



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad Tecnología De La Construcción

Monografía

**“EVALUACIÓN Y REDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE DE LA LOCALIDAD EL DORADO – JINOTEGA.2020”**

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. Ian Carlos López Corea

Br. Yaosca Regina Doña Ampié

Br. Luis Enrique García Cantillano

Tutor:

M.sc. Ing. Miguel Ángel Balladares Altamirano

Managua, Octubre del 2020

Índice

1 Generalidades	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Justificación	6
1.4 Objetivos.....	7
1.4.1 Objetivo General.....	7
1.4.2 Objetivos Específicos	7
2 Descripción del Área de Estudio.....	8
2.1 Datos Generales	8
2.2 Aspectos Históricos	8
2.3 Actividades Económicas.....	9
2.4 Población y Migraciones.....	10
3 Marco Teórico.....	11
3.1 Muestreo De Aguas.....	11
3.2 Límites de calidad de agua a la entrada de la planta	11
3.3 Filtración	13
3.3.1 Elementos que intervienen en la filtración:	13
3.3.2 Sistemas De Tratamiento Primario	14
3.3.3 Filtración en Múltiples Etapas.....	14
3.3.4 Filtración Gruesa Dinámica (FGDi).....	15
3.3.5 Filtro Grueso Ascendente En Capas (FGAC)	19
3.3.6 Etapa de tratamiento principal: Filtración Lenta en Arena (FLA)	24
3.3.7 Estructura del Filtro Lento de Arena	25
3.3.8 Selección de la configuración del FIME	31

3.4 Múltiples para drenaje y distribución de agua.....	33
3.4.1 Consideraciones generales para el diseño de Múltiples.....	35
4 Diseño Metodológico	36
4.1 Área Geográfica	36
4.1.1 Macro Localización de Jinotega	36
4.1.2 Micro- localización de la planta de El Dorado.....	36
4.2 Objeto de investigación	37
4.3 Actores involucrados en la investigación.....	37
4.4 Técnicas y métodos de recopilación de datos.....	37
4.4.1 Observación sistemática.....	37
4.5 Entrevistas.....	37
4.6 Información documental	38
4.7 Estudios de campo	38
4.8 Plan de procesamiento y análisis de la información	39
4.8.1 Evaluación de la planta de tratamiento existente.....	39
4.8.2 Mejoramiento de planta potabilizadora.....	39
5 Evaluación de la planta de tratamiento existente	41
5.1 Descripción de la Planta De Tratamiento De Agua Potable.....	41
5.2 Evaluación de construcción y diseño.....	43
5.3 Construcción.....	51
5.4 Evaluación de operación y mantenimiento	53
5.5 Evaluación administrativa.....	54
6 Cálculos y Resultados	55
6.1 Diseño Hidráulico.....	55
6.1.1 Selección de la Tecnología De Tratamiento.....	55

6.1.2 Selección de las etapas de tratamiento del sistema.....	55
6.1.3 Caudal de Diseño	57
6.1.4 Determinación del caudal de diseño.....	57
6.1.5 Tanque de almacenamiento	59
6.1.6 Unidad de entrada a la planta.....	60
6.1.7 Diseño del Filtro Grueso Dinámico	61
6.1.8 Filtro Grueso Ascendente En Capas (FGAC)	83
6.1.9 Filtros Lentos De Arena (FLA)	98
6.2 Cloración.	116
6.2.1 Determinación de la cantidad de cloro por día.	116
6.3 Presupuesto de la planta de tratamiento de agua potable El Dorado.....	117
7 Conclusiones.	116
8 Recomendaciones.....	117
9 Bibliografía y Referencias.....	119
10 Web grafía.....	120
11 Anexos.....	122

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Resultados obtenidos de la evaluación realizada por AGUASAN:</i>	3
<i>Tabla 2: Valoración global de Nicaragua.....</i>	4
<i>Tabla 3: Conclusiones y Recomendaciones respecto a las seis plantas visitadas..</i>	5
<i>Tabla 4: Los puntos de muestreo a tomar son:</i>	11
<i>Tabla 5: Los límites de calidad de agua cruda</i>	12
<i>Tabla 6: Parámetros de operación de la planta FIME</i>	12
<i>Tabla 7: Parámetro organolépticos</i>	12

<i>Tabla 8: Parámetros Bacteriológicos.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 9: Lineamientos para el diseño de filtros gruesos dinámicos</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 10: Características del lecho filtrante del Filtro Grueso Dinámico</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 11: Eficiencia de remoción del filtro grueso dinámico.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 12: Criterios de diseño recomendados por CINARA-IRC para el filtro grueso dinámico.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 13: Características del medio filtrante de un filtro grueso ascendente</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 14: Eficiencias de remoción de un Filtro Grueso Ascendente en Capas.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 15: Guía de diseño para Filtro Grueso Ascendente en Capas</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 16: Características del medio filtrante de Filtro Lento de Arena).....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 17: Características De La Capa De Soporte Del FLA</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 18: Criterios de Diseño según diferentes autores.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 19: Calidad de agua cruda para tratamiento directo con Filtro Lento de Arena</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 20: Ventajas y Desventajas del Filtro Lento de Arena</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 21: Modelo para la selección de un sistema de agua por filtración en múltiples etapas, FIME. (Todas las opciones incluyen FGD_i2.0 y FLA0.15)</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 22: Parámetros y recomendaciones para el diseño de múltiples</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 23: Fuente San Antonio.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 24: Fuente Santa Rita.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 25: Velocidades de filtración de cada filtro.</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 26: Resultados de análisis del agua cruda en la entrada de la planta.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 27: Resultados del análisis del agua tratada en la salida de la planta</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 28: cuadro comparativo entre los parámetros de la norma y los obtenidos en campo</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 29: Resumen de rangos de calidad de agua en fuentes superficiales para orientar la selección de opciones FIME.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 31: Tabla 31: Proyección y población y caudales en el periodo de vida útil</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 32: Distribución del lecho filtrante.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 33: Pérdidas de carga en lecho filtrante</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 34: Pérdidas Por Accesorios</i>	<i>77</i>

<i>Tabla 35: Resumen De Pérdidas De Lavado En El Filtro.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 36: Pérdidas De Carga En Lecho Filtrante operación normal</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 37: Perdidas Por Accesorios en operación normal.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 38: Resumen De Pérdidas De Lavado En El Filtro En Operación Normal ..</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 39: Perfil Hidráulica Filtro Grueso Dinámico.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 40: Grava Con Las Especificaciones.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 41: Coeficiente de pérdidas y contracciones para vertederos</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 42: Perdidas de carga en el lecho filtrante bajo la condición de lavado en el filtro grueso ascendente en capas en la nueva planta.</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 43: Perdidas por accesorios Filtro Grueso Ascendente en capas</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 44: Resumen del FGAC</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 45: Perdidas de carga en el lecho filtrante en operación normal del filtro grueso ascendente en capas en la nueva planta.</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 46: Perdidas por accesorios en operación normal</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 47: Tabla Resumen en Operación normal.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 48:: Perfil Hidráulico del Filtro Grueso Ascendente en Capas.....</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 49: Medio Filtrante del FLA</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 50: Resultados de los cálculos de la pérdida de carga en cada capa</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 51: Perdidas en el lecho filtrante con arena mínima.....</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 52: Perdidas Por Accesorios</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 53: Perfil Hidráulico del Filtro de Arena</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 54: Presupuesto base del rediseño de la plata de tratamiento del dorado.</i>	<i>117</i>

DEDICATORIA

Le dedico esta Monografía A:

A Dios y la siempre Virgen María:

Quienes siempre han estado a mi lado, que, con su amor y protección, iluminan mi camino, y me han dado las fuerzas para no declinar ante las adversidades y culminar con éxito, cada una de las metas propuestas.

A mi Madre:

Sra. Daysi Ampié López, que ha sido el pilar indispensable de mi vida, que con todo su esfuerzo, amor, cariño y tenacidad me ha entregado los medios para ser una profesional. Enseñándome que, sin importar los obstáculos, puedo llegar a lograr con éxito mis metas.

A mi abuelita y Tía:

Sra. Teresa López Estrada y Sra. Amalia Ampié, por su apoyo incondicional, que desde niña me han impulsado con valores católicos y sociales, para sobresalir y alentarme en cada aspecto de mi vida.

Mi Familia:

Por todos sus consejos y palabra de aliento, por estar siempre a mi lado apoyándome en todo momento, lo que me permitió poder llegar a su fin una de las metas de mi vida.

Br. Yaosca Regina Doña Ampié

AGRADECIMIENTO

Dios.

Supremo padre, por haberme permitido cumplir esta meta y abrigarme con su misericordia y permitirme gozar de una familia.

Mi Madre:

Por cuyo sacrificio y esfuerzo he podido lograr cada uno de mis proyectos, por estar presente con sus consejos y compañía en los buenos momentos, pero sobre todo por su amor y apoyo en los momentos difíciles.

Mi Familia:

A quien le doy las gracias por compartir las alegrías y preocupaciones en mi camino.

Mis Amigos:

Por todas sus palabras de aliento, y que por los miles de veces que queríamos declinar siempre estábamos una al lado de otra para seguirnos apoyándonos siempre.

Mis Docentes.

Por su voluntad y paciencia con que nos han llevado el fruto del conocimiento.

Br. Yaosca Regina Doña Ampié

Dedicatoria.

A Dios:

Que a pesar de mi falta de devoción nunca me abandono, permitiéndome tomar las mejores decisiones para enfrentar las adversidades que se presentaron a lo largo de 5 años, ayudándome de esta manera a alcanzar el éxito.

A mis padres:

A mi madre Carla Patricia y a mi padre Carlos Alberto López, los cuales desde el primer día que decide convertirme en ingeniero civil me han apoyado desde lo económico hasta lo moral, si hoy en día este documento es posible es gracia a ellos dos.

A mis abuelos:

Para mi abuelita Josefa Corea que todavía me acompaña y para los que ya no están, que a pesar de que no comprendían en la carrera en la que estaba incursionando siempre estuvieron orgullosos de mí, aunque ya no poder cumplir mi sueño de que todos me vieran convertido en un ingeniero.

Br. Ian Carlos López Corea

Agradecimiento.

A Dios:

Por haberme permitido cumplir mis metes y darme las fuerzas necesarias para continuar.

A mis padres:

Gracias a su esfuerzo, a su apoyo incondicional, por sus consejos, por su paciencia y todo el afecto que me dieron que funciono como motor para continuar y esforzarme en cada etapa de mi carrera.

A mis amigos:

Con los cuales siempre pude contar al largo de estos años, por sus palabras de aliento, por el tiempo dedicado en las noches de estudios y por su apoyo en los momentos difíciles, también gracias a ellos este documento es posible.

Br. Ian Carlos López Corea

Dedicatoria

Dedicado a mis padres con amor e infinito agradecimiento por enseñarme mediante la palabra y el ejemplo el valor de la educación. Mediante ustedes tuve vida y ustedes me enseñaron a vivir para aprender. Gracias a Dios nací de ustedes.

Agradecimiento

Agradezco a nuestro tutor MSC. Miguel Balladares quien con su experiencia nos guio durante nuestra investigación.

Agradezco a mis compañeros Ian López y Yaosca Doña quienes con su dedicación y talento impulsaron la culminación de este proyecto. El mayor mérito de este trabajo es de ustedes.

Agradezco a mis padres quienes han sido el suelo y fundaciones sobre las que se han construido mis valores y se soportan mis metas.

Agradezco a cada una de las personas de mi familia que me dieron la protección de su techo siempre que la necesité. Sin eso el camino habría sido mucho más difícil de lo que fue.

Agradezco a Dios por darme vida y la libertad de decidir lo que haré con la vida que me dio.

Br. Luis Enrique García Cantillano

Glosario.

A

Afluente: Agua que entra a la planta de tratamiento.

Aforos volumétricos: Tiempo que tarda una corriente de agua en llenar un recipiente de volumen conocido.

Agentes contaminantes: Los agentes contaminantes son un conjunto de factores o sustancias que se presentan en el ambiente por causas naturales y como resultado de la actividad del hombre y que causan efectos desfavorables para la salud o el mismo medio. Entre estos factores podemos mencionar: Agentes patógenos, compuestos químicos orgánicos, desechos orgánicos, etc.

Agua cruda: Es el agua que se encuentra en una fuente en estado natural y sin ningún tipo de tratamiento.

Agua potable: Es el agua que es adecuada y segura para el uso y consumo humano.

Aguas Arriba: Agua proveniente de la fuente.

Aireación: Proceso de tratamiento mediante el cual se incrementa el área de contacto del agua con el aire para facilitar el intercambio de gases y sustancias volátiles.

Análisis Granulométrico: Determinación de la proporción de tamaños en que se encuentran distintos tipos de partículas presentes en el suelo, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas según norma ASTM C 136.

B.

Biosidas: Mezclas que están compuestas, por una o más sustancias activas (incluidos los microorganismos) cuyo objetivo es destruir, contrarrestar, neutralizar, impedir la acción o ejercer un control de otro tipo sobre cualquier organismo nocivo por cualquier medio que no sea una mera acción física o mecánica.

C.

Canal abierto: Conducto en el que el líquido fluye con una superficie sometida a la presión atmosférica. El flujo se origina por la pendiente del canal y la superficie del líquido

CAPS: Comité de agua potable y saneamiento

Carga hidráulica: Es un concepto que permite expresar la energía de un fluido en unidades de longitud, al convertir la energía cinética, potencial y de presión a sus equivalentes en altura al dividirlos por la constante de gravedad; por lo tanto, estas formas de energía pueden expresarse como altura de velocidad, potencial y de presión y obteniendo con la suma de las tres obtenemos la carga hidráulica de un punto específico a lo largo de una sección de tubería.

Caudal: Cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto por unidad de tiempo

Caudal de diseño: caudal para el cual se diseña la planta de tratamiento

CEPIS: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente

Cloración: Procedimiento de desinfección de aguas mediante el empleo de cloro o compuestos clorados

CINARA: Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico. (Universidad del valle, Cali-Colombia)

Cloro residual: El remanente de cloro en el agua después de que parte del añadido reaccione en el proceso de desinfección de ésta

Coefficiente de uniformidad: Representa la uniformidad de los granos en una muestra de suelo y está dada por Relación entre la apertura de malla del tamiz que permitiría el paso del 60 % de las partículas y la del tamiz que permitiría el paso del 10 % de las partículas o diámetro efectivo.

Coliformes fecales (termotolerantes): Son todos los bacilos cortos que difieren del grupo coliformes totales por su capacidad para crecer a una temperatura de

entre 44 y 45 °C. Abarca los géneros Escherichia y parte de algunas especies de Klebsiella, Enterobacter y Citrobacter. De ellos, solo E. coli es específicamente de origen fecal y se encuentra siempre presente en las heces de humanos, otros mamíferos y gran número de aves. La medida de estas coliformes se trata como un indicativo de contaminación fecal en el control de calidad del agua destinada al consumo humano.

Colonia bacteriológica: Población de células que puede observarse macroscópicamente (o sea a simple vista) y que crecen en un medio de cultivo.

Color real: Color causado por materia suspendida a nivel coloidal, propio de esa agua o el color del agua de la cual se ha eliminado la turbiedad.

Concomitante: Que acompaña a una cosa o actúa junto a ella

Conexión domiciliaria: Se define como la conexión del servicio público a un predio urbano o a un espacio público determinado, desde la red principal hasta la fachada o vereda adyacente, que incluye la instalación de un elemento de control o registro de consumo de servicio que será supervisado y contabilizado por la empresa concesionaria.

Contaminación bacteriológica: Contaminación producida por los microorganismos bacterianos (Salmonella, Listeria, Escherichia coli, etc.).

Cuenca: Es una zona de la superficie terrestre en donde las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida.

