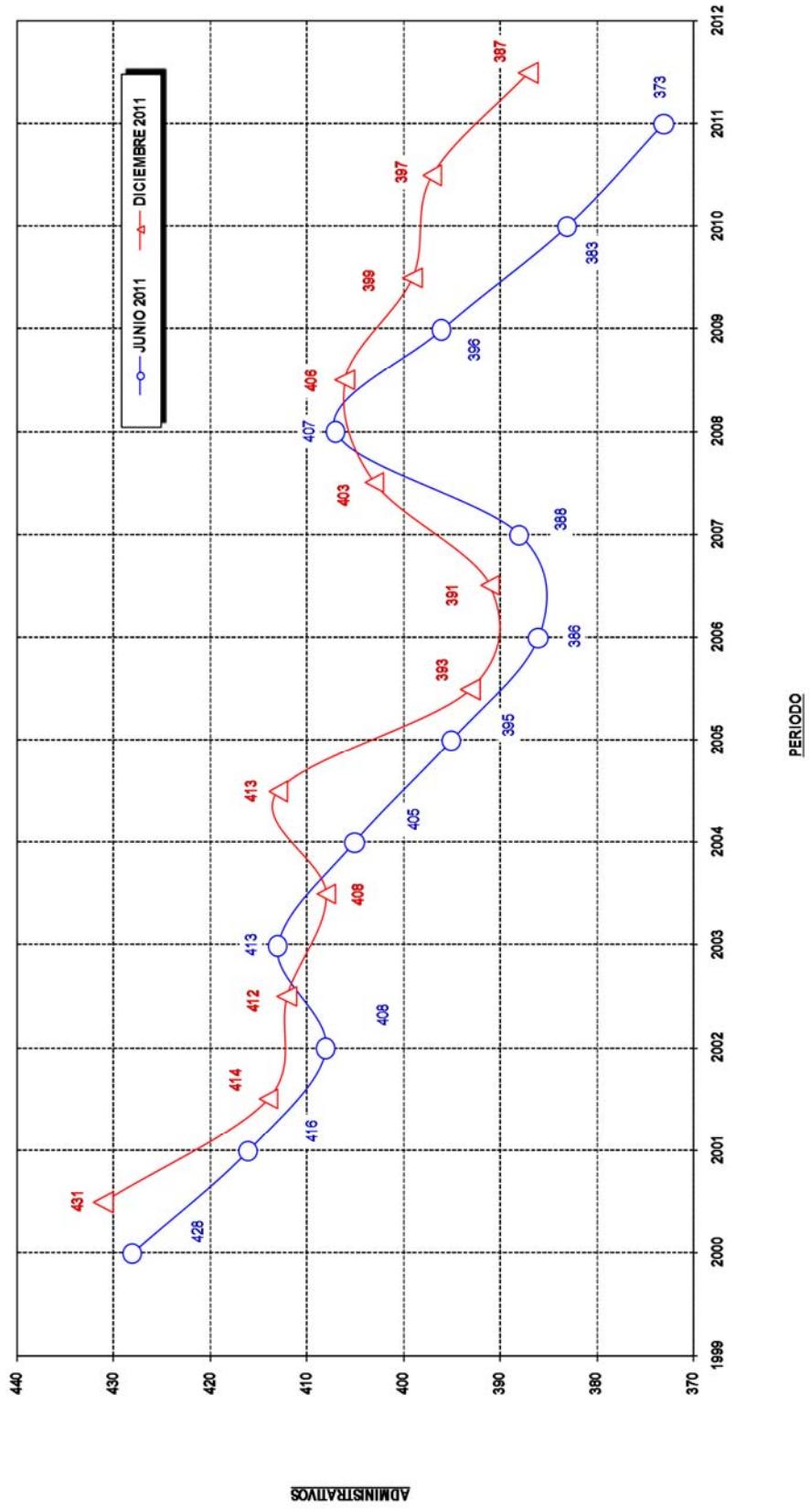
7

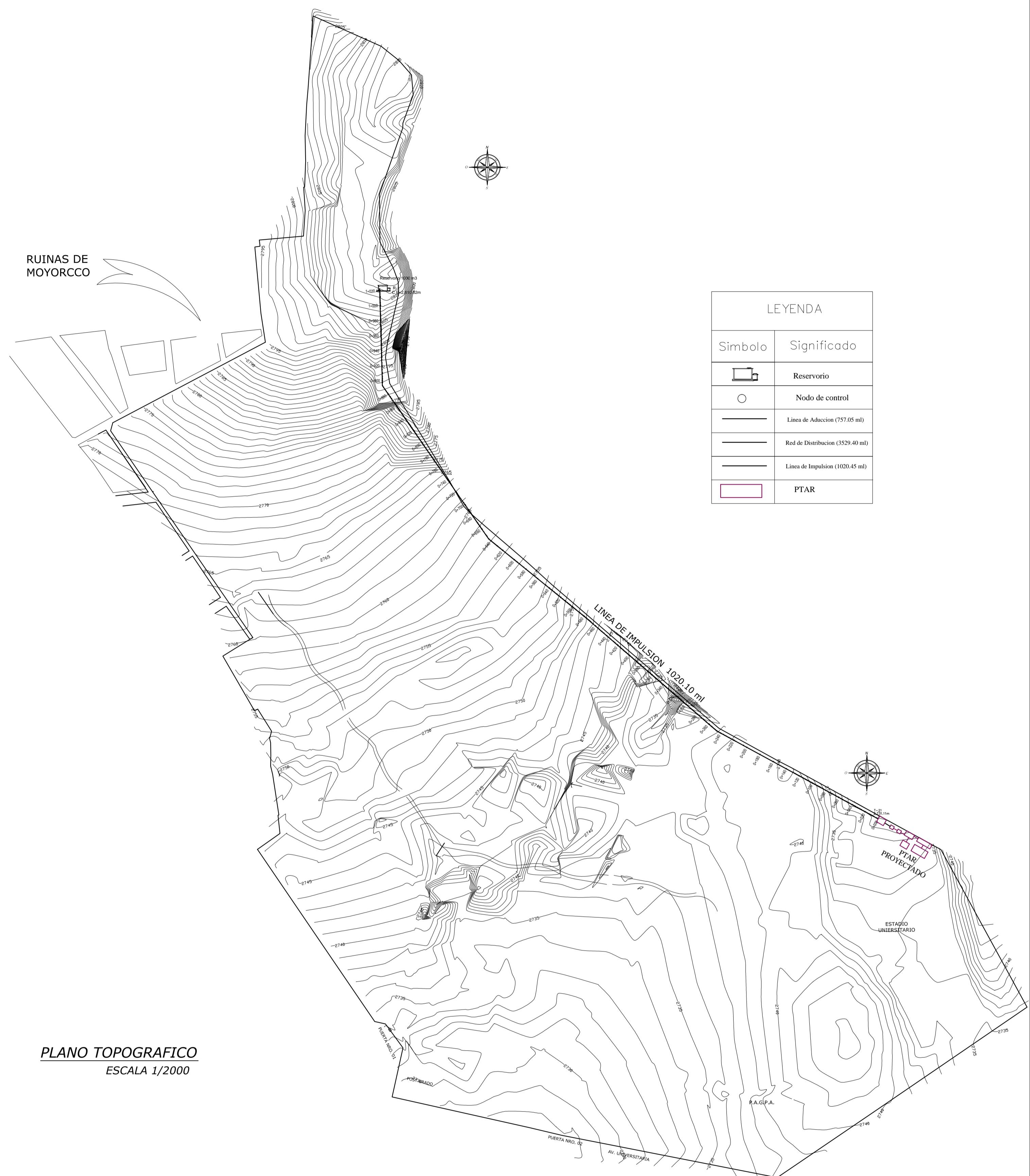
8

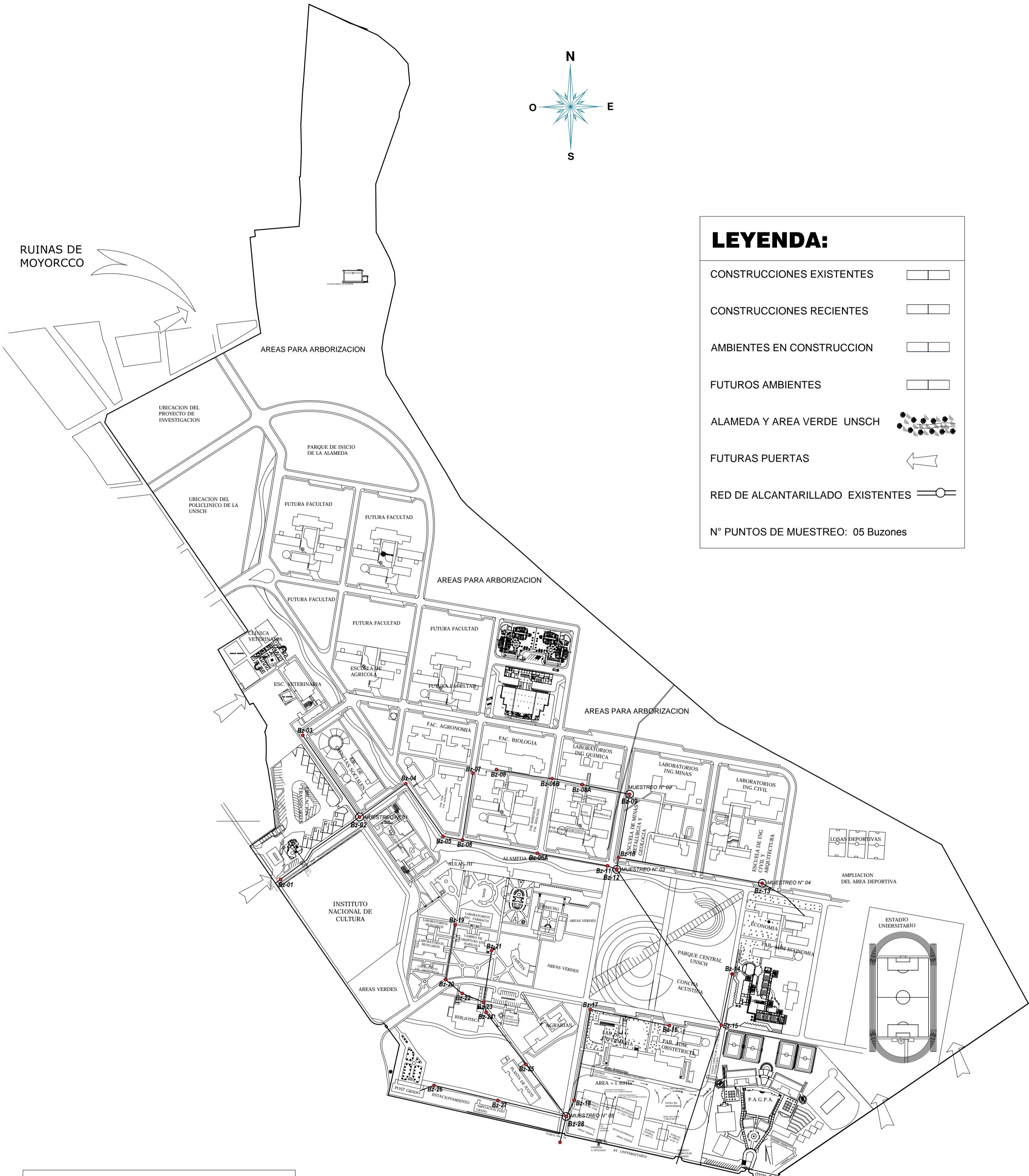
9

10

GRAFICO N° 2.4: PERSONAL ADMINISTRATIVOS POR SEMESTRE ACADEMICO PERIODO 2000 - 2011







### *Ubicación de los Muestreos de Aguas Residuales*

---

MUESTREO N° 01 (Bz-02)