D.

Diámetro efectivo: Tamaño de partícula de suelo o arena para el cual el 10% de ese material, en peso, tiene un tamaño menor. También se conoce como tamaño efectivo.

Dosificación: Establecimiento de las proporciones adecuadas en un producto o proceso.

Dotación: Cantidad de agua que se asigna para cada habitante y que incluye el consumo de todos los servicios que realiza en un día, tomando en cuenta las pérdidas.

E.

Efluente: Agua que sale de la planta.

Especificaciones técnicas: Documentos en los cuales se definen las normas, exigencias y procedimientos a ser empleados y aplicados en todos los trabajos de construcción de obras, elaboración de estudios, fabricación de equipos.

F.

FGAC: Filtro grueso ascendente en capas.

FGDI: Filtro grueso dinámico.

FIME: Filtración en múltiples etapas.

FLA: Filtro lento de arena.

Fuente de agua: Cuerpos de agua superficiales (ríos, lagos, etc.) o subterráneas (pozos, manantiales, etc.)

H.

Hipoclorito de sodio: Compuesto oxidante de rápida acción utilizado a gran escala para la desinfección de superficies, desinfección de ropa hospitalaria y desechos, descontaminar salpicaduras de sangre, desinfección de equipos y mesas de trabajo resistentes a la oxidación, eliminación de olores y desinfección del agua.

I.

Inocuo: Concepto que se refiere a la existencia y control de peligros asociados a los productos destinados para el consumo humano a través de la ingestión como pueden ser alimentos y medicinas a fin de que no provoquen daños a la salud del consumidor

IRC: Centro internacional en agua y saneamiento.

M.

Materia orgánica: Materia elaborada de compuestos orgánicos que provienen de los restos de organismos que alguna vez estuvieron vivos, tales como plantas, animales y sus productos de residuo en el ambiente natural. La materia orgánica está formada por materia inerte y energía.

Medio filtrante: Cualquier material utilizado para filtrar partículas de la corriente de flujo de un fluido.

Metal pesado: Miembro de un grupo de elementos químicos no muy bien definido que exhibe propiedades metálicas

Mineralización: Proceso biológico que ocurre mediante la conversión de la materia orgánica a un estado inorgánico, a través de la acción de microorganismos.

Múltiples hidráulicos: Estructuras hidráulicas por medio de las cuales se realiza la distribución del flujo garantizando el mejor comportamiento hidráulico de la estructura. Consiste en un conducto principal, con laterales espaciados en intervalos regulares

N.

NTON: Norma técnica obligatoria nicaragüense.

O.

Oxidación: Fenómeno químico en virtud del cual se transforma un cuerpo o un compuesto por la acción de un oxidante, que hace que en dicho cuerpo o compuesto aumente la cantidad de oxígeno y disminuya el número de electrones de alguno de los átomos.

P.

Pérdida de carga: Pérdida de presión que se produce en un fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce.

Perfil hidráulico: Línea piezométrica de la planta potabilizadora.

Planta de tratamiento de agua potable: Conjunto de estructuras y sistemas de ingeniería en las que se trata el agua de manera que se vuelva apta para el consumo humano.

R.

RAS-2000: Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.

Recolectores: Múltiples hidráulicos que recolectan el flujo en el proceso de drenaje.

Régimen de flujo: Descripción de la distribución de un fluido moviéndose a través de una tubería.

Reglas de aforo: Instrumento utilizado para la medición de caudal.

Rugosidad: Conjunto de irregularidades que posee una superficie.

S.

Sólidos totales: Corresponden al residuo remanente después de secar una muestra de agua. Equivalen a la suma del residuo disuelto y suspendido. El residuo total del agua se determina a 103–105 °C.

Sólidos disueltos: Mejor conocidos como *sólidos filtrables*, son los que se obtienen después de la evaporación de una muestra previamente filtrada. Comprenden sólidos en solución verdadera y sólidos en estado coloidal, no retenidos en la filtración, ambos con partículas inferiores a un micrómetro (1 μ).

Sólidos suspendidos o sólidos en suspensión: Aquellos que son visibles, tanto de materia orgánica como: grasas, pelos y fibras, e inorgánica como: limos, arenas y acillas. Estos pueden ser removidos por diferentes medios, que pueden ser físicos o mecánicos a través de algún proceso de sedimentación o filtración.

Tamiz: Hoja mallada con agujeros de tamaño uniforme para separar materiales granulométricos.

Turbidez: Es la causada por las partículas que forman los sistemas coloidales; es decir, aquellas que, por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado.

Turbidímetro: Instrumento que a través del análisis óptico determina la cantidad de sustancias en un líquido, se emplea en la medición de partículas en suspensión en un líquido o gas disuelto, tiene como principio de funcionamiento la detección de las partículas con una fuente de haz lumínico y un detector de luz fijado a 90 grados del haz original.

Turbulencia: Movimiento de un fluido que se da en forma caótica, en que las partículas se mueven desordenadamente y las trayectorias de las partículas se encuentran formando pequeños remolinos periódicos, (no coordinados) como por ejemplo el agua en un canal de gran pendiente.

V.

Válvulas de control: Válvula usada para controlar el flujo de un fluido, comportándose como un orificio de área continuamente variable, que modifica la pérdida de carga, según lo dirigido por la señal de un controlador.

Vertedero: Estructura hidráulica destinada a permitir el paso libre o controlado del agua de forma superficial, el agua vierte por este tipo de estructuras o paredes como consecuencia de la acción de la gravedad

CAPITULO 1

1 Generalidades

1.1 Introducción

El acceso al agua potable y los servicios básicos de saneamiento es escaso para la población que vive en zonas rurales, las personas con menos recursos no tienen cubiertas esas necesidades básicas y el abastecimiento de agua se torna más difícil y costoso.

Cuando se habla de abastecimiento adecuado de agua se hace referencia a la cantidad de líquido disponible y a su calidad, el aumento del número de habitantes provoca una mayor demanda por eso, es importante la implementación de programas de provisión de agua potable, que implican su obtención, su purificación y ponerla al alcance de los usuarios.

El tratamiento del agua para hacerla potable es el proceso más delicado del sistema. El tipo de tratamiento es muy variado en función de la calidad del agua bruta y los agentes contaminantes del agua son de tipo biológico, químico y físico.

Uno de estos procesos es el de Filtración, el cual separa partículas sólidas que se encuentran en un fluido líquido mediante un medio filtrante. Uno de los métodos de filtración es el de múltiples etapas que es una solución integrada para mejorar el abastecimiento en comunidades rurales y pequeños municipios que ayudan a que numerosas personas dispongan de este recurso vital, utilizando tecnologías accesibles y soluciones sostenibles.

En este documento se presenta la propuesta de una evaluación y rediseño de una planta de tratamiento con un sistema de filtración en múltiples etapas tomando en cuenta que toda agua que se abastece para consumo humano debe someterse a una serie de tratamientos siguiendo diversos patrones para su utilización. Así también la evaluación de este y la elaboración de un manual de operación para el correcto uso y manejo de la planta de tratamiento; es un método que da una solución factible a los habitantes de zonas rurales, también se tiene como fin dar una herramienta básica para el desarrollo de los conocimientos teóricos evaluados en el campo práctico.

1.2 Antecedentes

Hasta 1979 los grandes sistemas urbanos de abastecimiento de agua eran operados por empresas municipales independientes, mientras que un departamento Ministerial estaba a cargo de los sistemas de agua en las ciudades más pequeñas. Luego, se creó el Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA), una empresa pública y centralizada, que significó la fusión de: el Departamento Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL), la Empresa Aguadora de Managua (EAM) y el resto de Las empresas Municipales.

Sin embargo, la entrega de servicios de abastecimiento de agua y saneamiento en Nicaragua en las zonas urbanas compete principalmente a una empresa nacional de servicios públicos ENACAL (Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados) y a los 32 acueductos municipales operados por alcaldías y en las zonas rurales, a los comités de agua potable.

A pesar de que los niveles de inversión son relativamente altos, el acceso a los servicios de abastecimiento de agua en las zonas urbanas apenas si ha podido mantener el ritmo del crecimiento poblacional, mientras que el acceso a servicios urbanos de saneamiento ha declinado.

La búsqueda de tecnologías de menor costo que permitan la provisión de agua a través de conexiones domiciliarias con sistemas que funcionen por gravedad o bombeo ha llevado al desarrollo de los proyectos para proveer servicios de agua y saneamiento sostenibles.

La Cooperación Suiza en América Central, a través de sus programas de Agua y Saneamiento (AGUASAN), ha contribuido de manera sistemática con el desarrollo integral de tecnologías que garanticen la sostenibilidad y contribuyó a la incorporación de la tecnología de Filtración en Múltiples Etapas (FIME) en el año 2000, en la atención de las zonas rurales de Nicaragua.

Esta tecnología desarrollada en 1986 por el Instituto CINARA (Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico) de la Universidad del Valle, en Cali, Colombia y

luego fue expandida a otros países como: Brasil, Perú, México, Honduras, Ecuador, Costa Rica y Nicaragua.

A finales del año 2013 el programa AGUASAN con ayuda de la cooperación suiza desarrollaron un estudio en las plantas tipo FIME ubicadas en los departamentos de Jinotega (A, B), Matagalpa (C, D, E) y la Región Autónoma Del Caribe Norte(F).

El análisis realizado durante este diagnóstico se centró en tres aspectos claves para el buen funcionamiento, la sostenibilidad y las posibles réplicas de esta tecnología: 1) diseño y construcción, 2) operación y mantenimiento 3) administración

Tabla 1: Resultados obtenidos de la evaluación realizada por AGUASAN:

Problema	Posibles consecuencias
<ul style="list-style-type: none"> • En algunas plantas se omitieron, algunas etapas de filtración el más común es: filtro grueso dinámico. • Algunas plantas fueron diseñadas sin haber realizados lo estudios necesarios. • El uso inadecuado de ciertas válvulas en el sistema. • El material filtrante utilizado en la mayoría de los sistemas no cumple con las especificaciones técnicas recomendadas en la metodología. • La operación y mantenimiento de las plantas se realiza de forma empírica con un sobreesfuerzo de los operadores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Provoca obstrucciones en las demás etapas de filtración, debido a la alta concentración de sólidos. • Se diseñan plantas que sobreestiman o subestiman las condiciones reales. • No se consigue remover todos los sólidos de los filtros y el mantenimiento es más prolongado y detiene el funcionamiento de la planta. • En los FLA no se logra garantizar la potabilización del agua al no formarse las colonias bacteriológicas que hacen la función de eliminar las bacterias. • No se obtiene los resultados esperados en la calidad del agua y

<ul style="list-style-type: none"> Falta de instrumentos para realizar el monitoreo de la calidad de agua. 	<p>se percibe un desgaste físico en los operadores por la continua limpieza de los filtros.</p> <ul style="list-style-type: none"> No es posible monitorear los parámetros de turbiedad, cloro residual, contaminación bacteriológica.
---	---

Fuente: Filtración en múltiples etapas Nicaragua y Honduras/AGUASAN/2014.

Tabla 2: Valoración global de Nicaragua

Planta	A	B	C	D	E	F
Filtro Grueso Dinámico	-	8	2	-	8	-
Filtro Grueso Ascendente	7	8	2	7	7	7
Filtro Lento	7	8	2	7	5	5
Cloración	4	9	0	5	6	8
Obras Anexas	4	7	2	0	4	7
Capacidades Operación Y Mantenimiento	8	8	6	6	3	5
Equipos Herramientas Y Accesorios	4	7	2	1	3	3
Recursos Financieros	9	8	3	0	4	7
Capacidad Organizativa Y Funcionamiento Del Caps.	3	9	2	0	4	6
Capacidad Y Disponibilidad De Pago	10	9	2	0	4	6
Promedio	6.22	8.10	2.30	2.89	4.44	6.00

Fuente: Filtración en múltiples etapas Nicaragua y Honduras/AGUASAN/2014.

➤ **Nota:** Los componentes globales se agruparon en tres rangos:

- 1 a 3: componentes no cumplen con los criterios FIME, la calidad del agua no es buena.
- 4 a 6: componentes cumplen parcialmente con los criterios, la calidad del agua es buena.
- 7 a 10: componentes cumplen mucho o totalmente con los criterios FIME, la calidad del agua es buena y el sistema es sostenible.

El Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico (CINARA) con la contribución de la

cooperación holandesa, realizaron un estudio en el año 2014 con el objetivo de evaluar el estado de 6 plantas de tratamiento de agua potable que hacen uso del sistema de filtración en múltiples etapas (FIME). cabe mencionar que los resultados correspondiente a este estudio guardan cierta similitud con los obtenidos por AGUASAN un año antes.

Las plantas visitadas durante el estudio fueron las siguientes:

- El Sisle, ubicada en el municipio de Jinotega.
- El Dorado, ubicada en el municipio de Jinotega.
- La Isla, ubicada en el municipio de La Dalia, Matagalpa
- El Naranjo, ubicada en el municipio de Waslala
- Walter Calderón, ubicada en el municipio de Rio Blanco, departamento de Matagalpa
- La Patriota, ubicada en el municipio de Matiguas, departamento de Matagalpa

Tabla 3: Conclusiones y Recomendaciones respecto a las seis plantas visitadas.

Hallazgos	Recomendaciones
<ul style="list-style-type: none"> • La mayoría de las plantas se diseñaron con una sola muestra tomada de la fuente y algunos casos se asumieron valores para seleccionar la tecnología a utilizar. • Mala selección de válvulas en los sistemas FGDI y FGA. • Falta de capacitación a todos los operarios de las plantas. • No Disponen de manual de operación y mantenimiento. • No se lleva registro diario de las actividades de la planta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe de realizar un estudio de la fuente de agua riguroso, en donde se deben tomar tres muestras de agua a la semana, durante tres meses de verano y tres meses de invierno. • Se debe instalar válvulas de aperturas rápidas. • Realizar en todas las comunidades capacitaciones teórico – prácticas, de operación y mantenimiento.

1.3 Justificación

La comunidad El Dorado del municipio de Jinotega, en el año 2012 fue beneficiada con la construcción de un mini acueducto por gravedad que abastece de agua potable a 234 familias de la localidad, a pesar de que dicho proyecto fue ejecutado con éxito presenta ciertas deficiencias en lo que a calidad de agua respecta según como se determinó en el estudio por AGUASAN en el año 2013, lo que puede representar un riesgo para la salud de los habitantes de la comunidad.

Por tal motivo es necesario mejorar el funcionamiento de la planta de tratamiento que cuenta con el sistema de filtración en múltiples etapas (FIME) que se utiliza como tecnología de potabilización en dicha planta con el fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes beneficiados.

Una vez implementado o construido las mejoras a la planta de tratamiento, esta realizara la función de clarificar y remover todos los contaminantes, solidos suspendidos, solidos disueltos, materia orgánica que se encuentren en el agua proveniente de la fuente, asegurando de esta manera que el vital líquido que se sirve a la población cumpla con los requerimientos establecidos por las normativas.

Además, parte de la importancia de la presente investigación radica en mejorar y adaptar la implementación del sistema de filtración en múltiples etapas (FiME) a las condiciones geográficas y meteorológicas de la región de tal manera que los resultados obtenidos sirvan como base en futuros proyectos donde se incluyan este tipo de tecnologías, asegurando de esta forma que la implementación del sistema FiME en otras áreas rurales del país sea la más adecuada ya que es una buena opción para cubrir la demanda de los comités de agua potable (CAPS).

Por tales motivos se ha optado por realizar la evaluación y rediseño de la planta de tratamiento de la comunidad El Dorado- Jinotega ya que será de suma importancia ayudar a solucionar la problemática ya mencionada.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Evaluar y rediseñar la planta de tratamiento de agua potable de la comunidad del Dorado-Jinotega para garantizar que la calidad de agua a la salida de la planta sea apta para el consumo humano según los estándares de la normativa del INAA (NTON-09003-99).

1.4.2 Objetivos Específicos

- Valorar el funcionamiento del sistema de filtración en múltiples etapas (FIME) de la planta de tratamiento de agua potable de la comunidad El Dorado para determinar cualquier error en la misma ya sea de carácter operativo, constructivo o de diseño.
- Efectuar los estudios previos necesarios tales como: Caracterización de las aguas, análisis del material granular del medio filtrante, topográficos, estudios de suelo, hidrológico, estudios de capacidad de la fuente y demanda de consumo.
- Realizar propuesta de diseño la planta de tratamiento de agua potable para mejorar el diseño existente, según las condiciones naturales de la zona.
- Realizar los planos constructivos del diseño de la nueva planta de tratamiento, para asegurar una correcta ejecución durante el periodo de construcción y operación.
- Elaborar un manual de operación y mantenimiento del sistema FIME de la planta de tratamiento de agua potable de la comunidad El Dorado, así como una versión simplificada del mismo para mejorar la implementación de esta tecnología en esta comunidad y en nuestro país.

CAPITULO 2

2 Descripción del Área de Estudio

2.1 Datos Generales

La comunidad El Dorado pertenece al municipio de Jinotega, ubicada a 32 km de la cabecera departamental, por la ruta de Jinotega- Los Robles – Empalme San José – La Esperanza – El Dorado.

El Dorado tiene un alto índice de pobreza, la falta de empleos y un bajo nivel de educación el cual ha sido un factor que limita el desarrollo de estas familias. Esta comunidad tiene una limitada cobertura de los servicios básicos (agua y saneamiento).

2.2 Aspectos Históricos

En su historia durante la guerra en Nicaragua se instalaron casi 180,000 minas antipersonales que se encontraban desperdigadas y listas para estallar.

Estos explosivos habían sido instalados en su mayoría en sectores de las fronteras de Nicaragua con Honduras y Costa Rica y en el interior del país para proteger torres eléctricas, puentes y pistas de aterrizaje durante el conflicto armado de la década de 1980.

La comunidad El Dorado no fue la excepción puesto que una gran cantidad de estas minas fueron instaladas en esta comunidad, privando de la vida a muchas personas civiles y limitando a los campesinos a cultivar estas tierras.

Figura 1: Ejército de Nicaragua Liberando zonas minadas



Fuente: Informe final de mini acueducto por gravedad el dorado/ PROFINIC/2012

Es hasta después del año de 1990 cuando Nicaragua inicia una nueva década en paz. Pero los efectos de la post guerra siguieron siendo tan negativos para Nicaragua puesto que las pérdidas humanas se daban en cada momento a causa de estos explosivos.

Años más tardes Nicaragua se da a la tarea de liberar estos lugares convirtiéndolos en zonas aptas donde el campesino puede hacer uso de estas tierras de manera bastante segura. La limpieza de miles de hectáreas de tierra ahora es utilizada para el cultivo de café, granos básicos o ganadería.

Figura 2: Mano de obra durante la construcción del acueducto



Fuente: Informe final de mini acueducto por gravedad el dorado/ PROFINIC/2012

2.3 Actividades Económicas

En su mayoría de los jefes de familia se desempeñan como jornaleros de las haciendas cafetaleras ubicadas en la zona, podría decirse que es un segmento menor del 50% quienes tienen su propia tierra para el desarrollo de la agricultura. Otros se dedican al comercio.

El frijol, maíz y café son los rubros que más se cultivan en la zona. La altura, hace las tierras bastantes idóneas para el cultivo del café, sin embargo, son muy pocas familias las que se dedican a este tipo de cultivo en menor escala.

La infraestructura económica y social se concentra en el municipio de Jinotega, originando grandes desequilibrios en los asentamientos humanos y en el uso de los recursos naturales.

En Jinotega destacan las cadenas de valor del café y de granos básicos. Es el primer productor de café en el país y el segundo de granos básicos sobre todo en la producción de maíz y frijol. La producción ganadera extensiva de doble propósito es otra actividad fundamental.

A pesar de su gran aporte a la economía del país y de ser el principal productor de energía eléctrica, es uno de los cuatro departamentos más pobres a nivel nacional y se cuenta entre los de menor electrificación de viviendas del país, con aproximadamente un 30 % de cobertura del total de sus viviendas.

2.4 Población y Migraciones

De acuerdo con el Censo de población y vivienda del año 2005, realizado por el INIDE, en ese año la población del departamento era de 331,335 habitantes con una densidad poblacional de 35.9 habitantes por km cuadrados, muy inferior a la media nacional de 42.7 habitantes por km², representando la población de los centros urbanos el 21.4% de la población total. Es decir, se trata de un departamento eminentemente rural con el 78.6% de su población habitando en esa zona, frente al 44.1% registrado a nivel nacional.

CAPITULO 3

3 Marco Teórico

3.1 Muestreo De Aguas

El protocolo de muestreo de aguas realizado es el que se utiliza para las aguas en proceso de potabilización. Se tomarán 3 muestras diferentes, en cada punto de muestreo, para 3 análisis: Color real, Turbiedad y Coliformes fecales.

Los pasos para seguir son:

- Identificación de las muestras y registro de las condiciones de muestreo: Los frascos serán rotulados con el nombre del sitio de muestreo. En el registro correspondiente se consignarán fecha y hora de recolección y cualquier observación que contribuya a esclarecer las condiciones de la muestra.
- Selección del punto de muestreo.

Tabla 4: Los puntos de muestreo a tomar son:

Clase de agua	Punto de muestreo
Cruda	Cámara de entrada FGDI
Tanque de almacenamiento (Potable)	Tanque de almacenamiento

Fuente: Autoria propia

- Volúmenes de muestras: Para análisis físico-químicos, se recolectarán 500 ml de agua y para el análisis bacteriológico se utilizó un recipiente especial proporcionado por el laboratorio de PIENSA
- Conservación y almacenaje: Debido a que no es posible trasladar las muestras inmediatamente al laboratorio, estas se refrigerarán y analizarán en un tiempo no superior a 24 horas.

3.2 Límites de calidad de agua a la entrada de la planta

Según el “Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000” Los límites de calidad de agua cruda que se pueden tratar solo con filtración lenta en arena son los siguientes:

Tabla 5: Los límites de calidad de agua cruda

Criterio de calidad de agua cruda	Límites de calidad para tratamiento
Turbiedad	15 UNT
Color Real	20 UPC
Coliformes fecales (NPM)	500

Fuente: Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000 / Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, República de Colombia / Noviembre del 2000

- El sistema de filtración en múltiples etapas se utiliza para reducir, principalmente, la turbiedad y el color real de los afluentes que sobrepasen los límites para su tratamiento con Filtro Lento de Arena. Sin embargo, para que el FIME opere correctamente, estos parámetros no deben superar los siguientes valores:

Tabla 6: Parámetros de operación de la planta FIME

Criterio de Calidad de agua cruda	Límites de calidad para tratamiento
Turbiedad	80 UNT
Color Real	30 UPC
Coliformes fecales (NPM)	-

Fuente: Autoría propia.

- **Calidad de agua potable:**

Tabla 7: Parámetro organolépticos

Parámetros	Unidad	Valor Recomendado	Valor Admisible
Color verdadero	mg/ L (pt-Co)	1	15
Turbiedad	UNT	1	5
Olor	Factor dilución	0	2 a 12 °C

Sabor	Factor dilución	0	3 a 25 °C
--------------	-----------------	---	-----------

Fuente: Diseño de Abastecimiento de Agua en el Medio Rural y Saneamiento Básico Rural / INAA / 06 de marzo del 2001.

Tabla 8: Parámetros Bacteriológicos

Origen	Parámetros	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible	Observaciones
a) Todo tipo de agua de bebida	Coliformes fecales	Negativo	Negativo	-
b) Agua que entra al sistema de distribución	Coliformes fecales	Negativo	Negativo	-
	Coliformes totales	Negativo	≤4	En muestra no consecutiva
c) Agua en el sistema de distribución	Coliformes totales	Negativo	≤4	En muestras puntuales, no debe ser detectado
	Coliformes fecales	Negativo	Negativo	En el 95% de las muestras anuales (c)

Fuente: Diseño de Abastecimiento de Agua en el Medio Rural y Saneamiento Básico Rural / INAA / 06 de marzo del 2001

3.3 Filtración

Filtración es un proceso en el cual partículas sólidas que se encuentran en un fluido líquido se separan mediante un medio filtrante, o filtro, que permite el paso del fluido a través de él, pero retiene las partículas sólidas y microorganismos objetables.

3.3.1 Elementos que intervienen en la filtración:

- Un medio filtrante.

- Un fluido con sólidos en suspensión.
- Una fuerza. Una diferencia de presión que obligue al fluido a avanzar.
- Un dispositivo mecánico, llamado filtro que sostiene el medio filtrante, contiene fluido y permite la aplicación de la fuerza.

3.3.2 Sistemas De Tratamiento Primario

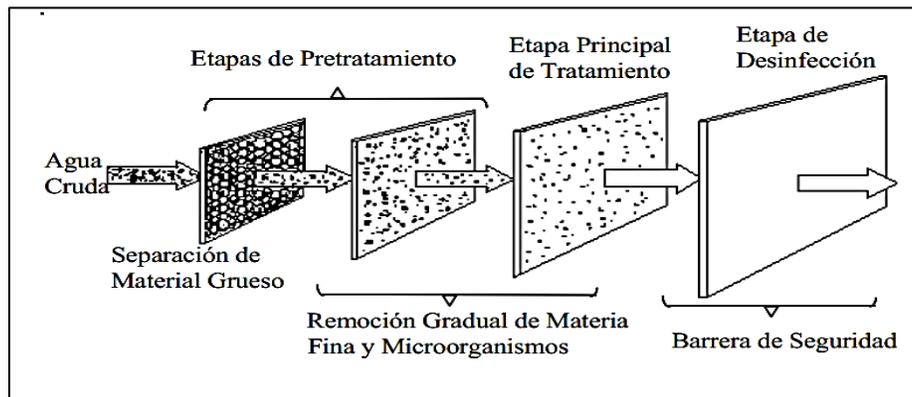
Los sistemas de tratamiento primario son estructuras auxiliares que deben preceder a cualquier sistema de tratamiento, con el objetivo de reducir los sólidos en suspensión de distintos tamaños que traen consigo la mayoría de las fuentes superficiales de agua.

3.3.2.1 Desarenador

Esta estructura hidráulica de pretratamiento tiene como objetivo remover del agua cruda la arena y partículas gruesas en suspensión, en general de tamaños superiores a 0.2 mm, para evitar que se generen depósitos y sobrecargas en los procesos siguientes de tratamiento.

3.3.3 Filtración en Múltiples Etapas

Figura 3: Etapas del FIME



Fuente: Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas / CEPIS / 2005

3.3.3.1 Etapa de pretratamiento: Filtración Gruesa

Los filtros gruesos son los Filtro Grueso Dinámico y Filtro Grueso Ascendente en Capas que trabajan con el paso de agua a través de un material granular filtrante

de mayor tamaño que el usado en los Filtro Lente de Arena, generalmente grava, cuyo tamaño decrece en la dirección del flujo.

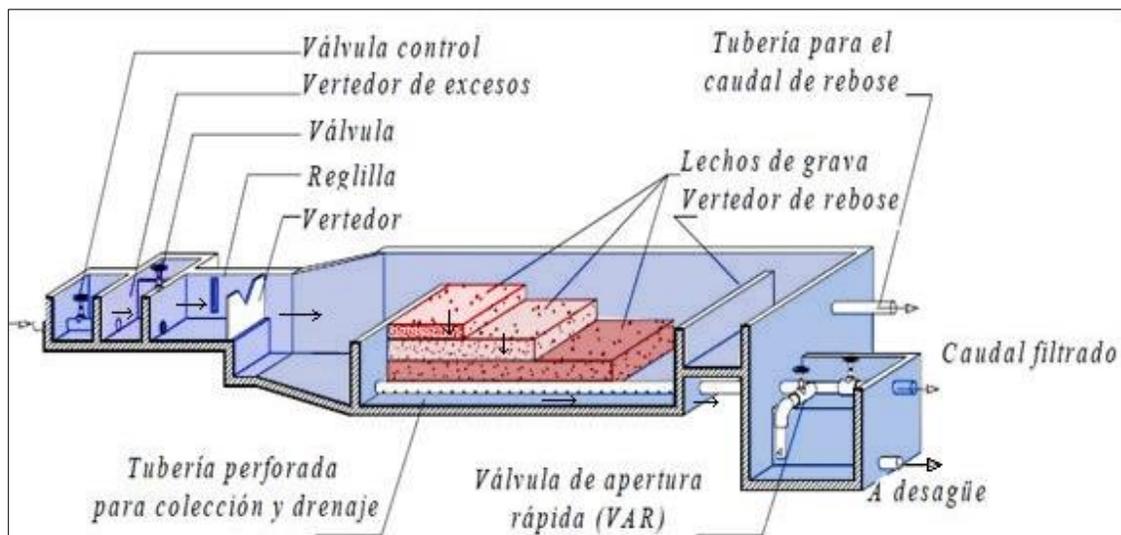
3.3.4 Filtración Gruesa Dinámica (FGDi)

Un Filtro Grueso Dinámico consiste en dos o más módulos operando en paralelo con flujo de agua descendente y sistema de drenaje en el fondo, donde cada unidad es empacada de tres capas de grava de distintas granulometrías, desde gruesa en el fondo (13-25mm), hasta fina en la superficie (6-13mm).

Esta unidad es utilizada para reducir los extremos de los picos de turbiedad y proteger de esta manera la planta de tratamiento ante altas cargas de sólidos transportadas por la fuente durante unas pocas horas.

Dinámico

Figura 4: Esquema del Filtro Grueso Dinámico



Fuente: Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas / CEPIS / 2005

Tabla 9: Lineamientos para el diseño de filtros gruesos dinámicos

Parámetro	Objetivos principales del tratamiento	
	Mejorar la calidad del agua	Reducir el impacto de los sólidos suspendidos
Velocidad de filtración (m/h)	0.5-0.2	>5
Capa del lecho filtrante:	0.20 y 3.5	0.20-0.30 y 1.5 -3
Superior (grosor en m y tamaño en mm)	0.20 y 5-15	0.10 y 3-5
Media (grosor en m y tamaño en mm)	0.20 y 15 - 25	0.10 y 5-15
Inferior (grosor en m y tamaño en mm)	Nula entre 0.1-0.3	Nula <0.05
Velocidad de operación superficial (m/s)	0.2-0.4	0.2-0.3
Velocidad de lavado superficial (m/h)	0.15-0.30	

Fuente: Filtración en Múltiples Etapas / Luís Darío Sánchez, Arlex Sánchez, Gerardo Galvis y Jorge Latorre (IRC) / 2007

3.3.4.1 Componentes de un Filtro Grueso Dinámico

a) Cámara de filtración

La cámara de filtración es el lugar donde se realiza el proceso de tratamiento ya que alberga el lecho filtrante, los medios de soporte y el sistema de drenaje.

b) Lecho filtrante y de soporte

El medio filtrante consiste en 3 capas de grava de tamaño ascendente desde la superficie hasta el fondo, la más fina se coloca en la superficie y la más gruesa en el fondo, los siguientes valores son recomendables para su diseño:

Tabla 10: Características del lecho filtrante del Filtro Grueso Dinámico

Posición en la unidad	Espesor de la capa (m)	Tamaño de Grava(mm)
Superior	0.20	3 -6
Intermedio	0.20	6 -13
Inferior, Fondo	0.20	13 -25

Fuente: Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas / CEPIS / 2005.

c) Estructuras de entrada y salida

Los conjuntos de elementos de la estructura de entrada deben permitir la disipación de energía, el control, la medición y distribución de flujo y el vertimiento de excesos.