Buzón Entrada Corte Oeste UNSCH

#### **MULTITRACK M-22 (P-22)**

## MUESTREO N

*Buzon Union de E.F.P.  
- E.F.P. Biologia - Quimica*

### MUESTREO N° 03 (Bz-12)

*Buzon Union:*  
- Entrada C

#### MUESTREO N° 24 (P= 12)

*MUESTREO N° 04 (Bz-13)*  
*Buzon FACEA*

## *PLANO DE ALCANTARILLADO EXISTENTE*

---

*ESCALA 1/2000*

# UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO

## FACULTAD DE INGENIERIA



	FACULTAD DE INGENIERIA				
	PROYECTO: "DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES UTILIZANDO HUMEDALES ARIFICIALES PARA RIEGO EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA LOS MODULOS, AYACUCHO"				
	PLANO : RED DE ALCANTARILLADO EXISTENTE Y LOCALIZACION DE PUNTOS DE MUESTREO				
	UBICACION:	LOCALIDAD: Ciudad Universitaria		LEV.TOP.:	DIBUJO:
		DISTRITO: Ayacucho		Serapio Flores LLantoy	Serapio Flores LLantoy
		PROVINCIA : Huamanga		ESCALA :	FECHA:
DEPARTAMENTO: Ayacucho		Indicada	Ayacucho, Abril 2016		
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL: INGENIERIA CIVIL					
ASESOR:	REVISION :	APROBADO :			
	Ing. Henry G. Godíñez Calisaya	Ingenieros:		Ing. Henry G. Godíñez Calisaya	

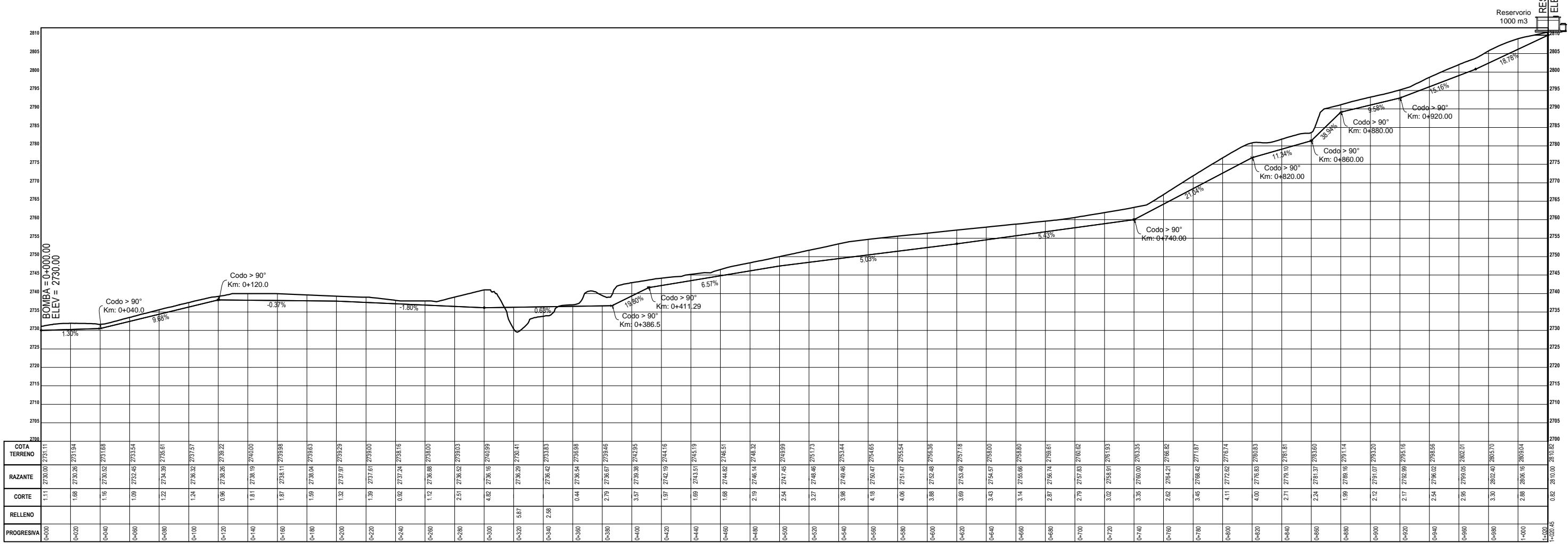


PLANO DE ALCANTARILLADO PROYECTADO  
ESCALA 1/2000

UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO FACULTAD DE INGENIERIA			
PROYECTO: "DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES UTILIZANDO HUMEDALES ARTIFICIALES PARA RIEGO EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA LOS MÓDULOS, AYACUCHO"			
PLANO : RED DE ALCANTARILLADO PROYECTADO			Nro PLANO
UBICACION:	LOCALIDAD: Ciudad Universitaria DISTRITO: Ayacucho PROVINCIA : Huamanga DEPARTAMENTO: Ayacucho	LEV.TOP.: Serapio Flores Llantay ESCALA : Indicada FECHA: Ayacucho, Abril 2016 ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL: INGENIERIA CIVIL	DIBUJO: Serapio Flores Llantay PROYECTO: APROBADO Ing. Henry G. Godíñez Calisaya
ASESOR:	REVISIÓN : Ing. Henry G. Godíñez Calisaya	APROBADO Ing. Henry G. Godíñez Calisaya	L-02

# BOMBEO - LINEA DE ADUCCION

## 0+000.00 - 1+020.45



### PLANO PERFIL LINEA DE IMPULSION

ESCALA 1/1000

UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO  
FACULTAD DE INGENIERIA



PROYECTO: "DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES UTILIZANDO HUMEDALES ARTIFICIALES PARA RIEGO EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA LOS MODULOS, AYACUCHO"

PLANO :

PERFIL LONGITUDINAL DE LA LINEA DE IMPULSION

UBICACION:	LOCALIDAD: Ciudad Universitaria	LEV.TOP.: Serapio Flores Llantoy	DIBUJO: Serapio Flores Llantoy	Nro PLANO L-03
	DISTRITO: Ayacucho	ESCALA : Indicada	FECHA: Ayacucho, Abril 2016	
	PROVINCIA : Huamanga			
	DEPARTAMENTO: Ayacucho	ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL: INGENIERIA CIVIL		
ASESOR:	REVISION :	APROBADO :	Ing. Henry G. Godíñ o Calisaya	Ing. Henry G. Godíñ o Calisaya

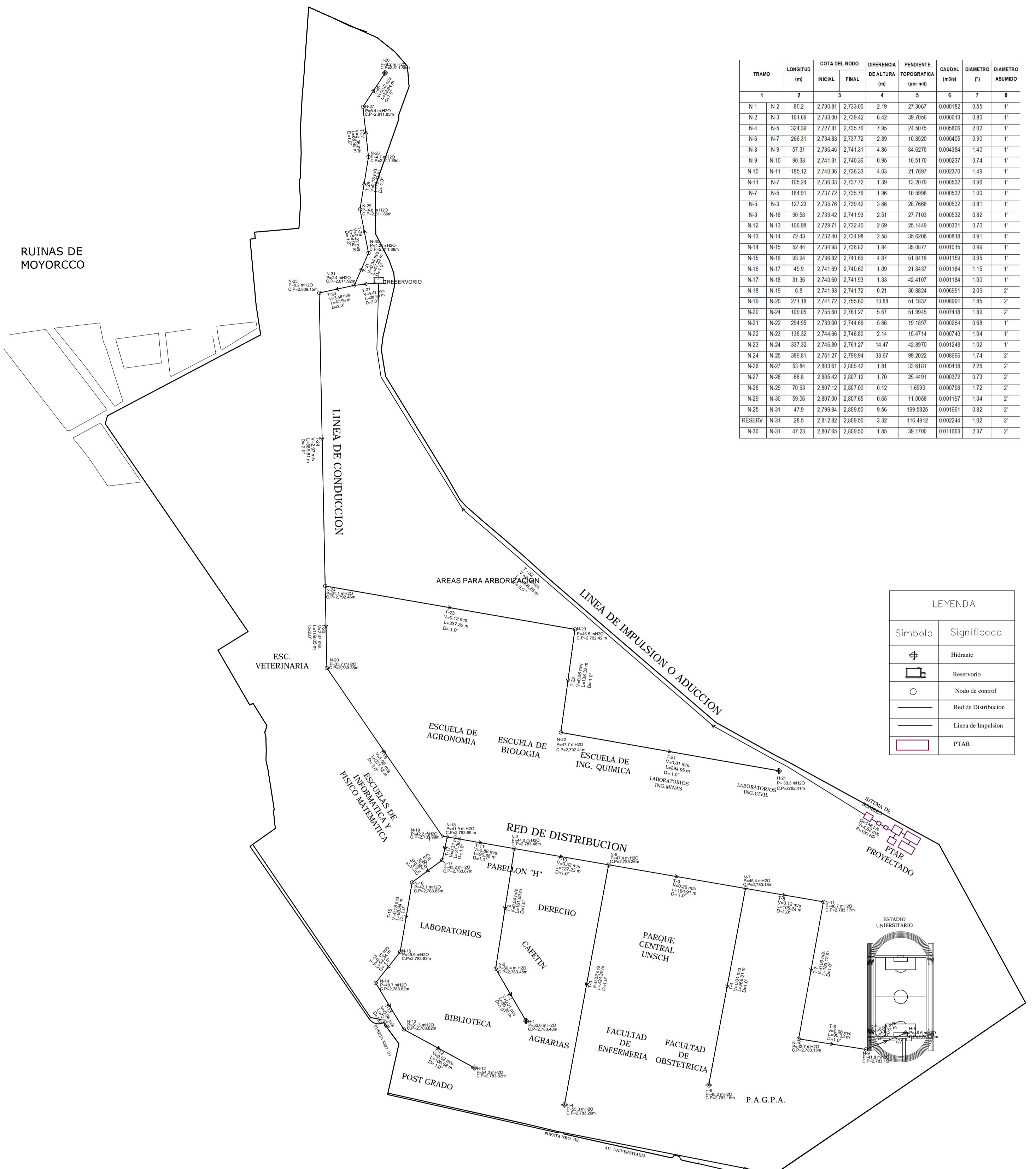
RESERVOARIO = 1+020.45  
ELEV = 2810.000