Algunos elementos generalmente utilizados son:

- Válvulas de Control
- Vertederos
- Reglas de aforo
- Tuberías de Conducción del fluido
- Canal abierto

d) Sistema de recolección-drenaje y cámara de lavado

El sistema de drenaje está formado de tuberías perforadas y accesorios PVC que forman tanto los colectores laterales como el colector principal (Múltiples hidráulicos), con el propósito de recolectar tanto el agua filtrada como el agua de lavado y drenar la unidad cuando se da mantenimiento

e) Eficiencia de remoción

El Filtro Grueso Dinámico no solo reduce la concentración de material suspendido pues el agua efluente de esta unidad registra también remociones en parámetros microbiológicos y fisicoquímicos. A continuación, se muestran eficiencias de remoción encontradas en fuentes superficiales tratadas por Filtro Grueso Dinámico:

Tabla 11: Eficiencia de remoción del filtro grueso dinámico

Parámetro	Reducción típica
Sólidos suspendidos	Entre el 70% y el 80%, con fuentes entre el rango de 10 a 200 mg/l
Turbiedad	Entre el 30 y el 50% en fuentes de zona plana. En fuentes de ladera, la remoción fue aproximada al 50%. La eficiencia de remoción es afectada por la naturaleza, tamaño y distribución de las partículas.
Color real	Entre el 10 y el 25%, con fuentes en el rango entre 15 y 20 UPC.
Hierro, Magnesio	Entre 40 y 70% como hierro total y entre el 40 y 60% para manganeso.
Coliformes fecales termotolerantes	Entre 50 y 80%, para niveles de coliformes fecales en el agua cruda en el rango 2000 a 100000 UFC/100 ml y sólidos suspendidos entre 10 y 50 mg/l.

Fuente: Filtración en Múltiples Etapas, Tecnología Innovativa para el tratamiento de agua / Gerardo Galvis y Jorge Latorre/ septiembre de 1999.

f) Criterios de diseño

A continuación, se presenta una serie de valores o criterios de diseño recomendados por CINARA-IRC.

Tabla 12: Criterios de diseño recomendados por CINARA-IRC para el filtro grueso dinámico.

Criterio	Valores recomendados
Períodos de diseño (años)	8-12
Período de operación (h/d) *	24
Velocidad de filtración (m/h)	2-3

Número mínimo de unidades en paralelo	2
Área de filtración por unidad (m²)	<10
Velocidad superficial de flujo durante el lavado (m/s)	0.15-03
Lecho filtrante	
• Longitud (m)	0.6
• Tamaño de grava (mm)	Según tabla 10
Altura del vertedero de rebose (m)	0.03-0.05 (**)

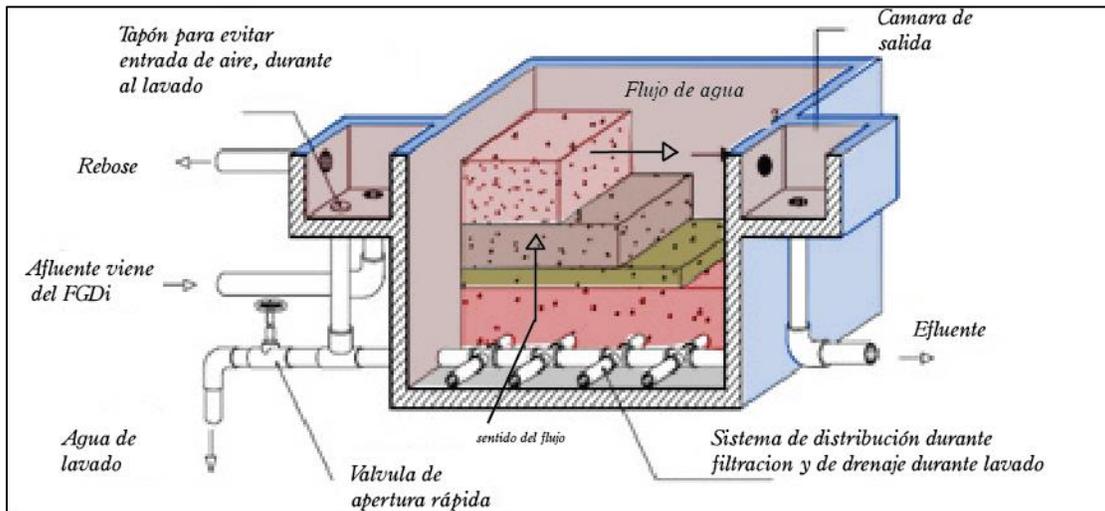
Fuente: Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas / CEPIS / 2005

- (*) Estaciones de bombeo de agua con periodos de operación inferiores a 24 h/día. Se recomienda proyectar un almacenamiento de agua cruda. A partir del cual se suministre agua de manera continua al FGD_i y demás componentes del FiME.
- (**) Medidos a partir del lecho filtrante de grava fina.

3.3.5 Filtro Grueso Ascendente En Capas (FGAC)

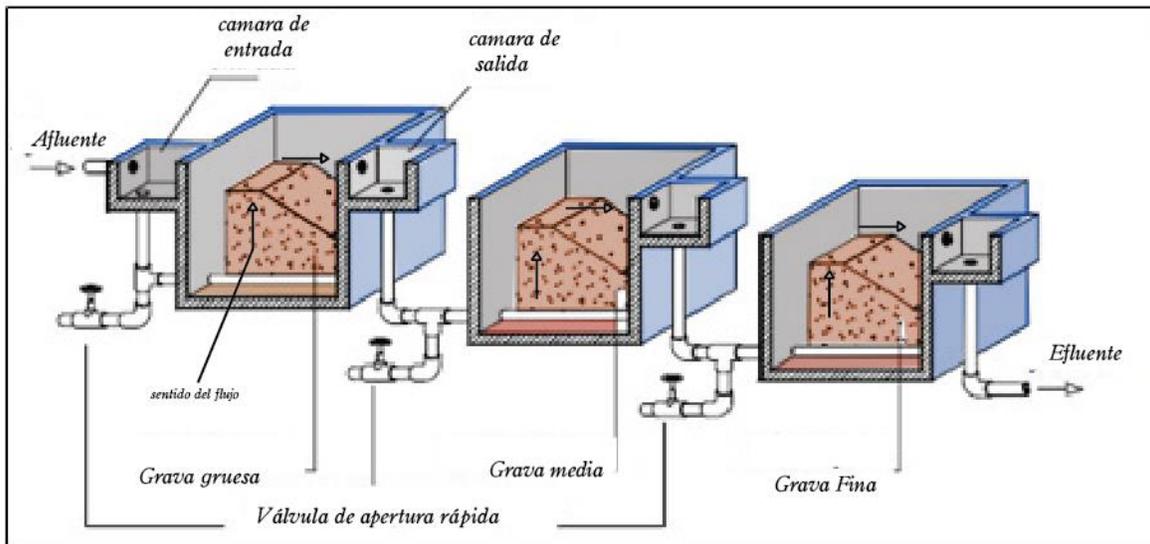
En este sistema, que puede ser de una o más unidades, el agua fluye de manera ascendente a través de un medio filtrante de grava organizado en capas con tamaños que decrecen en el sentido del flujo, desde gruesa en el fondo hasta fina en la superficie.

Figura 5: Esquema isométrico de un filtro grueso ascendente en capas.



Fuente: Fuente: Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas / CEPIS / 2005

Figura 6: Corte isométrico de un filtro grueso ascendente en serie



Fuente: Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas / CEPIS / 2005.

3.3.5.1 Componente del FGAC

a) Cámara de filtración

La altura total del filtro se encuentra en un rango entre 1.1 a 1.5 metros.

b) Lecho filtrante

Las características de las capas de grava (incluyendo lecho de soporte) se eligen cuidadosamente, con el fin de optimizar, tanto el funcionamiento hidráulico como el mantenimiento de las unidades. Para esto se recomiendan los siguientes valores de granulometría y espesor de capas:

Tabla 13: Características del medio filtrante de un filtro grueso ascendente

Lecho filtrante (mm)	Altura (m)					
	FGAC	FGA en serie con dos unidades en paralelo		FGA en serie con tres unidades en paralelo		
		1	2	1	2	3
19-25	0.30*	0.30*		0.30*	0.20*	
13-19	0.20-0.30	0.30-0.45	0.20*	0.15	0.15*	0.15*
6-13	0.15-0.20	0.30-0.45	0.15*	0.45-0.75	0.15*	0.15*
3-6	0.15-0.20		0.30-0.45		0.40-0.70	0.15*
1.6-3	0.10-0.20		0.25-0.40			0.45-0.75
Total (m)						
Soporte	0.30	0.30	0.35	0.30	0.50	0.45
Lecho filtrante	0.60-0.90	0.60-0.90	0.55-0.85	0.60-0.90	0.40-0.70	0.45-0.75

Fuente: Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas / CEPIS / 2005

c) Estructuras de entrada y salida

Esta estructura permite la regulación y recolección del agua a la entrada, esta con formada de un canal pequeño que conduce el agua previamente acondicionada hasta la cámara de entrada de los filtros gruesos.

Algunos elementos generalmente utilizados son:

- Canal hidráulico
- Vertedero de entrada o salida de agua
- Válvulas de control

d) Sistema de drenaje y cámara de lavado

El sistema de drenaje cumple con dos funciones principales: Distribuir uniformemente el flujo en el área filtrante y recolectar el agua de lavado. Los elementos utilizados pueden ser los mismos que los del Filtro Grueso Dinámico ya que su función es la misma.

En los filtros gruesos con flujo vertical ascendente los múltiples cumplen con una doble función: Difusor (cuando el flujo del agua está en sentido ascendente) y recolector (cuando el flujo del agua está sentido descendente al momento del lavado)

e) Eficiencias de remoción

Según investigaciones los filtros gruesos ascendentes en capa arrojan los siguientes resultados en cuanto a eficiencia de remoción:

Tabla 14: Eficiencias de remoción de un Filtro Grueso Ascendente en Capas

Parámetro	Eficiencia de remoción %
Solidos suspendidos	49-94
Turbiedad	46-71
Color real	20-50
Coliformes fecales	73.3-98.4

Hierro y manganeso	>65
DQO	>50

Fuente: Filtros caseros, utilizando ferrocemento, diseño para servicio a 10 familias, constante de 3 unidades de filtros gruesos ascendentes (fgas), 2 filtros lentos de arena (fla), sistema para aplicación de cloro y 1 tanque de almacenamiento / María de Lourdes Cordero Ordoñez, Pablo Nelson Ullauri Hernández/2011

f) Criterios de diseño flujo grueso ascendente en capas.

A continuación, se presentan valores o criterios de diseño recomendados por el CINARA-IRC.

Tabla 15: Guía de diseño para Filtro Grueso Ascendente en Capas

Criterio	Valores recomendados
Periodo de operación (h/d)	8-12
Velocidad de filtración (m/h) *	24
Número de unidades en serie	0.3-0.6
FGAC	1
Lecho filtrante	
Longitud total (m)	0.60-0.90
Tamaño de grano (mm)	Según tabla
Lecho de soporte total	
Longitud (m)	0.30-1.25
Tamaño de grano (mm) (**)	Según tabla
Altura sobrenadante de agua (m)	0.10-0.20
Carga estática de agua para lavado en contraflujo(m)	2.5-3.0
Área de filtración por unidad (m²)	1.5-2.5

Fuente: Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas / CEPIS / 2005

3.3.6 Etapa de tratamiento principal: Filtración Lenta en Arena (FLA)

Es el proceso de filtración de baja carga superficial en donde se utiliza un lecho de arena como medio filtrante del agua. Durante el proceso las impurezas entran en contacto con la superficie de las partículas del medio filtrante y son retenidas, desarrollándose adicionalmente procesos de degradación química y biológica que reducen la materia retenida a formas más simples.

3.3.6.1 El proceso de degradación de la materia orgánica

El proceso de filtración ocurre debido a dos etapas; transporte y adherencia de partículas, las cuales actúan simultáneamente reteniendo las partículas orgánicas, sin embargo, para poder operar como un verdadero sistema de desinfección el filtro debe desarrollar una capa biológica madura en la capa inicial superior de arena o lo que es conocido como "schmutzdecke", en la cual ocurra el proceso de degradación de la materia orgánica.

Por acción de la luz solar se desarrollan algas que producen oxígeno, elemento conveniente para otros propósitos en la capa de agua sobrenadante y en el lecho filtrante.

Se produce una disminución del número de bacterias y alguna reducción de materia orgánica debido a su consumo por las algas o a su oxidación química. La mayor eliminación de impurezas, así como la considerable mejora de la calidad física, química y bacteriológica del agua cruda, tiene lugar en el lecho filtrante y, especialmente, en el Schmutzdecke.

En esta capa superior abundan microorganismos tales como algas, plancton, diatomeas y bacterias, los que, mediante su intensa actividad biológica, descomponen la materia orgánica. Más aún, gran cantidad de materia inorgánica en suspensión es retenida al "colarse" el agua.

El agua, en su paso a través del lecho, cambia constantemente de dirección de manera que las partículas acarreadas por el agua toman contacto con los granos

del filtro por diversos mecanismos de transporte. Los granos van quedando cubiertos por una capa pegajosa, principalmente de materia orgánica, la que a su vez atrapa estas partículas por diversos mecanismos de adherencia. Al mismo tiempo, los microorganismos activos (bacterias, protozoos, bacteriófagos) que se encuentran en la capa pegajosa que rodea a los granos se alimentan de las impurezas atrapadas y se devoran entre sí.

En esta forma, la materia orgánica degradable, incluidas bacterias y virus de origen fecal, es descompuesta gradualmente y convertida en agua, anhídrido carbónico y sales inorgánicas inocuas. La zona viviente donde tienen lugar estos mecanismos de purificación se extiende hasta unos 0.4 a 0.5 metros por debajo de la superficie del lecho filtrante, pero disminuye en actividad al aumentar la profundidad conforme se purifica el agua y ésta contiene menos materia orgánica y menos compuestos nutrientes

Cuando se limpian las capas superiores del filtro se remueven las bacterias, siendo necesario un nuevo periodo de maduración del Filtro Lento de Arena el cual puede ser de dos a cuatro semanas y ya que el rendimiento depende principalmente del proceso biológico su eficiencia es baja durante este periodo.

3.3.7 Estructura del Filtro Lento de Arena

La estructura del Filtro Lento de Arena se puede descomponer en 3 sectores diferentes del filtro siendo estos los componentes dentro del tanque del filtro, y los componentes de regulación a la entrada y salida del Filtro Lento de Arena.

3.3.7.1 Dentro del tanque:

a) Capa sobrenadante de agua cruda

La capa de agua sobrenadante proporciona una carga hidráulica que es suficiente para hacer pasar el agua a través del lecho del material filtrante.

b) Lecho de arena (medio filtrante)

Es la “barrera” que separa las partículas de agua de la materia orgánica e inorgánica contaminante y el medio donde se produce la capa biológica que se encarga de degradar dicha materia, por lo que es el corazón del proceso.