2810  
2805  
2800  
2795  
2790  
2785  
2780  
2775  
2770  
2765  
2760  
2755  
2750  
2745  
2740  
2735  
2730  
2725  
2720  
2715  
2710  
2705  
2700

1+020.45

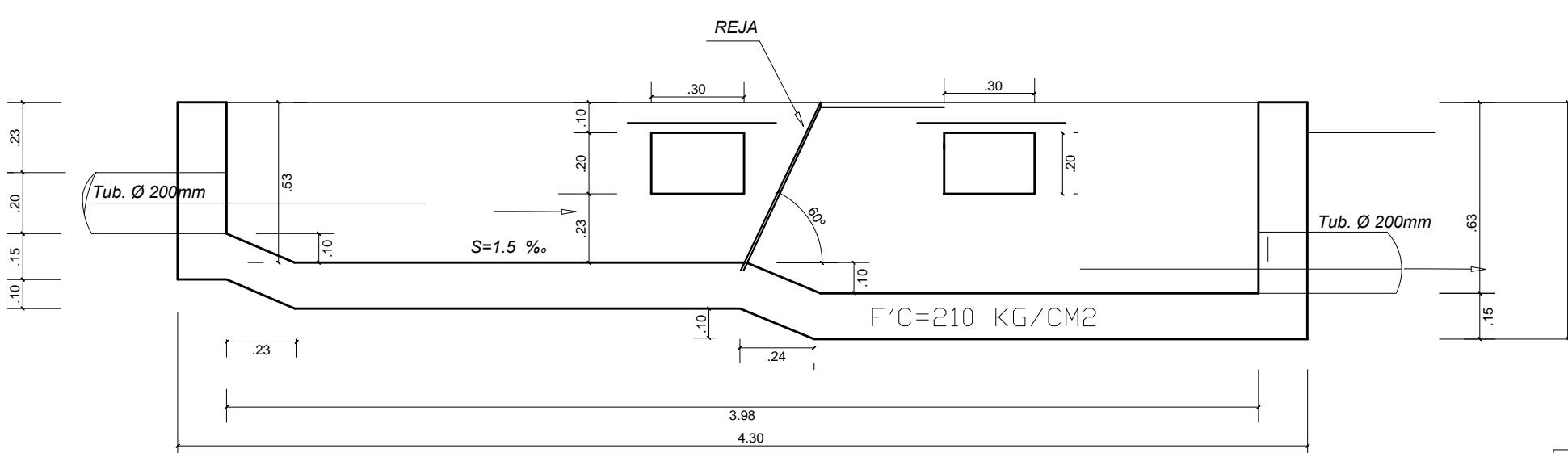
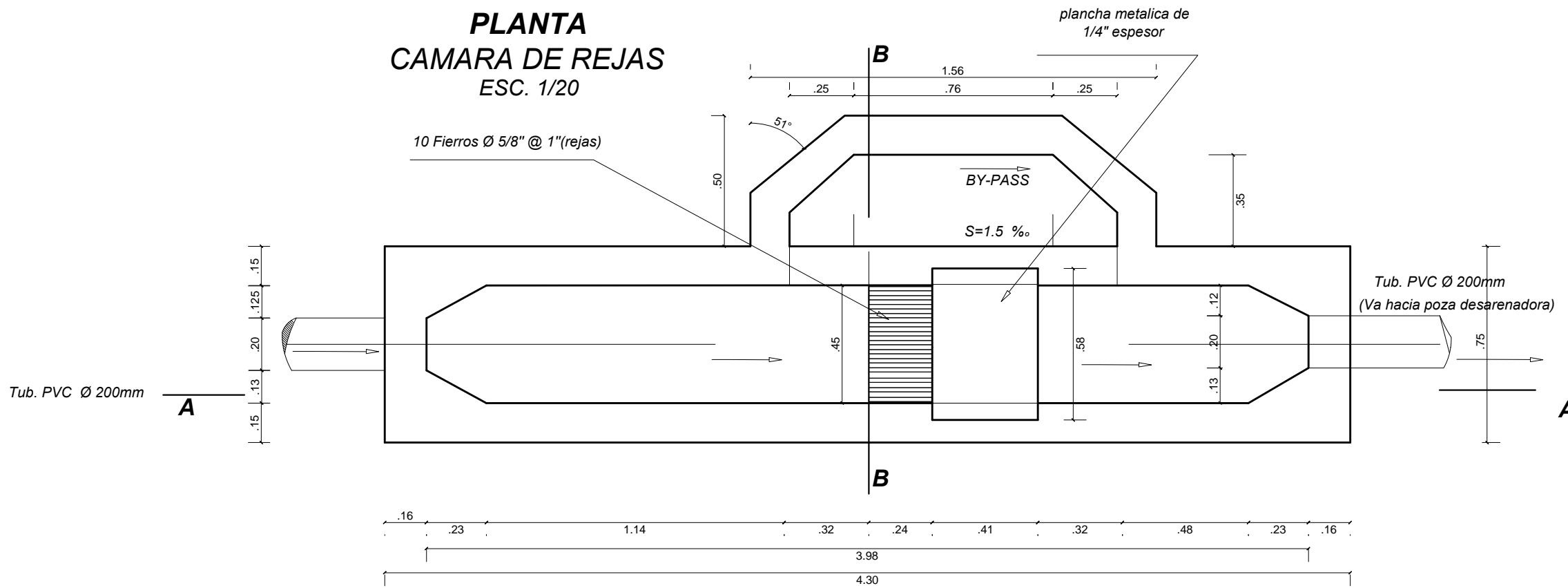
TRAMO	LONGITUD (m)	COTA DEL NODO		DIFERENCIA DE ALTURA (m)	PENDIENTE TOPOGRAFICA (por mil)	CAUDAL (m³/s)	DIAMETRO (")	DIAMETRO ASUMIDO
		INICIAL	FINAL					
1	2	3	4	5	6	7	8	
N-1	N-2	80.2	2.730.81	2.733.00	2.19	27.3067	0.000182	0.55
N-2	N-3	161.69	2.733.00	2.739.42	6.42	39.7056	0.000613	0.80
N-4	N-5	324.39	2.727.81	2.735.76	7.95	24.5075	0.005806	2.02
N-6	N-7	266.31	2.734.83	2.737.72	2.89	10.8520	0.000405	0.90
N-8	N-9	57.31	2.736.46	2.741.31	4.85	84.8275	0.004384	1.40
N-9	N-10	90.33	2.741.31	2.740.36	0.95	10.5170	0.000237	0.74
N-10	N-11	185.12	2.740.36	2.736.33	4.03	21.7697	0.0002370	1.49
N-11	N-7	105.24	2.736.33	2.737.72	1.39	13.2079	0.000532	0.96
N-7	N-5	184.91	2.737.72	2.735.76	1.96	10.5996	0.000532	1.00
N-5	N-3	127.23	2.735.76	2.739.42	3.66	28.7668	0.000532	0.81
N-3	N-18	90.58	2.739.42	2.741.93	2.51	27.7103	0.000532	0.82
N-12	N-13	106.98	2.728.71	2.732.40	2.69	25.1449	0.000331	0.70
N-13	N-14	72.43	2.732.40	2.734.98	2.58	35.6206	0.000818	0.91
N-14	N-15	52.44	2.734.98	2.736.82	1.84	35.0877	0.001015	0.99
N-15	N-16	93.94	2.736.82	2.741.69	4.87	51.8416	0.001159	0.95
N-16	N-17	49.9	2.741.69	2.740.60	1.09	21.8437	0.001184	1.15
N-17	N-18	31.36	2.740.60	2.741.93	1.33	42.4107	0.001184	1.00
N-18	N-19	6.8	2.741.93	2.741.72	0.21	30.8824	0.006991	2.06
N-19	N-20	271.18	2.741.72	2.756.60	13.88	51.1837	0.006991	1.85
N-20	N-24	109.05	2.755.60	2.761.27	5.67	51.9945	0.007418	1.89
N-21	N-22	294.95	2.739.00	2.744.66	5.66	19.1897	0.000264	0.68
N-22	N-23	138.32	2.744.66	2.746.80	2.14	15.4714	0.000743	1.04
N-23	N-24	337.32	2.746.80	2.761.27	14.47	42.8970	0.001248	1.02
N-24	N-25	389.81	2.761.27	2.799.94	38.67	99.2022	0.008666	1.74
N-26	N-27	53.84	2.803.61	2.805.42	1.81	33.6181	0.009418	2.26
N-27	N-28	66.8	2.805.42	2.807.12	1.70	25.4491	0.000372	0.73
N-28	N-29	70.63	2.807.12	2.807.00	0.12	1.6990	0.000798	1.72
N-29	N-30	59.06	2.807.00	2.807.65	0.65	11.0068	0.001197	1.34
N-25	N-31	47.9	2.799.94	2.809.50	9.56	199.5825	0.001661	0.82
RESERV	N-31	28.5	2.812.82	2.809.50	3.32	116.4912	0.002244	1.02
N-30	N-31	47.23	2.807.65	2.809.50	1.85	39.1700	0.011663	2.37

LEYENDA	
Simbolo	Significado
	Hidrante
	Reservorio
	Nodo de control
	Red de Distribucion
	Línea de Impulsión
	PTAR

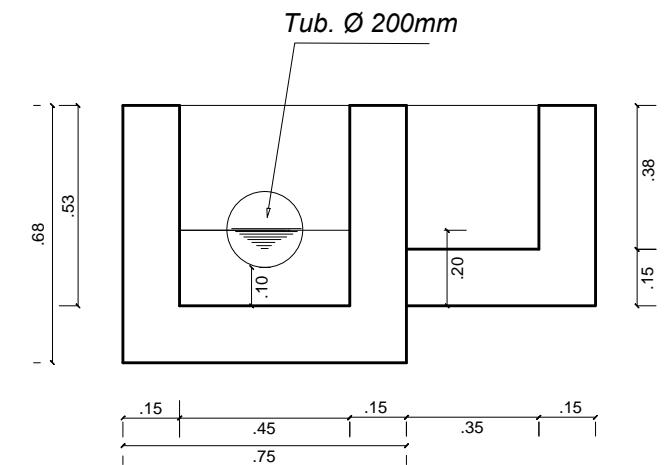


UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO	
FACULTAD DE INGENIERIA	
PROYECTO: "DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES UTILIZANDO HUMEDALES ARTIFICIALES PARA RIEGO EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA LOS MODULOS, AYACUCHO"	
PLANO : MODELAMIENTO HIDRAULICO DE LA RED DE CONDUCCION Y DISTRIBUCION	
LOCALIDAD: Ciudad Universitaria	DIBUJO:
DISTRITO: Ayacucho	FECHA:
PROVINCIA : Huamanga	INDICADA
DEPARTAMENTO: Ayacucho	Ayacucho, Abril 2016
ASESOR:	REVISION :
Ing. Henry G. Godínez Calisaya	APROBADO :
Ing. Henry G. Godínez Calisaya	INGENIERIA CIVIL
L-04	

**PLANTA**  
**CAMARA DE REJAS**  
ESC. 1/20



**CORTE A - A**  
ESC. 1/20



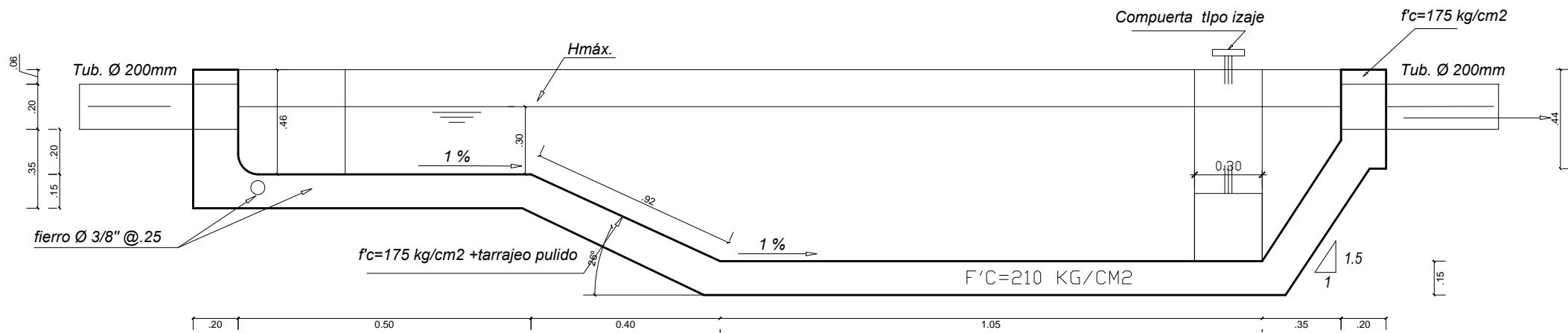
**CORTE B - B**  
ESC. 1/20

UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO  
FACULTAD DE INGENIERIA



PROYECTO: "DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES UTILIZANDO HUMEDALES ARTIFICIALES PARA RIEGO EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA LOS MODULOS, AYACUCHO"		Nro PLANO
PLANO :	CAMARA DE REJAS	
UBICACION:	LOCALIDAD: Ciudad Universitaria DISTRITO: Ayacucho PROVINCIA : Huamanga DEPARTAMENTO: Ayacucho	LEV.TOP.: Serapio Flores LLantoy DIBUJO: Serapio Flores LLantoy ESCALA : Indicada FECHA: Ayacucho, Abril 2016 ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL: INGENIERIA CIVIL
ASESOR:	REVISION : Ing. Henry G. Godíño Calisaya	APROBADO : Ing. Henry G. Godíño Calisaya