Tabla 16: Características del medio filtrante de Filtro Lento de Arena)

Medio filtrante	
Tamaño efectivo, d10	0.15 - 0.35mm
Coefficiente de uniformidad CU	≤2
Altura del medio filtrante	1.20 m

Fuente: Diseño de Abastecimiento de Agua en el Medio Rural y Saneamiento Básico Rural / INAA / 06 de marzo del 2001.

c) Capa de soporte

Se utiliza grava gruesa en el estrato inferior y se reduce progresivamente el tamaño hasta usar arena gruesa en el estrato superior, se recomiendan los siguientes tamaños:

Tabla 17: Características De La Capa De Soporte Del FLA

Capa	Tipo	Tamaño (mm)	Espesor de la capa (m)
Superior	Arena gruesa	3.175-6.35	0.05-0.10
segunda	Gravilla fina	6.35-12.7	0.05-0.10
Tercera	Gravilla	12.7-25.4	0.08-0.10
Inferior	Grava	25.4-50.8	0.10-0.12

Fuente: Diseño de Abastecimiento de Agua en el Medio Rural y Saneamiento Básico Rural / INAA / 06 de marzo del 2001

d) Sistema de Drenaje

Consiste en una tubería principal con conductos laterales perforados, que cumplen con tres propósitos principales:

- Soporta el material filtrante e impide que sea arrastrado a través del sistema de drenaje de modo que se asegure una velocidad de filtración uniforme sobre toda el área del filtro.
- Asegurar la recolección uniforme del agua filtrada en toda el área de filtración.
- Permitir el llenado de los filtros y eliminar burbujas de aire.

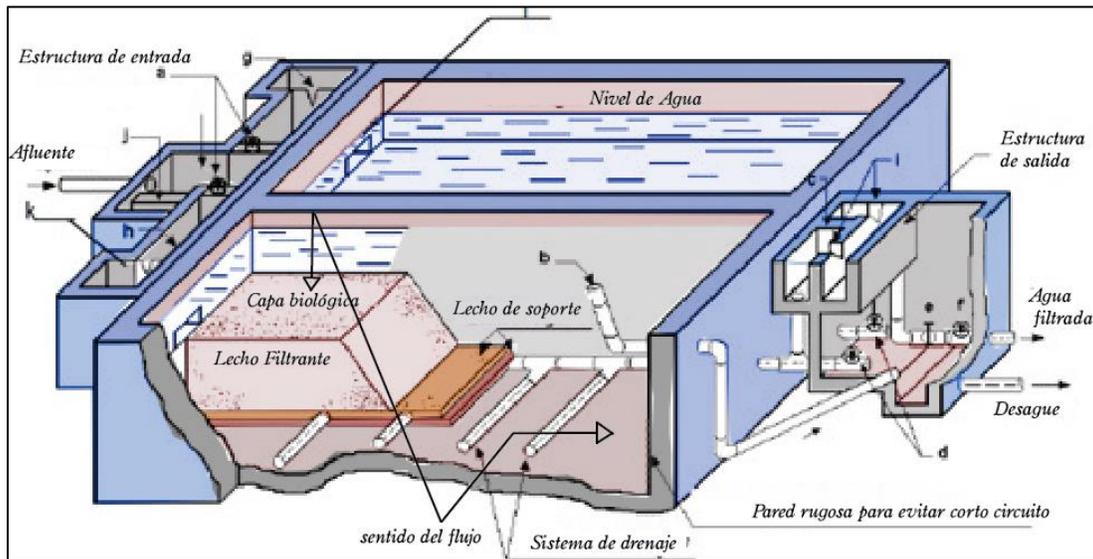
e) Estructura de control a la entrada o salida del FLA

Se entiende por filtro con estructura de control a la entrada a aquel que posee la válvula de entrada de agua a la entrada del filtro y a filtro con estructura de control a la salida al que posee la válvula de entrada de agua a la salida del filtro.

Los elementos que componen la estructura de control a la entrada o la salida del FLA son:

- Válvula para dar entrada al agua cruda y regular la velocidad de filtración.
- Dispositivo para drenar la capa de agua sobrenadante.
- Válvula para llenar el lecho filtrante con agua limpia.
- Válvula para drenar el lecho filtrante y cámara de salida.
- Válvula para desechar agua tratada.
- Válvula para suministrar agua tratada al depósito de agua limpia.
- Vertedero de entrada.
- Indicadores calibradores de flujo.
- Vertedero de salida.

Figura 7: Componentes básicos de un FLA con control a la entrada.



Fuente: Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas / CEPIS / 2005

f) Criterios de diseño

Actualmente existen diferencias en los sistemas FLA alrededor del mundo, esto se debe en parte a un mayor entendimiento de la tecnología, lo que genera diferentes criterios entre los especialistas. En la siguiente tabla se presenta los distintos criterios de diseño

Tabla 18: Criterios de Diseño según diferentes autores

Criterios de diseño	Huisman y Wood (1974)	Tenotates standards (1987)	Visscher et al. (1987)	Galvis et al (1998)
Periodos de diseños (años)	n. e	n. e	10-15	8-12
Periodos de operación	24	24	24	24
Tasa de filtración (m/h)	0.1-0.4	0.08-0.24	0.1-0.2	0.1-0.3
Lecho de arena: Altura inicial (m)	1.2	0.8	0.9	0.8

Altura mínima (m)	0.7	n. e	0.5	0.5
Tamaño efectivo (mm)	0.15-0.35	0.30-0.45	0.15-0.30	0.15-0.30
Coefficiente de uniformidad:	<3	n.e	<5	<4
aceptable				
Preferible	<2	<= 2.5	<3	<3
Altura del lecho del soporte con drenaje (m)	n.e	0.4-0.6	0.3-0.5	0.25
Altura máxima del agua sobrenadante (m)	1-1.5	0.9	1	0.75
Borde libre (m)	0.2-0.3	n.e	0.1	0.1
Área de superficie máxima (m²)	n.e	n.e	<200	<100

Fuente: Filtración en Múltiples Etapas, Tecnología Innovativa para el tratamiento de agua / Gerardo Galvis y Jorge Latorre/ septiembre de 1999

3.3.7.2 Límites de Calidad de agua cruda para tratamiento con FLA

En algunos casos las condiciones son desfavorables e imposibilitan la implementación de un filtro lento de arena y estas condiciones incluyen, pero no se limitan, a la turbiedad del agua proveniente de la fuente, siendo este el factor técnico más común a tomar en cuenta para la consideración de un sistema FLA. Un filtro lento de arena puede funcionar dentro de los siguientes rangos de calidad de agua cruda:

Tabla 19: Calidad de agua cruda para tratamiento directo con Filtro Lento de Arena

Criterio Calidad De Agua Cruda	Límites De Calidad Según Referencias 1991		
	Spencer Et Al	Cleasby	Di Benardo
Turbiedad	5-10UNT	5 UNT	10 UNT
Algas (Unidades/L)	200000	5 mg/m ³	250000

Color Real	15-25 UPC		5 UPC
absorbancia (254mm)	0.08 UA		
Oxígeno Disuelto	> 6 mg/l		
Fosforo (Po4)	30 mg/l		
Amoniaco	3 mg/l		
Hierro Total	1 mg/l	0.3 mg/l	2.0 mg/l
Manganeso		0.05 mg/l	0.2 mg/l
Coliformes Fecales			200 org/100 ml

Fuente: Filtración en Múltiples Etapas, Tecnología Innovativa para el tratamiento de agua / Gerardo Galvis y Jorge Latorre/ septiembre de 1999.

3.3.7.3 Ventajas y desventajas del Filtro Lento de Arena

De manera comparativa se muestran las principales ventajas y desventajas del FLA en la siguiente tabla:

Tabla 20: Ventajas y Desventajas del Filtro Lento de Arena

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • La mayor ventaja de esta unidad reside en su simplicidad. El filtro lento sin controlador de velocidad y con controles de nivel mediante vertederos es muy sencillo y confiable de operar con los recursos disponibles en el medio rural de los países en desarrollo. • No hay cambios organolépticos en la calidad del agua • Las comunidades aceptan el agua tratada por el FLA. 	<ul style="list-style-type: none"> • El filtro lento sin pretratamiento no debe operar con turbiedad mayor de 20 o 30 UNT; esporádicamente se pueden aceptar pico de 50 a 100 UNT. • La eficiencia de esta unidad se reduce con la temperatura baja. • La presencia de biosidas o plaguicidas en el afluente pueden modificar o destruir el proceso microbiológico en el que se basa la filtración lenta

Fuente: Autoría propia.

3.3.8 Selección de la configuración del FIME

Con el conocimiento de los aspectos generales que describen la funcionalidad de cada alternativa, presentada en este documento, para un sistema de Filtración en múltiples etapas, el diseñador debe seleccionar la combinación correcta para garantizar la potabilización del agua, en primera instancia, pero también la que permita tener un mayor tiempo de trabajo.

El CINARA propone los siguientes valores mínimos requeridos para la adopción de un sistema FIME:

Tabla 21: Modelo para la selección de un sistema de agua por filtración en múltiples etapas, FIME. (Todas las opciones incluyen $FGDi_{2.0}$ y $FLA_{0.15}$)

Coliformes fecales (UFC/100mL)	Turbiedad(UNT)	<10	10-20	20-50	50-70
	Color Real (UC)	<20	20-30	30-40	30-40 (*)
<500		Sin FGA	FGAC (0.6)	FGAC (0.45)	FGAC (0.30)
500 - 10000		FGAC (0.6)	FGAC (0.6)	FGAC (0.45)	FGAC (0.30)
10000 - 20000 (*)		FGAC (0.45)	FGAC (0.45)	FGAC (0.45)	FGAC (0.30)

Fuente: Filtración en Múltiples Etapas / Luís Darío Sánchez, Arlex Sánchez, Gerardo Galvis y Jorge Latorre (IRC) / 2007

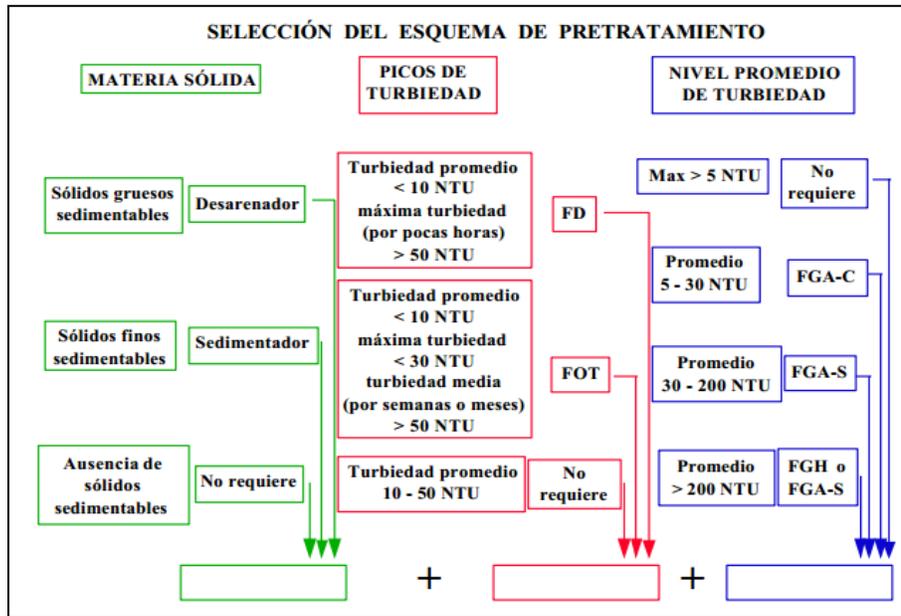
- (*) Para valores superiores a 70 UNT; 20000 UFC/100 ml o 40 UC, se recomienda realizar estudio en planta piloto. (El subíndice indica la velocidad de filtración recomendada en m/h).

Imagen 1: Clasificación de fuentes según el rango de calidad

	Bajo
	Medio
	Alto

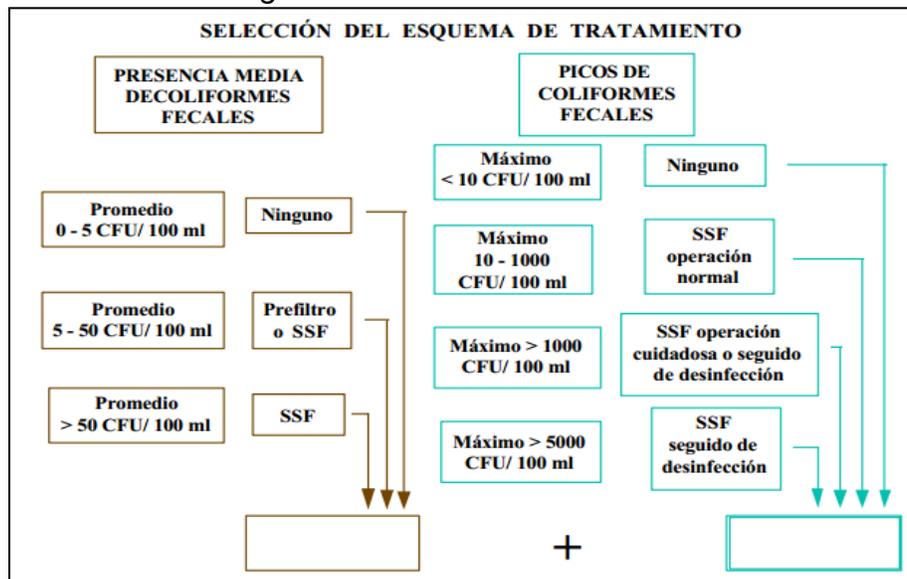
Es también responsabilidad del diseñador seleccionar un sistema de tratamiento primario que proteja el sistema FIME y garantice que el afluente que entre al sistema no sobrepase los rangos de funcionalidad óptima, Wegelin propone una manera simple de elegir la composición más adecuada, la cual se presenta a continuación:

Figura 8: Selección de pretratamiento.



Fuente: Wegelin / 1996

Figura 9: Selección de tratamiento



Fuente: Wegelin / 1996

En donde las siglas mostradas en las figuras 8 y 9 significan lo siguiente:

- FD: Filtro dinámico
- FOT: Filtro en obra de toma
- FGA-C: Filtro grueso ascendente en capas
- FGA-S: Filtro grueso ascendente en series
- SSF: Filtro lento de arena
- FGH: Filtro grueso horizontal
- NTU: Unidades nefelométricas de turbiedad
- CFU: Unidades formadoras de colonias.

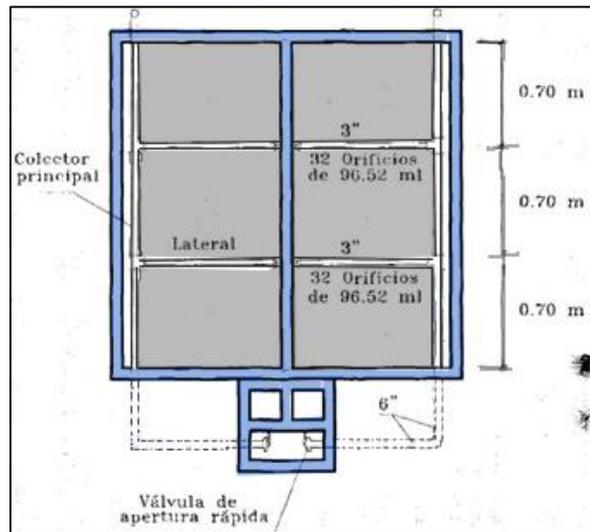
Es importante mencionar que también influyen otros factores socioeconómicos en la selección de los sistemas de tratamiento y pretratamiento del agua.

Nota importante: las siglas anteriormente definidas son en inglés debido a que ese es el origen de la bibliografía utilizada, el significado se muestra en español para que el lector comprenda en su totalidad el esquema de las figuras 8 y 9.

3.4 Múltiples para drenaje y distribución de agua

Los múltiples son estructuras hidráulicas muy importantes, por medio de las cuales se realiza la distribución del flujo garantizando el mejor comportamiento hidráulico de la estructura. Consiste en un conducto principal, con laterales espaciados en intervalos regulares.