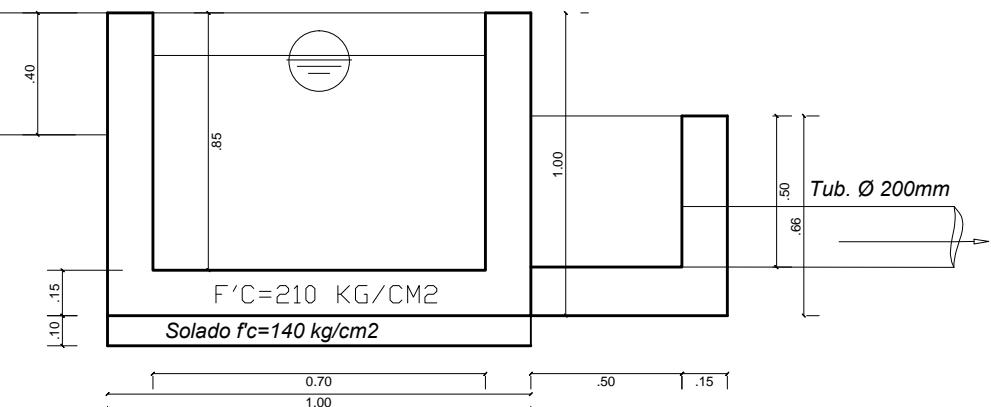
PT-01



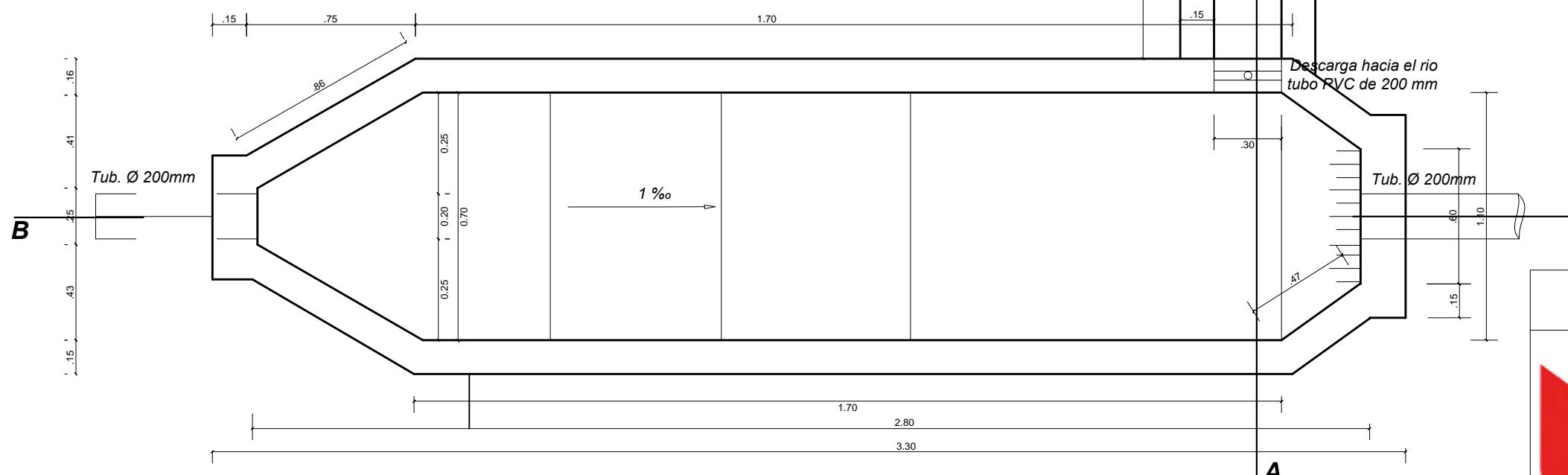
**CORTE B - B**  
ESC. 1/20

Nivel del terreno  
rellenado

Nivel del terreno para  
encofrado



**CORTE A - A**  
ESC. 1/20

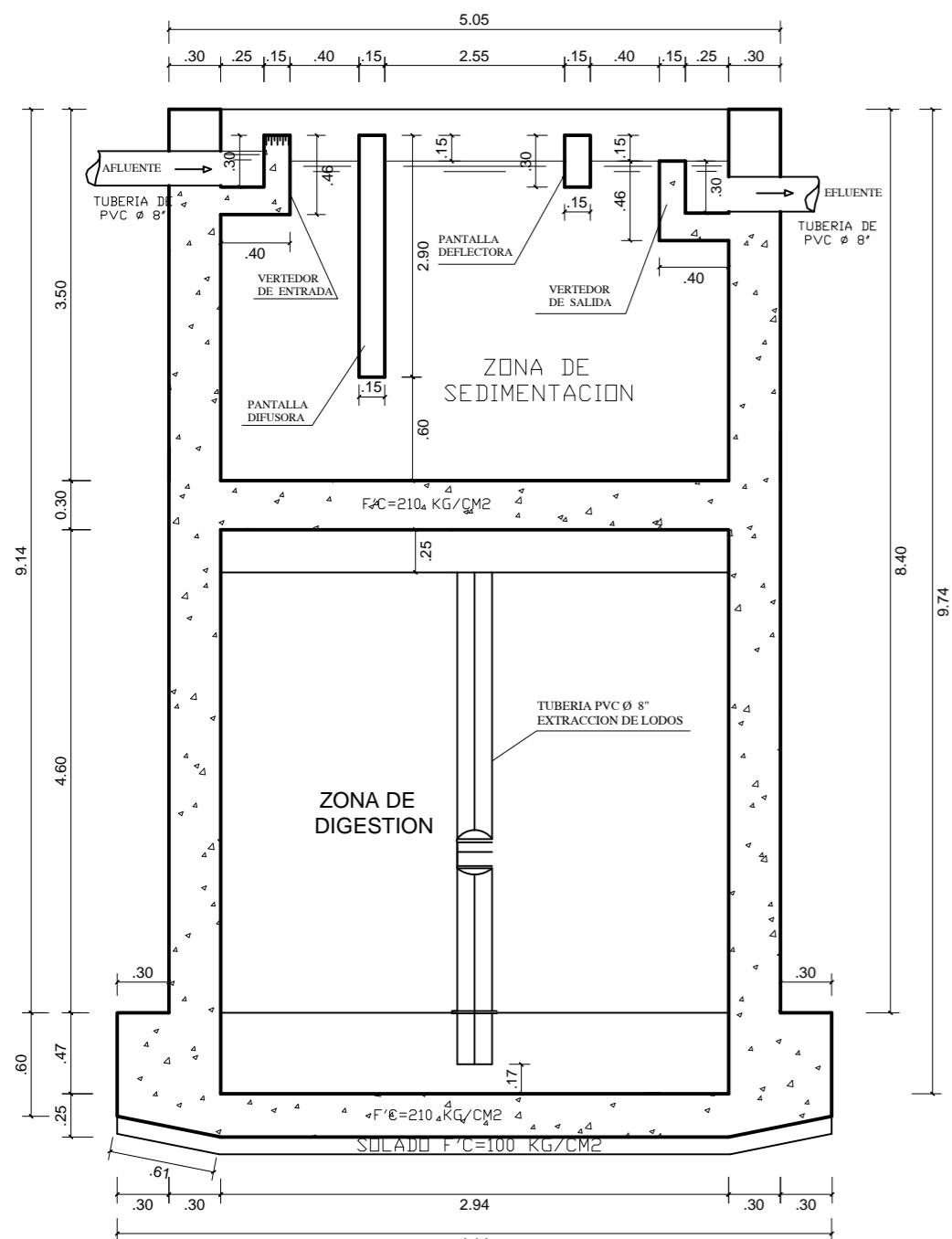


**PLANTA DESARENADOR**  
ESC. 1/25

UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO  
FACULTAD DE INGENIERIA

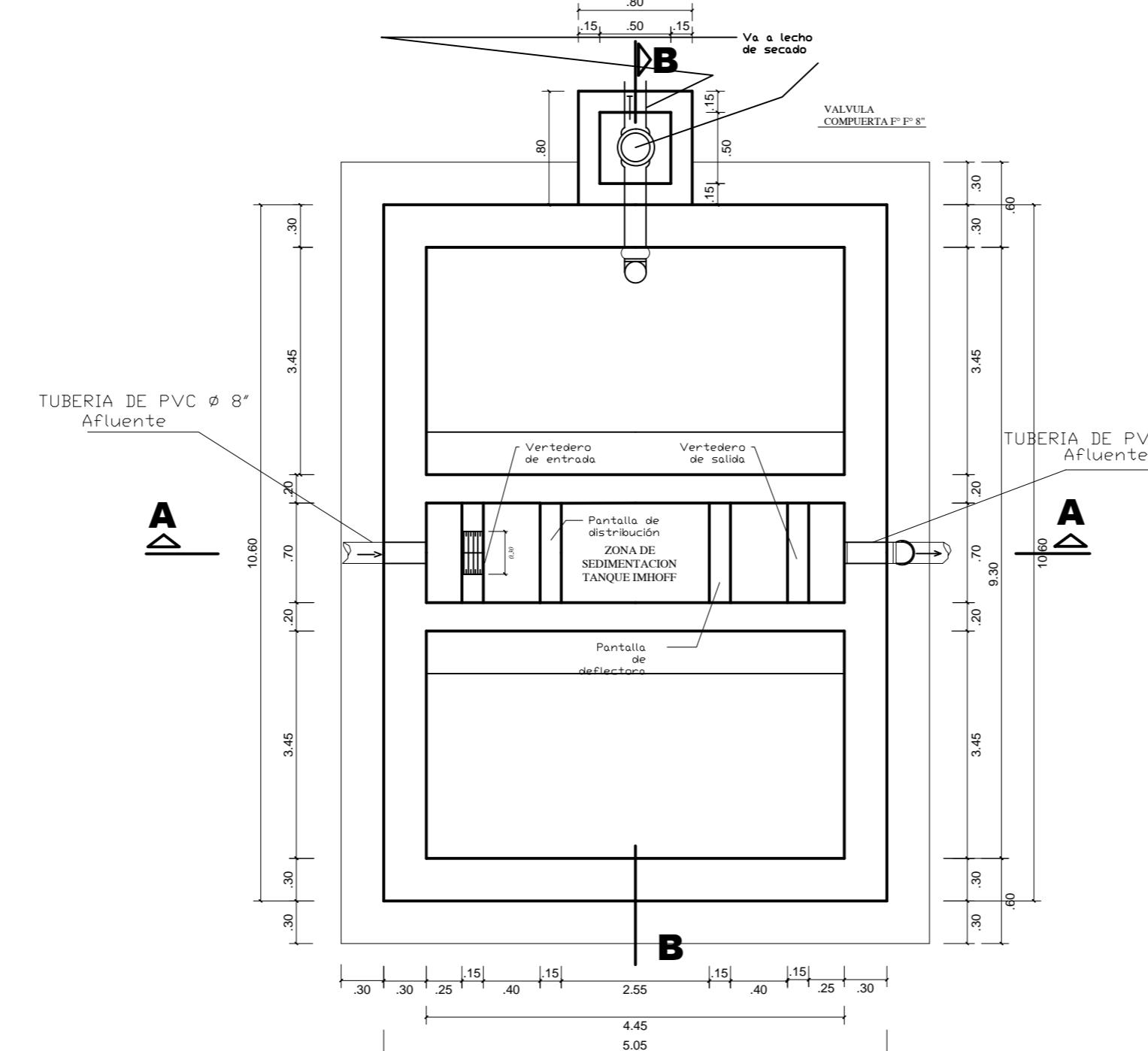


UBICACION:	PROYECTO: "DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES UTILIZANDO HUMEDALES ARTIFICIALES PARA RIEGO EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA LOS MODULOS, AYACUCHO"			
	PLANO :	DESARENADOR	DIBUJO:	
	LOCALIDAD: Ciudad Universitaria	LEV.TOP.:	Serapio Flores Llantoy	PT-02
	DISTRITO: Ayacucho	ESCALA :	Indicada	Ayacucho, Abril 2016
	PROVINCIA : Huamanga	FECHA:	Ayacucho, Abril 2016	
	DEPARTAMENTO: Ayacucho	ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL:	INGENIERIA CIVIL	
ASESOR:	REVISION :	APROBADO :	Ing. Henry G. Godíñez Calisaya	Ing. Henry G. Godíñez Calisaya



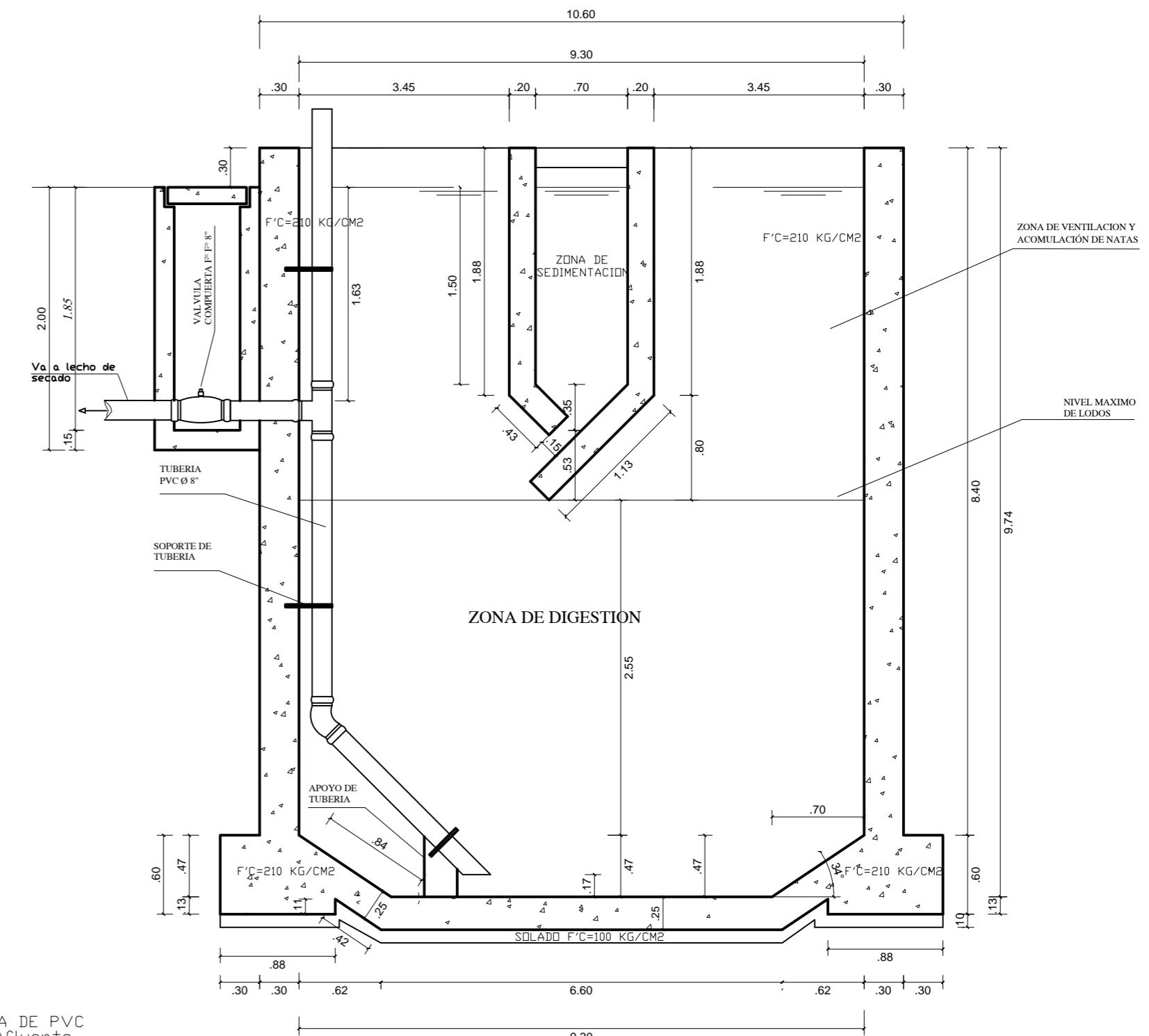
**CORTE A - A**

ESCALA 1:40



**PLANTA DE TANQUE IMHOFF**

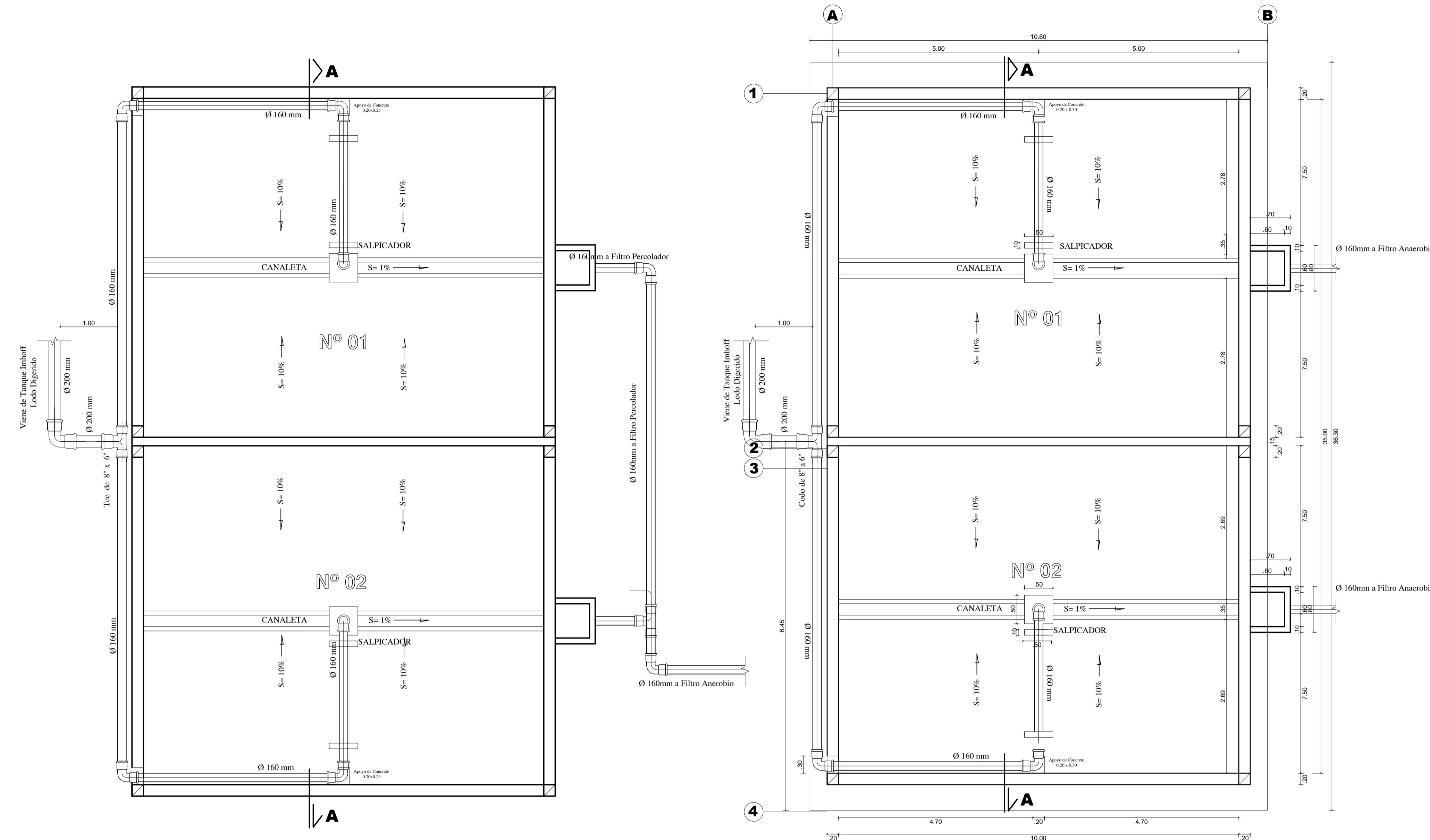
ESCALA 1:40



**CORTE B - B**

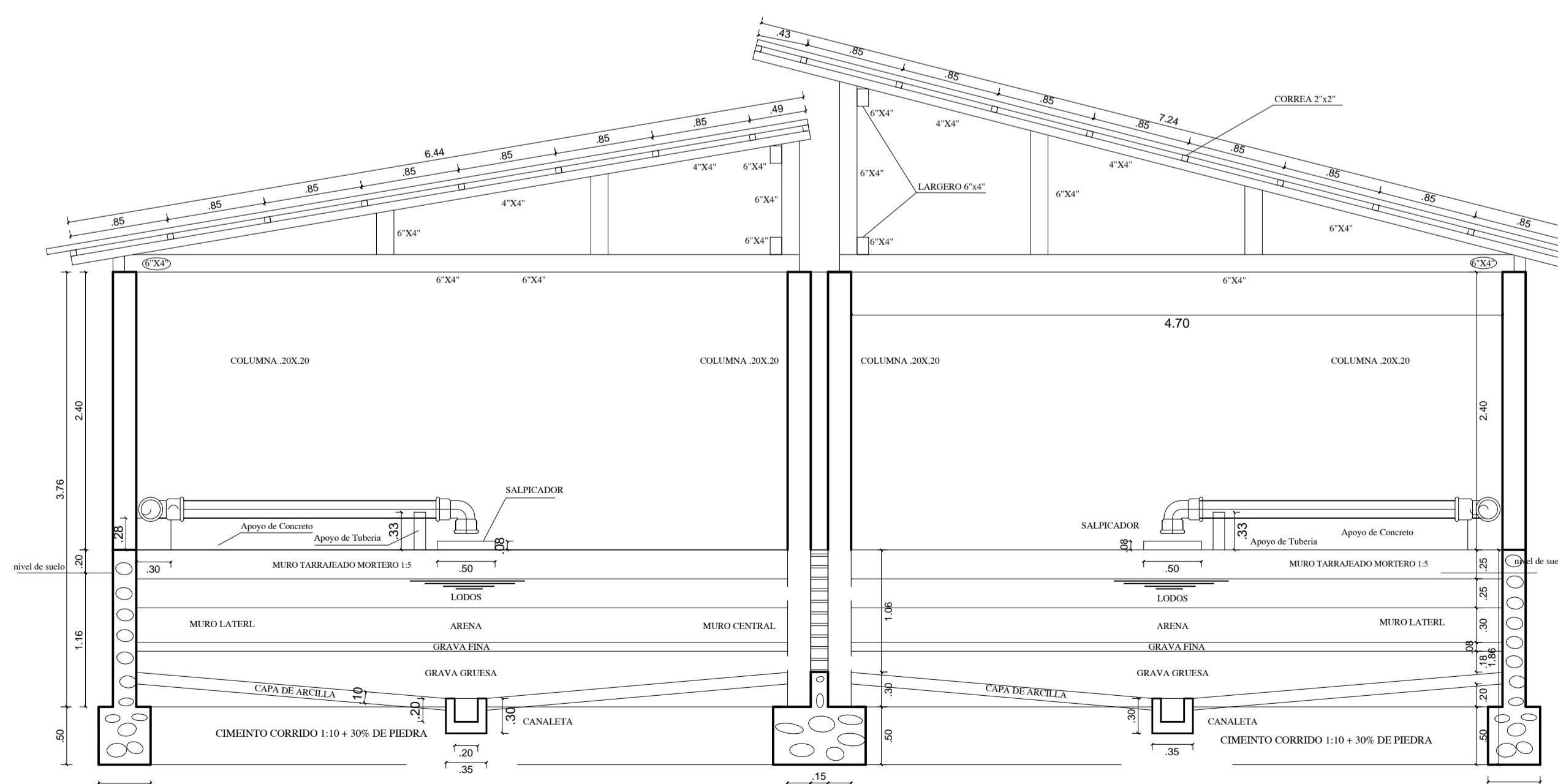
ESCALA 1:40

		UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO	
		FACULTAD DE INGENIERIA	
PROYECTO: "DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES UTILIZANDO HUMEDALES ARTIFICIALES PARA RIEGO EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA LOS MODULOS, AYACUCHO"			
PLANO :		TANQUE IMHOFF	
UBICACION:	LOCALIDAD: Ciudad Universitaria	LEV.TOP.:	DIBUJO:
	DISTRITO: Ayacucho	Sergio Flores Llantay	Sergio Flores Llantay
	PROVINCIA : Huamanga	FECHA:	Ayacucho, Abril 2016
	DEPARTAMENTO: Ayacucho	ESCUOLA ACADEMICA PROFESIONAL:	INGENIERIA CIVIL
ASESOR:	REVISION :	APROBADO :	
	Ing. Henry G. Godíño Calisaya	Ing. Henry G. Godíño Calisaya	
		Nro PLANO	
		PT-03	



**DISTRIBUCION DE LECHO DE SECADO**

ESCALA 1:50



**ESPECIFICACIONES TECNICAS**

**CONCRETO ARMADO:**

Zapatas, Columnas :  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$   
Aero :  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$  (Grado 60)