Figura 10: Distribución esquemática del múltiple difusor en filtro grueso



Fuente: *Filtración en múltiples etapas/ Galvis Castaño/ 1999*

Tienen dos funciones principales la de distribuir el flujo durante el proceso de filtración “difusores”, y la de recolección del flujo en el proceso de drenaje “recolectores”. Existen múltiples que cumplen con esta doble función como la de los sistemas de drenaje en los filtros rápidos o en las unidades de filtración gruesa de flujo vertical. (Galvis Castaño et al., 1999).

Una distribución aceptable de caudales entre el orificio más cercano a la salida del múltiple y el más alejado de ella es de un 20%” (Galvis Castaño et al., 1999), este porcentaje es debido a las pérdidas de carga por cambio de dirección y diámetro.

Tabla 22: *Parámetros y recomendaciones para el diseño de múltiples*

Ítem	Recolector	Difusor
$R_o = \Sigma \text{área orificio} / \text{área de lecho}$	0.0015-0.005	0.0015-0.005
$R_l = \Sigma \text{área orificio} / \text{área tubería lateral}$	0.3-0.5	0.4-1.0
$R_p = \Sigma \text{área lateral} / \text{área tubería principal}$	0.3-0.5	0.4-1.0
Diámetro orificios (mm)	6-19	6-19
Espaciamiento entre orificios (m)	0.1-0.3	0.1-0.3
Espaciamiento entre laterales (m)	0.5-1.0	0.5-1.0

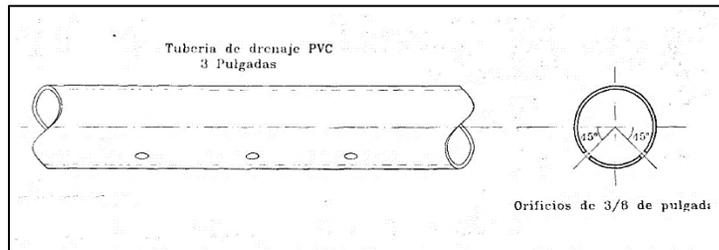
Fuente: Fair, Geyer y Okun, 1999

3.4.1 Consideraciones generales para el diseño de Múltiples

Para determinar características importantes como la cantidad de orificios sobre los laterales o el diámetro de los colectores, que garanticen una correcta distribución de caudales, es necesario primero tener en cuenta ciertas consideraciones generales:

- La altura de los tubos sobre el fondo debe ser de 3.5 cm
- la relación de longitud de los laterales a su diámetro no debe exceder de 60. (Arboleda Valencia, 2000)
- Los orificios se deben ubicar a 45 grados respecto la horizontal que cruza el eje de la tubería como se observa en la Figura 11. (Galvis Castaño et al., 1999)

Figura 11: Ubicación de los orificios en los múltiples



Fuente: Galvis Castaño et al, 1999

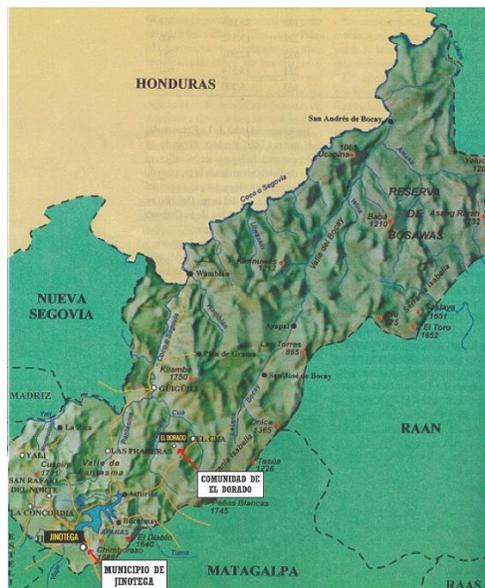
CAPITULO 4

4 Diseño Metodológico

4.1 Área Geográfica

4.1.1 Macro Localización de Jinotega

Figura 12: Mapa departamento de Jinotega



Fuente: Autoría propia.

4.1.2 Micro- localización de la planta de El Dorado

Figura 13: Comunidad El Dorado



Fuente: Captura de Google Earth.

4.2 Objeto de investigación

El objeto de la presente investigación es la población proyectada de la localidad de El Dorado que son los beneficiarios directos del proyecto a efectuarse.

4.3 Actores involucrados en la investigación.

Las empresas y entes involucrados en la investigación son: El Comité de Agua Potable (CAPS) de la localidad, Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA), Empresa Nicaragüense de Acueductos y alcantarillado sanitario (ENACAL), Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), La COSUDE, La Comunidad del Dorado, La Alcaldía Municipal de Jinotega. Los entes anteriormente mencionados son los que nos brindaran información sobre la planta de tratamiento, la fuente, característica de las aguas y los datos meteorológicos de la zona respectivamente.

4.4 Técnicas y métodos de recopilación de datos.

Las técnicas por implementar en la presenta investigación serán las siguientes:

4.4.1 Observación sistemática

Se utiliza la observación como técnica de recopilación de información debido a que nos puede proporcionar datos sobre la operatividad de la planta de tratamiento por parte de los operarios, funcionalidad del estado físico del sistema, así como también la de corroborar que el sistema construido cumpla o al menos se asemeje a los estándares de diseño establecidos.

4.5 Entrevistas

Se dirigirán entrevistas a tres conjuntos de entrevistados diferentes, el primero es el conjunto conformado por la Alcaldía municipal de El Dorado y cualquier otra institución involucrada en el proyecto de la planta de tratamiento de agua potable que este accesible, esto con el objetivo de obtener información relevante sobre los procesos que se utilizaron al momento del desarrollo del proyecto y los obstáculos que atravesaron. El segundo colectivo de entrevistados será conformado por la junta directiva del CAP y el personal designado a operar la planta de tratamiento, con el objetivo de evaluar el conocimiento que tienen respecto al manejo y mantenimiento del sistema de filtración en múltiples etapas (FIME). Finalmente se entrevistará a la

población de la localidad de El Dorado para conocer la percepción que estos tienen con respecto del servicio de agua potable, incluyendo la calidad del agua y averiguar si esta ha causado afectaciones en la salud.

4.6 Información documental

Esta técnica nos permite mediante la recopilación de información, conocer y comprender el tema en cuestión, por medio de un conjunto de recursos bibliográficos.

Es importante la implementación de esta técnica porque nos permite generar distintas formas de interpretar la problemática de la investigación, además de brindarnos las herramientas para diseñar una planta de tratamiento que dé solución al problema planteado. En esta técnica se hace visible la utilización de libros, manuales de diseño, planos entre otros.

4.7 Estudios de campo

Se utilizan los estudios de campo como técnica de recopilación de información debido a que estos son necesarios para todos aquellos datos que tenga que ser obtenida mediante la medición de parámetros preestablecidos que puedan influir directamente en el diseño de la planta o que puedan mostrar problemáticas en el sistema actual. Estos estudios están comprendidos por:

- Caracterización de las aguas en la entrada y la salida de la planta a realizarse según los procedimientos establecidos en standard methods, para cumplir los parámetros establecidos por la norma NTON 09 003-99.
- Análisis granulométrico del medio filtrante de cada una de las unidades de filtración utilizando el método mecánico como se especifica en ASTM D-422 y los criterios de diseño del CINARA.
- Estudio Hidrometeorológico y manejo actual de la cuenca.
- Demanda de consumo como se muestra en la norma NTON 09 003-99.
- Realizar el levantamiento topográfico del predio que ocupa la planta.

4.8 Plan de procesamiento y análisis de la información

Una vez se haya finalizado con la recolección de información, se pasará al procesamiento y análisis de esta, como se muestra a continuación:

4.8.1 Evaluación de la planta de tratamiento existente.

- Clasificar la información recolectada en dependencia al estudio a realizar.
- Analizar el estudio Hidrometeorológico para determinar los picos de contaminación en las aguas en los momentos más críticos del invierno.
- Analizar los resultados del análisis granulométrico de los granos de arena utilizados como lecho filtrante en cada filtro.
- Se determinarán los consumos de diseño en base a la proyección de población efectuado a partir del último censo de la municipalidad.
- Analizar la información obtenida de las entrevistas realizadas a los tres conjuntos objetivos para constatar los procesos que se realizaron al momento de la ejecución del proyecto, además evaluar el nivel de conocimiento por parte de los responsables de mantener la planta en funcionamiento y la percepción que tiene la población sobre la calidad del agua que reciben.
- Analizar el levantamiento topográfico general del área que comprende la planta de tratamiento de agua potable y las medidas de la estructura física existente.
- Examinar el diseño hidráulico actual por el proceso de ingeniería inversa.
- Efectuar la evaluación del sistema FIME existente, a partir de los estudios previos anteriormente mencionados, así como la observación del estado actual de la planta para así poder determinar las causas del funcionamiento actual de la misma.
- Concluir la etapa de evaluación de la planta potabilizadora existente estipulando, de acuerdo con los resultados arrojados por los estudios realizados, la efectividad real de la planta potabilizadora, así como cualquier error que está presente, sea por razones constructivas, operativas o de diseño.

4.8.2 Mejoramiento de planta potabilizadora.

- Efectuar el diseño de una nueva planta de tratamiento, o de mejoramiento de la existente, de agua potable si la evaluación indica que el diseño actual es

ineficiente de lo contrario soportar el diseño actual con documentación actualizada.

- Elaboración del diseño hidráulico de la nueva planta de tratamiento, tomando en cuenta, la topografía del área de estudio, el gasto de diseño y la caracterización de las aguas.
- En base al estudio de caracterización de las aguas a la entrada y salida de cada filtro midiendo: calidad, capacidad y continuidad, se escogerá la tecnología de purificación de agua a utilizar en el rediseño de la planta de tratamiento.
- Seleccionar el material granular a utilizar en la nueva planta de tratamiento.
- Se utilizará el software AutoCAD para dibujar los planos finales del proyecto que muestren el diseño realizado de una nueva planta potabilizadora o bien la actualización de los planos de la planta existente.
- Elaborar una memoria de cálculo y un presupuesto detallado de la obra.
- Elaborar el manual de uso y mantenimiento de la planta de tratamiento de la comunidad El Dorado, de acuerdo con las normas nacionales e internacionales, y una versión simplificada para la utilización de los operadores locales de la planta.
- Concluidas las etapas de evaluación y mejoramiento de la planta se elaborará el documento final de la investigación, para luego proceder a realizar la presentación en base al documento terminado.

CAPITULO 5

5 Evaluación de la planta de tratamiento existente

5.1 Descripción de la Planta De Tratamiento De Agua Potable.

La planta de tratamiento de agua potable de la localidad el dorado se encuentra ubicado a 15 kilómetros de la entrada principal de la comunidad, dentro de los linderos de una finca cafetalera en la parte más alta de esta. Dicha planta fue concebida para servir a la población del dorado con aproximadamente 212 familias que se benefician del servicio actualmente.

Se realizaron tres visitas a la planta en donde se pudo visualizar que esta utiliza como tecnología de potabilización del agua, un sistema de filtración en múltiples etapas (FIME) configurado con los siguientes elementos: una unidad de entrada, un sistema de aireación, filtro grueso dinámico, filtro grueso ascendente en capas, filtro lento de arena, tanque de almacenamiento y una bodega, siendo todo esto incluido en un área de 294.94 m² que conforma la totalidad de la planta.

El agua que se potabiliza en la planta proviene de dos fuentes superficiales diferentes, la primera es el rio santa Rita con un caudal promedio de 30.19 GPM y la segunda es el rio san Antonio con un caudal 11.02 GPM, cabe mencionar que ambas fuentes son utilizadas únicamente en tiempos de verano en donde el caudal de los ríos disminuye, mientras que en época de lluvia se da abasto únicamente con la fuente santa Rita.

Componentes del Sistema de tratamiento de Filtración en múltiples etapas (FIME) utilizado en la planta El Dorado.

- a) **Unida de entrada:** la unidad de entrada es un cajón de concreto de 0.50 m x 0.50 m x 0.80m, que cumple la función de regulador del régimen de flujo del agua entrante a las unidades de filtración, actuando en sustitución de una válvula de control.
- b) **Sistema de aireación:** el agua proveniente de la fuente san Antonio tiene presencia de hierro, por lo que la planta del dorado implemente un sistema de aireación para oxidar el hierro disuelto a hierro insoluble y facilitar su precipitación sobre la unidad de entrada para que el caudal

entrante llegue libre de hierro. El sistema utiliza un total de 8 charolas agujeradas distribuidas en una altura total de 3.10m. **Véase anexos 1.1 – Figura 27-29.**

- c) **Filtro grueso dinámico (FGDI):** seguido de la unidad de entrada, nos encontramos la primera unidad de pretratamiento, el FGDI, la cual consiste en una estructura de mampostería reforzada con dimensiones de 0.80 m x 1.80m en su interior. Está compuesta por la mayoría de los elementos recomendado por el CINARA, tales como: cámara de entrada, tanque de filtración, canal de excesos, cámara de salida, válvula de apertura (VAR); haciendo falta únicamente una cámara de lavado **Véase anexos 1.1 – Figura 27-29**
- d) **Filtro grueso en capas (FGAC):** el FGAC es la siguiente unidad en la línea de tratamiento de la planta, al igual que el FGDI está consiste en una estructura de mampostería reforzada con dimensiones internas de 2m x 3.30m, compuesta por elementos tales como: cámara de entrada, canales de distribución de caudal, tanque de filtración, cámara de salida y VAR. Al igual que la unidad anterior esta carece de una cámara de lavado. **Véase anexos 1.1- Figuras 30-31**
- e) **Filtro lento de arena (FLA):** el FLA es la última unidad de tratamiento, está a igual que las demás unidades posee las mismas características constructivas, con dimensiones de 3.65 m x 5 m, con una profundidad de 2.30m. cuenta con elementos como, unidad de entrada, cámara de excesos, canales de distribución, tanque de filtración, cámara de lavado siendo este el único que cuenta con este. **Véase anexos 1.1 – Figura 31-33**
- f) **Tanque de almacenamiento:** el tanque de almacenamiento de la planta de tratamiento es una estructura de concreto reforzado, parcialmente enterrada, con una capacidad de 30.39 m³. **Véase anexo 1.1 – Figura 34**
- g) **Cloración:** el método de cloración seleccionado para la planta de tratamiento es de hipoclorito de calcio. Durante un tiempo este se aplicó

en forma de pastilla por disolución de estas, hasta que se decidió cambiar la presentación por la dificultad de conseguir las pastillas, siendo que actualmente se aplica el cloro de forma inadecuada. **Véase anexos 1.1 – Figura 35-38**

5.2 Evaluación de construcción y diseño.

La planta de tratamiento del dorado se ha evaluado de acuerdo con varios parámetros, para identificar problemáticas en el diseño implementado teniendo como bases el manual de diseño del CINARA, las normas para el diseño de sistema de abastecimiento y potabilización de las aguas (NTON -09003-99) y las normativas relativas para el diseño de sistema de agua potable en el medio rural.

Durante nuestra visita a la planta de tratamiento se realizaron los siguientes estudios:

- Estudio topográfico.
- Evaluación del caudal actual.
- Análisis granulométrico del lecho filtrante.
- Evaluación de la velocidad de filtración.
- Análisis microbiológico y físico del agua cruda y trata del agua.
- Estudio hidrológico.

a) Estudio Topográfico de la planta existente.

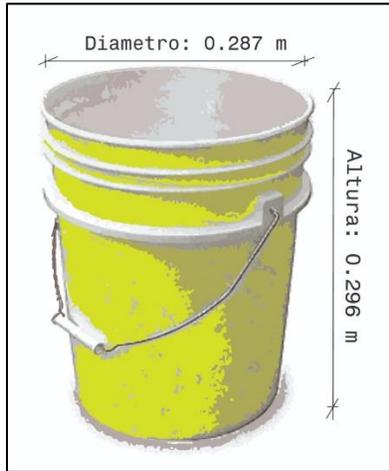
El levantamiento topográfico de la planta se realizó con GPS y estación total, con lo cual se consiguió determinar las dimensiones, curvas de nivel horizontales y verticales y perfil hidráulico de la planta. Véase anexos los planos resultantes del levantamiento. Véase plano en **Anexo 3**

b) Evaluación del caudal actual.

Se determinó el caudal entrante actual a través de la realización de múltiples aforos volumétricos a cada una de las fuentes que alimentan a la planta, ya que fue realizado en verano y a como se mencionó anteriormente es cuando utilizan ambas fuentes.

Se utilizó un recipiente (Balde) con un diámetro de 0.287 m y una altura de 0.296 m. quedando su volumen de la siguiente manera (**véase anexo 1.3 – Figuras 50-51**):

Figura 14: Esquema genérico de recipiente(balde)



Fuente: Autoría propia

- $V_{recipiente} = \frac{\pi D^2}{4} * H$
- $V_{recipiente} = \frac{\pi 0.287^2}{4} * 0.296m$
- $V_{recipiente} = 0.01914 m = 5.05 Gln$

Haciendo uso de la formula $Q = \frac{V}{T}$, se han obtenido los siguientes resultados:

Tabla 23: Fuente San Antonio.

Muestra	Tiempo (s)	Volumen de recipiente (g)	Caudal (GPM)	Caudal (m ³ /s)
1	27.57	0.01914	10.99	0.0006932
2	27.42	0.01914	11.050	0.0006970
3	24.42	0.01914	12.40	0.0007821
4	28.00	0.01914	10.82	0.0006825
5	30.78	0.01914	9.04	0.0005702
Promedio			11.02	0.000685

Fuente: Autoría propia

Tabla 24: Fuente Santa Rita

Muestra	Tiempo (S)	Volumen de recipiente (g)	Caudal (GPM)	Caudal (m ³ /s)
1	10.38	0.01914	29.19	0.00184
2	9.98	0.01914	30.36	0.001915
3	10	0.01914	30.3	0.001911
4	9.59	0.01914	31.59	0.001993
5	10.26	0.01914	29.53	0.001863
Promedio.			30.19	0.001904

Fuente: Autoría propia

Como en el momento que se realizó el estudio se estaba haciendo uso de ambas fuentes se tiene que sumar el caudal de ambas para determinar el caudal entrante a la planta que es de 41.21 GPM. Se menciona que tanto el informe final del proyecto como la memoria de cálculo reflejan que el caudal de diseño de la planta debería de ser 25.26 GPM, pero en realidad resulta que actualmente la planta recibe un 40% más del caudal para el cual fue diseñado provocando problemas al momento de la operación de los filtros.

c) Análisis granulométrico del lecho filtrante.

Se ha realizado el análisis granulométrico del lecho filtrante de las tres unidades de filtración que están operando actualmente en la planta (**véase anexo 1.3 – Figura 56-59**). A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

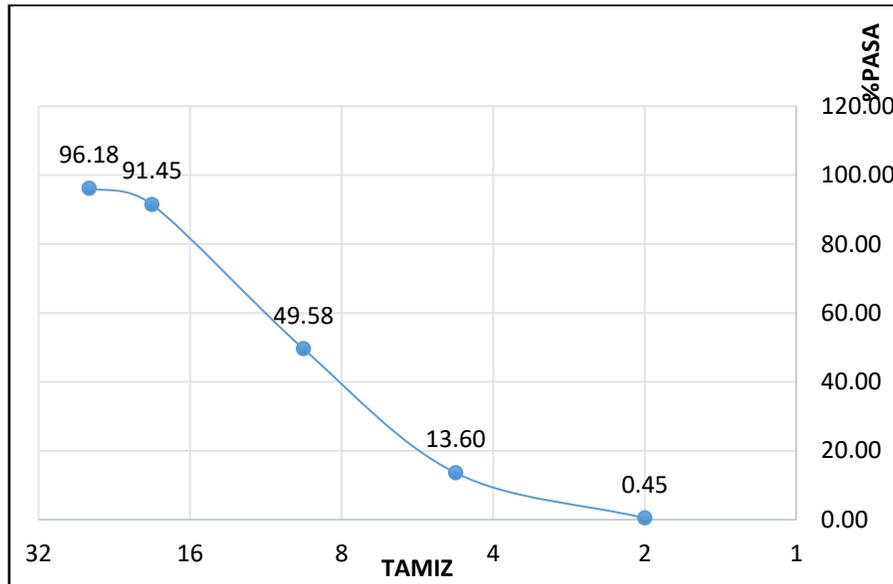
Filtro Grueso Dinámico (FGDi).

Según lo establecido por el CINARA, el lecho filtrante de arena del filtro grueso deberá cumplir con las siguientes características:

- El lecho filtrante deberá tener un espesor total de 0.4 - 0.60 mts, el cual estará distribuido en tres capas de 0.20mts. En la extracción de la muestra del lecho filtrante se comprobó que esta distribución es la utilizada.

- El rango de tamaño de los granos deberá de ser desde los 25mm a los 3mm a través de las tres capas que componen el lecho. El análisis granulométrico realizado desde el tamiz 1" a la n°200 arrojó el siguiente resultado:

Gráfico 1: Curva Granulométrica Filtro Grueso Dinámico



Fuente: Autoría propia

En el gráfico que se presenta se puede apreciar que el lecho filtrante del FGDI tiene una distribución de granos que va desde los 25 mm en el fondo del filtro, hasta los 2 mm en la capa superior. Aunque se presentan granos inferiores a los recomendados, estos representan menos del 1% por lo tanto no suponen un riesgo para la integridad del sistema de drenaje.

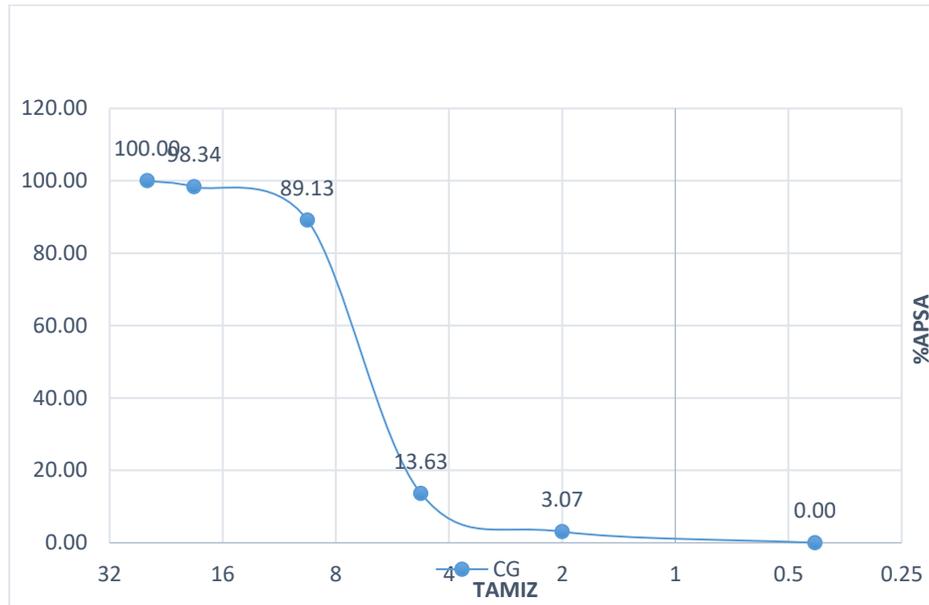
Filtro Grueso Ascendente en Capas (FGAC)

Según lo establecido por el CINARA, el lecho filtrante del filtro grueso ascendente en capas deberá cumplir con las siguientes características:

- El lecho filtrante deberá estar constituido por 5 capas de grava, con un espesor total entre los 1.20 mts a los 1.40 mts, en los que los primeros 0.20 mts a los 0.40mts estarán en contacto con el sistema de drenaje, esos formarán el lecho de soporte. Al momento de extracción de la muestra se logró comprobar que el lecho cumple con lo estipulado en norma colombiana.

- Los granos que componen el lecho filtrante deberán tener un rango de tamaño entre los 25 mm y 4 mm distribuidos a través de las 5 capas del lecho. El estudio granulométrico realizado desde las $\frac{3}{4}$ " a la n°200 arrojó los siguientes resultados:

Gráfico 2. Curva Granulométrica Filtro Grueso Ascendente en Capas



Fuente: Autoría propia

En este caso la muestra extraída solo es de las capas superficiales porque debido a las condiciones del filtro se dificultó tomar muestras de las capas inferiores por lo tanto el gráfico que se presenta muestra que la distribución de los granos va desde los 4 mm hasta 0.25mm. Un 13.63% de los granos son menores a los recomendados por los manuales del CINARA, aunque esta porción es considerable, no representa un riesgo para la integridad del sistema de drenaje.

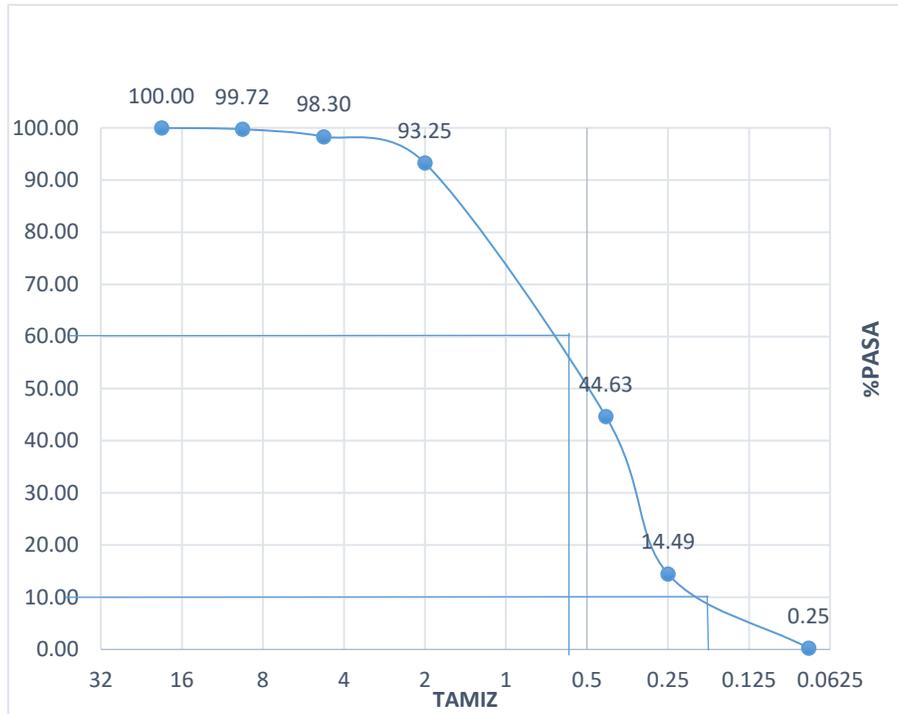
Filtro Lento de Arena (FLA).

Según la norma técnica nicaragüense “normas de diseño de abastecimiento de agua potable”, se ha evaluado el lecho filtrante del filtro lento de arena de la planta de tratamiento del dorado, determinando las siguientes características:

- El lecho filtrante es de 1.2 m, el cual se encuentre entre los rangos establecidos entre 1 m a 1.4 m de arena apoyada sobre la grava.

- El agua sobrenadante tiene una altura de 1 m, cumpliendo con el rango entre 1 m a 1.5 m.
- Borde libre con 0.20 m a como lo establece la norma. El rango de tamaño de los granos utilizados en lecho filtrante se puede apreciar mejor con el grafico que se presenta:

Gráfico 3. Curva Granulométrica Filtro Lento de Arena



El presenta grafico nos muestra que el rango de tamaño de granos que componen el lecho filtrante del FLA se encuentra entre los 10mm a los 0.25mm. Estableciéndose entre los rangos recomendados para las normas nacionales que es de 0.15mm a 0.35mm.

Es importante determinar otras de las características de la arena del lecho filtrante, la cual es el coeficiente de uniformidad de este, que según la norma nacional debe ser $CU \leq 2$, con los datos obtenidos se tiene que el CU es igual:

- $CU = \frac{d_{60}}{d_{10}}$

En donde:

- **D60** es el diámetro de las partículas correspondientes al 60% del material menor o igual a dicho tamaño.
- **D10** es el diámetro efectivo que es correspondiente a la abertura de tamiz donde pasa el 10% del material.

Proyecto los valores en el grafico se tiene que el coeficiente de uniformidad queda igual:

- $CU = \frac{0.62}{0.19}$
- $CU = 3.26$

Con los resultados obtenidos se puede observar que el diámetro efectivo D10 de la arena del lecho es 0.19 mm el cual se encuentra entre el rango requerido entre 0.15 mm - 0.35mm. La arena utilizada se considera altamente uniforme puesto que su coeficiente es 3.26 pero a pesar de ese hecho no llega a cumplir con lo establecido en la norma nicaragüense que es un $CU \leq 2$; a pesar de que el valor obtenido con lo estipulado en la RAS 2000-

d) Análisis de las velocidades de filtración.

La velocidad de filtración es uno de los parámetros más importantes a contralar en cada uno de los filtros del sistema pues de este depende la eficiencia de remoción por lo tanto se realizó un análisis de dicha velocidad en cada uno de los filtros, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 25: Velocidades de filtración de cada filtro.

Filtro	Área de filtración total (m2)	Caudal (m3/h)	Vf real (m/h)	Vf recomendada *(m/h)	Observaciones
FGDI	3.032	9.324	3.075	2.00	No cumple
FGAC	13.36	9.324	0.69	0.45	No cumple
FLA	36.5	9.324	0.26	0.30	No cumple

Fuente: Autoría propia.

Nota: Las velocidades de filtración recomendadas fueron tomadas de las normas RAS 2000 y el manual de diseño del CINARA.

Según se muestra en la tabla anterior ninguno de los filtros existentes cumple con las velocidades de filtración recomendadas por las normas, esto es debido principalmente por defectos en la construcción de estos ya que tienen más área de filtración que la propuesta en su diseño original.

e) Análisis del agua cruda y tratada.

El CINARA al igual que las normas RASS 2000 recomiendan que los muestreos deben de realizarse en dos momentos del año, verano e invierno, con el objetivo de tener una mejor percepción de la calidad de agua a tratar, pero por razones económicas para este proyecto se recolecto solamente una única muestra. Por lo tanto, mediante las indicaciones brindadas por el personal de la UNI-PIENSA, se tomaron muestras de agua cruda en la entrada de la planta y otra muestra con agua tratada en el tanque de almacenamiento las cuales se trasladaron al laboratorio para que posteriormente se les realicen los análisis correspondientes. Obteniendo los siguientes resultados (**Véase anexo 1.3 – Figura 38-39**):

Tabla 26: Resultados de análisis del agua cruda en la entrada de la planta

Parámetro	Cantidad	Unidad
Turbiedad	6.18	UNT
Color Verdadero	10	Mg/L
Coliformes Total	$1.6 \cdot 10^3$	NMP/100mL
Coliformes Fecal	33	NMP/100mL

Fuente: Autoría propia

Tabla 27: Resultados del análisis del agua tratada en la salida de la planta

Parámetros.	Cantidad.	Unidad.
Turbiedad	2.63	UNT
Color verdadero	2	Mg/L
Coliformes total	$9.2 \cdot 10^2$	NMP/100mL

Coliformes Fecal.	17	NMP/100mL
--------------------------	----	-----------

Fuente: Autoría propia

Véase Anexos. Con los resultados emitidos por el laboratorio.

Interpretación de los resultados:

Las características del agua entrante de la planta, se encuentra en los rangos aceptables para ser tratado por el sistema FIME, esto según los parámetros establecidos por el CINARA. A como se logra apreciar en la tabla 28 la calidad de agua a la salida de la planta no consigue cumplir satisfactoriamente con los parámetros de calidad según la normativa rural, ya que no se consiguió eliminar por completo la presencia de coliformes totales y fecales en el agua.