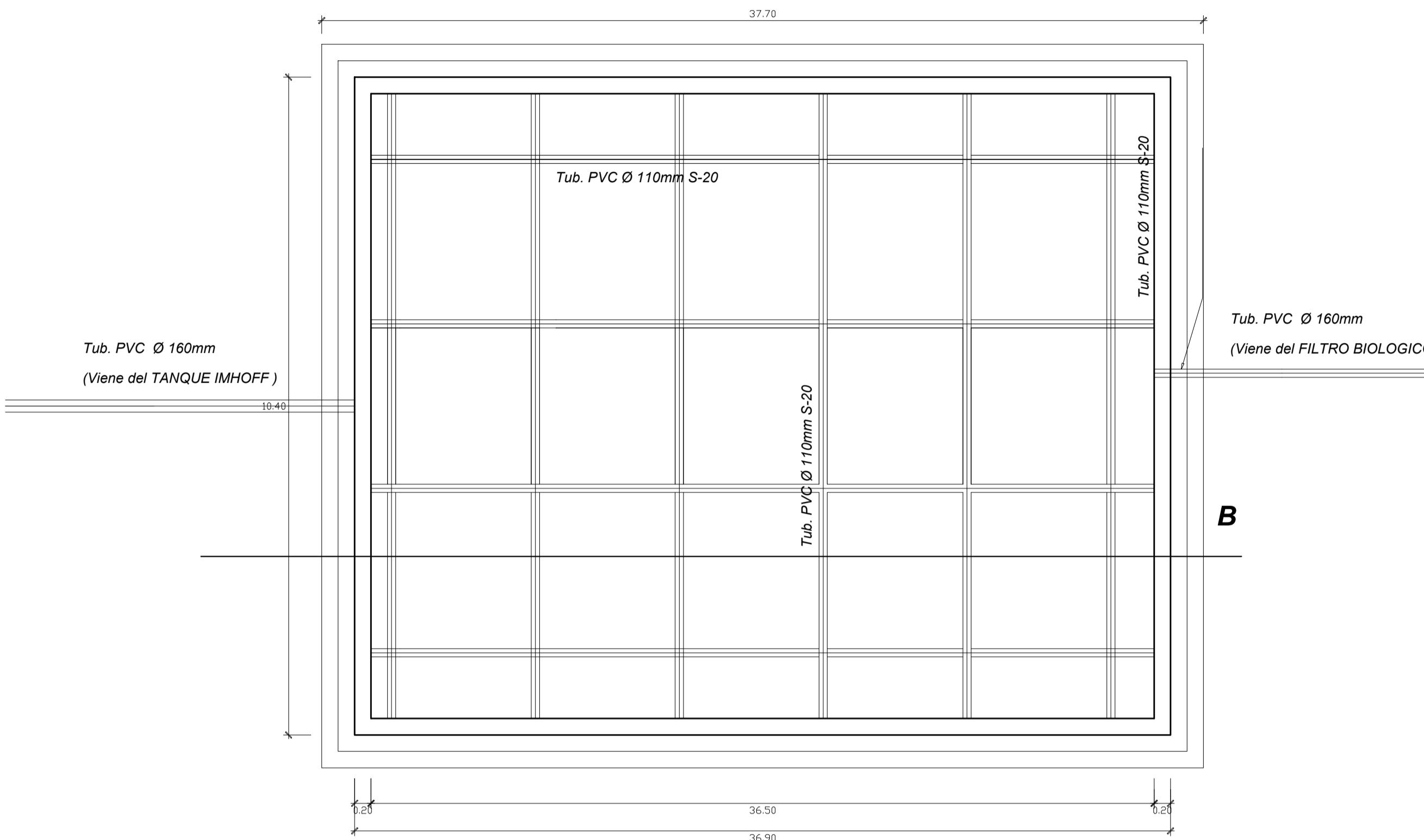
**RECUBRIMIENTOS LIBRES:**

Zapatas	: 7.5 cm
Columnas	: 5.0 cm
Placas	: 3.5 cm
Vigas Peraltadas	: 4.0 cm
Vigas Chatas	: 2.0 cm
Aligerado	: 2.0 cm
Losas	: 2.0 cm

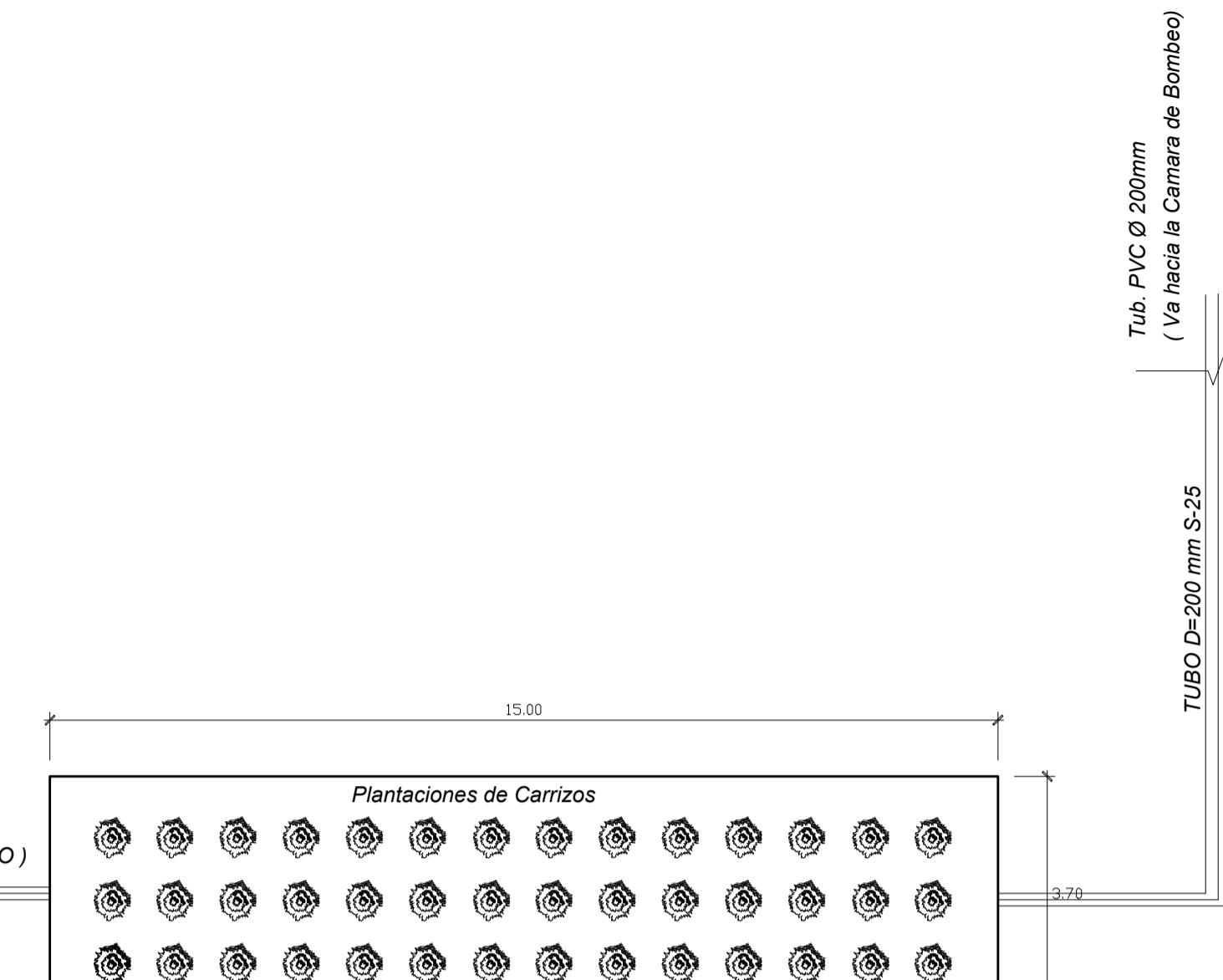
**UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**



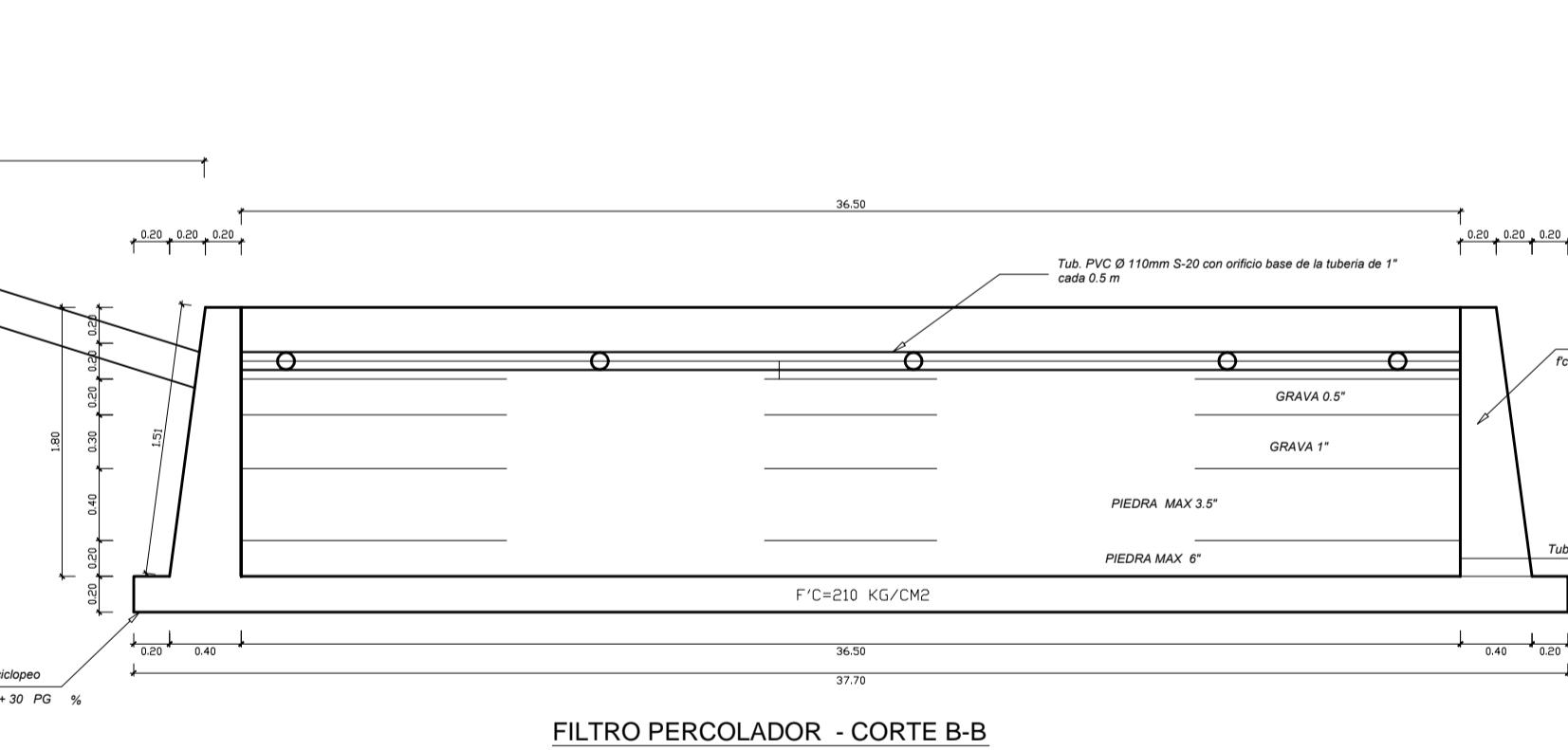
PROYECTO: "DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES UTILIZANDO HUMEDALES ARTIFICIALES PARA RIEGO EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA LOS MODULOS, AYACUCHO"			
PLANO :			
LOCALIDAD:	Ciudad Universitaria	LEV.TOP.:	DIBUJO:
Serapio Flores Llantay	Serapio Flores Llantay		
DISTRITO:	Ayacucho	ESCALA :	PT-04
		FECHA:	
		Indicada	
		DEPARTAMENTO:	Ayacucho
		ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL:	INGENIERIA CIVIL
ASESOR:		REVISION :	Ing. Henry G. Godíño Calisaya
		APROBADO :	Ing. Henry G. Godíño Calisaya



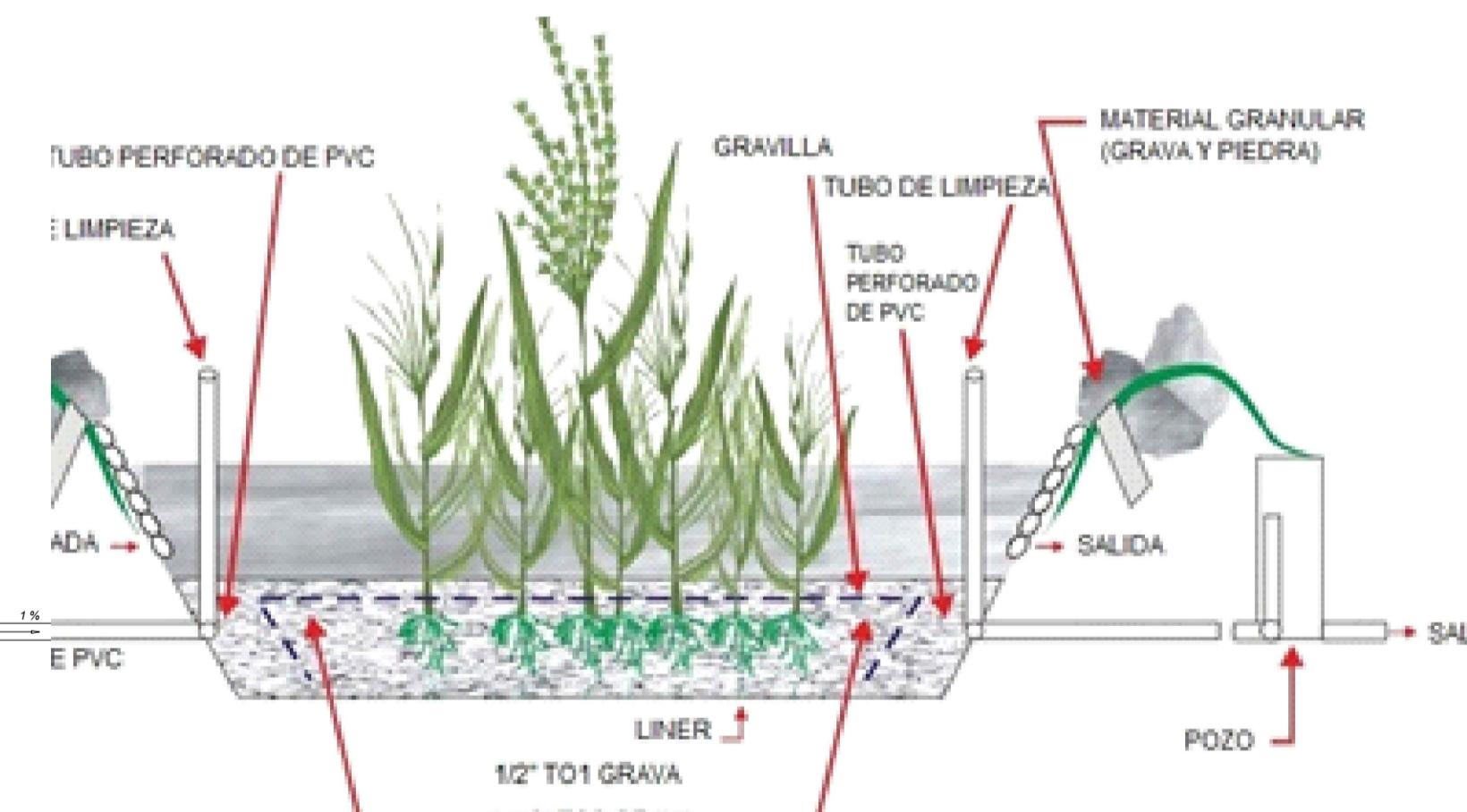
FILTRO PERCOLADOR - PLANTA  
ESC. 1 /50



SISTEMA HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL  
ESC. 1 /50



FILTRO PERCOLADOR - CORTE B-B  
ESC. 1/40

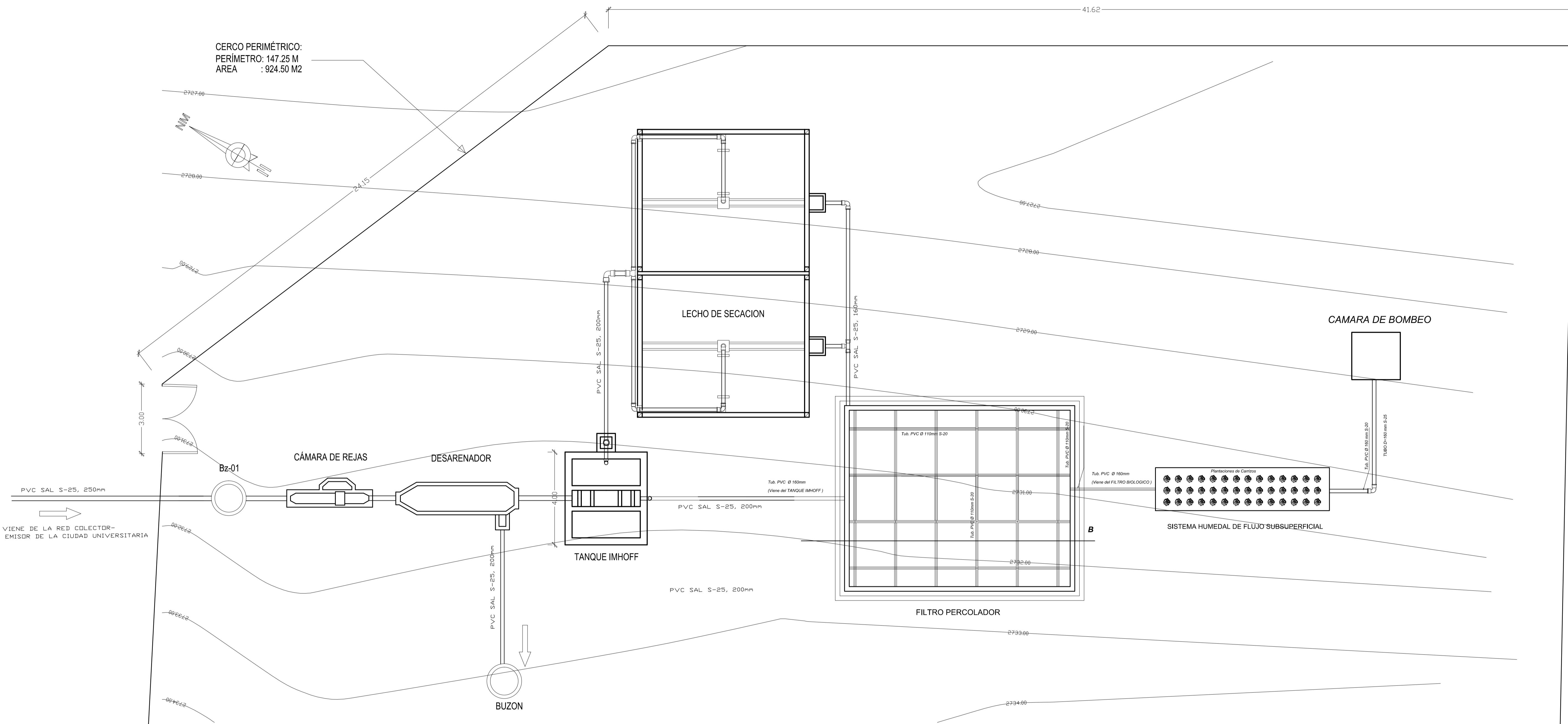


UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO  
FACULTAD DE INGENIERIA



PROYECTO: "DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES UTILIZANDO HUMEDALES ARTIFICIALES PARA RIEGO EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA LOS MODULOS, AYACUCHO"	
PLANO : FILTRO PERCOLADOR BIOLOGICO Y SISTEMA HUMEDAL ARTIFICIAL	
UBICACION:	LOCALIDAD: Ciudad Universitaria DISTRITO: Ayacucho PROVINCIA : Huamanga DEPARTAMENTO: Ayacucho
ASESOR:	LEV.TOP.: Serapio Flores Llantay DIBUJO: Serapio Flores Llantay ESCALA : Indicado FECHA: Ayacucho, Abril 2016 ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL: INGENIERIA CIVIL
REVISION:	APROBADO : Ing. Henry G. Godíñez Calisaya APROBADO : Ing. Henry G. Godíñez Calisaya

PT-05



# **PLANIMETRIA GENERAL DE PTAR**

ESC. 1/10

UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO  
FACULTAD DE INGENIERIA



PROYECTO: "DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES UTILIZANDO HUMEDALES ARTIFICIALES PARA RIEGO EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA LOS MODULOS, AYACUCHO"					
PLANO : DISTRIBUCION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES					
UBICACION:	LOCALIDAD: Ciudad Universitaria		LEV.TOP.:	DIBUJO:	Nro PLANO  PT - 06 <sup>°</sup>
	DISTRITO: Ayacucho		Serapio Flores LLantoy	Serapio Flores LLantoy	
	PROVINCIA : Huamanga		ESCALA :	FECHA:	
	DEPARTAMENTO: Ayacucho		Indicada	Ayacucho, Abril 2016	
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL: INGENIERIA CIVIL					
ASESOR:		REVISION :	APROBADO :		
		Ing. Henry G. Godíñ o Calisaya	Ing. Henry G. Godíñ o Calisaya		