Tabla 28: cuadro comparativo entre los parámetros de la norma y los obtenidos en campo

Parámetro	Normativa		Datos de campo (Tabla 27)
	Recomendado	Admisible	
Turbiedad (UNT)	1	5	2.63
Color verdadero (mg/l)	1	15	2
Coliformes totales (NMP/100ml)	0	≤ 4	9.2x10 ²
Coliformes fecales (NMP/1.00ml)	0	0	17

Diseño de Abastecimiento de Agua en el Medio Rural y Saneamiento Básico

Rural / INAA / 06 de marzo del 2001

5.3 Construcción.

En todo proyecto de construcción que se realice siempre hay dos fases que deben ir de la mano siendo estas el diseño y la construcción o ejecución de la obra, pues están íntimamente relacionadas, ya que si una de estas no se realiza de la manera correcta puede llevar a obtener resultados poco o nada satisfactorios, poniendo en

riesgo la inversión económica realizada y más importante a las personas a la cuales está destinado su uso.

En el caso de la planta del dorado, se ha comprobado a través de los análisis realizados y lo presentado en la memoria de calculo que el diseño cumple con la mayor parte de los requerimientos que exigen tanto las normativas nacionales como internacionales, aun con las carencias que presenta. A pesar de este hecho se ha visto que no existe una armonía entre lo plasmado en la documentación técnica y lo construido en la planta; es posible que se deba a una falta de supervisión sobre la mano de obra utilizada ya que en su mayoría esta era de origen local e inexperta en ese tipo de trabajos.

Todas las fallas en la construcción de la planta son fácilmente visibles al realizar una o dos inspecciones alrededor de ella entre las que destacamos las siguientes:

- Descuadre en las cámaras de filtración de todas las unidades.
- Donde las dimensiones propuestas en las unidades de filtración no coinciden con las reales, en general son más grandes de lo planeado, cambiando de esa manera las cargas hidráulicas previstas.
- Mala colocación de las láminas de los vertederos triangulares, provocando que haya fugas alrededor del perímetro, al mismo tiempo que están ahogados.
Véase anexo 1.2 – Figura 39-41
- Fallas en el sellado de las paredes por donde pasa el tubo de drenaje del Filtro Lento de Arena, ocasionando grandes fugas y la detención temporal de la unidad de filtración antes mencionada. **Véase anexo 1.2 - Figura 46 - 47**
- Inconsistencia en los espesores de paredes de los filtros, en ciertos lugares eran más gruesos que en otros.
- Se realizó un orificio de más en la cámara de salida del Filtro Grueso Dinámico con el fin de anexar una tubería que transporte el agua a la siguiente unidad de filtración de igual manera el Filtro Grueso Ascendente en Capas se le instalo una

tubería externa para transportar el agua a la siguiente unidad. **Véase anexos 1.2 – Figura 41-43.**

Las principales consecuencias de que la planta de tratamiento del dorado cargue con esos errores en su construcción es que entorpecen las actividades de operación de esta debido a que no puede tener exactitud en los controles como en la medición diaria del caudal y de la turbiedad. Otro de los problemas es que se tiene que realizar el mantenimiento de las unidades de filtración con mayor frecuencia. Aun con estos errores la planta de tratamiento ha conseguido mantener un funcionamiento constante, pero sin ser totalmente adecuado y lejos de su máximo potencial.

5.4 Evaluación de operación y mantenimiento

El CAPS del dorado dentro de su organización interna cuenta con tres operarios que la manejan en su totalidad; según lo observado durante nuestras visitas, estos se organizan diariamente ya sea individual o en conjunto para encargarse de realizar las actividades de operación y mantenimiento previamente programadas, así como también de llevar el control de las actividades realizadas en un cuaderno de anotaciones improvisado.

Al encuestar a los operarios nos dimos cuenta de que estos ya cuentan con un manual de operación y mantenimiento, así como también de haber recibido una capacitación previa. Aun así, la mayoría de las actividades se ejecutan de manera empírica incluso en ocasiones se saltan algunos de los procedimientos recomendados por el manual que poseen, esto ocurre especialmente con las tareas de lavado de los filtros y situaciones de daños.

Esto sumado a la falta de instrumentos como: turbidímetro, reglas de aforo, cámara de lavado en el FGDI y FGAC, obligan a los operarios a improvisar con las herramientas que tiene a mano y a omitir ciertos controles. Provocando un desgaste en los operarios, además de no obtener los resultados esperados en la calidad del agua.

A pesar de las limitaciones siempre se cumplen con la ejecución de las actividades programadas, garantizando de esa forma el servicio a la comunidad. con el fin de

mejorar el servicio se recomienda que el MINSA y la alcaldía de Jinotega aumente sus visitas a la planta para capacitar de manera continua a los operarios, así como también para brindarles un manual de operación y mantenimiento que resulte más atractivo para estos y crearles la costumbre de consultarlo con mayor frecuencia.

5.5 Evaluación administrativa.

La gestión administrativa de la planta de tratamiento es realizada por el comité de agua potable y saneamiento (CAPS) del dorado el cual se encuentra constituido por miembros de la misma comunidad, esta funciona de manera independiente ya que esta maneja sus propios recursos obtenidos a partir del cobro del servicio del suministro de agua potable.

El cobro sobre el consumo de agua se obtiene a partir de las lecturas de los micromedidores instalados en las casas conectadas al servicio, en base a una tarifa de 8 córdobas por metro cubico esto según lo dicho por los miembros del CAPS entrevistados. Lo recaudado apenas logra ser suficiente para cubrir las necesidades de las tareas de operación y mantenimiento, así como también la compra de insumos básicos.

Cabe mencionar que el dinero recaudado no resulta ser suficientes para crear un fondo de ahorro para cuando se presenten necesidades constates de operación y mantenimiento e incluso daños a la planta en donde se requiere una mayor inversión para ser solucionados.

Actualmente el CAPS El Dorado no posee personería jurídica que le permita ser beneficiada por la **ley especial de comités de agua potable y saneamiento y su reglamento o ley 722** que en resumen estipula que si un CAPS se encuentra debidamente inscrito ante el ente regulador INAA deberá cumplir con las obligaciones que se describen dentro de la misma ley, a la vez que se verán beneficiados con capacitaciones técnicas, administrativas, sostenibilidad, operación del servicio, cuidado del medio ambiente, etc. Por parte de las instituciones gubernamentales tales como: ENACAL, INAA, MINSA, INAFOR, FISE y Municipalidades.

Debido a que los miembros que conforman el CAPS el Dorado poseen un bajo nivel académico y poca capacitación en muchos de los aspectos que rodean a la planta, es de gran importancia que estos se encuentren debidamente inscritos en el INAA para que cuenten con el apoyo de las diferentes instituciones para así poder garantizar la sostenibilidad de la planta a lo largo de su vida útil.

CAPITULO 6

6 Cálculos y Resultados

6.1 Diseño Hidráulico.

6.1.1 Selección de la Tecnología De Tratamiento.

Se ha seleccionado como tecnología de potabilización del agua un sistema de filtración en múltiples etapas, primeramente, porque los parámetros de calidad de agua como turbiedad, color y coliformes fecales según los resultados obtenidos en los muestreos (véase tabla N°26) se encuentran entre los rangos permitidos para este tipo de tecnologías según como se muestra en la tabla N°28.

Tabla 29: Resumen de rangos de calidad de agua en fuentes superficiales para orientar la selección de opciones FIME

RANGO	NIVEL PROMEDIO
Bajo	Turbiedad < 10 UNT Coliformes Fecales < 500 UFC/100 ml Color Real < 20 UPC
Intermedio	Turbiedad 10 - 20 UNT Coliformes Fecales 500 - 10000 UFC/100 ml Color Real 20 - 30 UPC
Alto	Turbiedad 20 - 70 UNT Coliformes Fecales 10000 - 20000 UFC/100 ml Color Real 30 - 40 UPC

Fuente: Guía para el diseño de sistema de filtración en múltiples etapas/2005/OPS.

Otro de los motivos fundamentales es la simplicidad de esta tecnología en lo que operación y mantenimiento se refiere pues está característica en particular la hace perfecta para ser manejada por personas de las áreas rurales más alejadas; además actualmente es la tecnología utilizada en la planta por lo que los miembros del CAPS ya se encuentran familiarizado con el manejo de esta y no sería adecuado intentar adaptarlos a un sistema de tratamiento de mayor complejidad.

6.1.2 Selección de las etapas de tratamiento del sistema.

La selección de las etapas de pretratamiento como filtros gruesos dinámico y ascendentes en capas del proyecto se ha realizado siguiendo las recomendaciones

y parámetros establecidos por el CINARA debido a que no existe información para este tipo de tecnologías dentro de la normativa nacional.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del agua (véase tabla N.º26), indican que se debería de utilizar una configuración de filtro grueso dinámico, filtro lento de arena, unidad de cloración y tanque de reserva estos según los parámetros establecidos por CINARA que se muestran en la tabla 21 en la sección 3.3.8

Como actualmente la planta cuenta en su configuración con un filtro grueso en capas (FGAC) y si tiene la intención de diseñar a partir de lo existente la configuración a utilizar será: **FGDI-FGAC-FLA**

Tabla30: Parámetros de diseño a utilizar en la planta de tratamiento del dorado.

Parámetros de diseño del FIME		
Criterio	Cantidad	Unidad
Periodo de diseño:	12	Años
Configuración	FGDI-FGAC-FLA	-----
Color real	10	Mg/L
Turbiedad	6.18	UNT
Coliformes fecales	$1.6 \cdot 10^3$	NMP/100mL

Fuente: Autoría propia

Componentes de la planta de tratamiento.

1. Unidad de entrada con vertedero para repartir el caudal.
2. Un filtro grueso dinámico (FGDI) con dos componentes.
3. Un filtro grueso ascendentes en capas con dos componentes.
4. Un filtro lento de arena con dos componentes
5. Desinfección (hipoclorito de sodio).
6. Cámara de lavado de grava y arena.
7. Tanque de reservar con capacidad de 45 m³.
8. Bodega.

Componentes principales de cada filtro son:

- Cámara de entrada y salida.
- Accesorios de regulación y control.
- Cámara de filtración.
- Lecho de soporte.
- Sistema de drenaje.

6.1.3 Caudal de Diseño

Como todo diseño hidráulico, para poder determinar las dimensiones de las unidades de filtración es necesario primeramente definir el caudal de diseño con el cual estas operaran a lo largo de su vida útil, para esto es necesario determinar la población a servir, por lo tanto, se toma como dato inicial, el determinado por PROFINIC en su estudio de crecimiento poblacional elaborado en el 2012 para el diseño de la planta de tratamiento existente en el cual se determinó un total de 1404 habitantes.

Nota: se utiliza el dato poblacional determinado por PROFINIC, debido a que no existen datos de censos realizados por las autoridades gubernamentales correspondientes por las mismas razones se asume una tasa de crecimiento poblacional del 2.5%.

Utilizando el método de proyección geométrica, según NTON 09003-99, se determina la población de diseño para un periodo de 12 años, así como el gasto correspondiente para este periodo. A continuación, se muestra el procedimiento de cálculo:

6.1.4 Determinación del caudal de diseño

Datos: $P_o = 1404$ habitantes; $i = 2.5 \%$

$$PD = P_o(1 + i)^n$$

En donde:

- **PD** = población de diseño.
- **Po** = población inicial.

- i = tasa de crecimiento poblacional.
- n = periodo de diseño proyectado.
- $P_{2017} = 1404\left(1 + \frac{2.5}{100}\right)^{2017-2014} = 1589 \text{ habitantes}$
- $PD = 1589\left(1 + \frac{2.5}{100}\right)^{2029-2017} = 2137 \text{ habitantes}$

Según lo estipulado en las Normativas relativas para el diseño de sistema de abastecimiento de agua en el medio rural para conexiones domiciliarias de patio se asignará una dotación de 60 litros por persona por día, por lo tanto, el caudal de diseño queda de la siguiente forma:

- $CPD = (2137)(60) \left(\frac{1}{5450.4}\right) = 23.525 \text{ Gpm} = 0.001464 \text{ m}^3/\text{s}$
- $CMD = 23.525 * 1.5 = 35.287 \text{ Gpm} = 0.002223 \text{ m}^3/\text{s}$
- $CMH = 23.525 * 2.5 = 58.812 \text{ Gpm} = 0.003705 \text{ m}^3/\text{s}$

Para mayor apreciación de la demanda de agua a través del tiempo, ver tabla 31.

Tabla 31: Tabla 30: Proyección y población y caudales en el periodo de vida útil

Año	habitantes	Dotación (Lppd)	CPD (GPM)	CMD (GPM)	CMH (GPM)
2017	1589	60	17.492	26.238	43.731
2018	1629	60	17.933	26.899	44.832
2019	1669	60	18.373	27.559	45.932
2020	1711	60	18.835	28.253	47.088
2021	1754	60	19.309	28.963	48.272
2022	1798	60	19.793	29.690	49.483
2023	1843	60	20.288	30.433	50.721
2024	1889	60	20.795	31.192	51.987
2025	1936	60	21.312	31.968	53.280
2026	1984	60	21.841	32.761	54.601
2027	2034	60	22.391	33.587	55.978

2028	2085	60	22.952	34.429	57.381
2029	2137	60	23.525	35.287	58.812

Fuente: Autoría propia

6.1.5 Tanque de almacenamiento

La capacidad del tanque de reserva será de un 35% del consumo promedio diario (CPD), según la norma de diseño de abastecimiento de agua en el medio rural y saneamiento básico rural del INAA.

a) Volumen compensador (15% = 3.6 hr)

- $VC = CPD * 60 * 3.6$
- $VC = 23.525 * 60 * 3.6$
- $VC = 5081.4 \text{ gpm} = 19.23 \text{ m}^3$

b) Volumen de reserva (20%= 4.8 hr)

- $VR = CPD * 60 * 4.8$
- $VR = 23.525 * 60 * 4.8$
- $VR = 6775.17 \text{ gpm} = 25.64 \text{ m}^3$

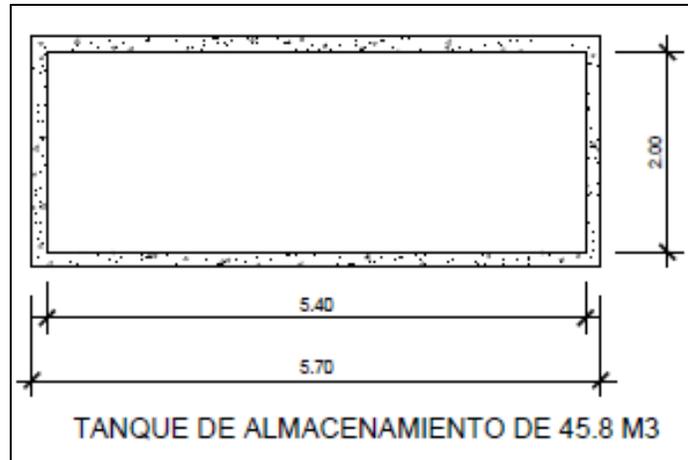
c) Volumen total

- $VT = VC + VR$
- $VT = 19.23 \text{ M}^3 + 25.65 \text{ m}^3 \text{ s}$
- $VT = 44.88 \text{ M}^3 = 45 \text{ m}^3$

Dimensiones

Se determinó un tanque de almacenamiento con un diámetro de 5.4 metros de diámetro y 2 m de profundidad, obteniendo un volumen final de 45. 8 m3. Superándose de este modo 36.39 m3 del tanque existente.

Figura 15: Corte longitudinal de tanque de almacenamiento propuesto



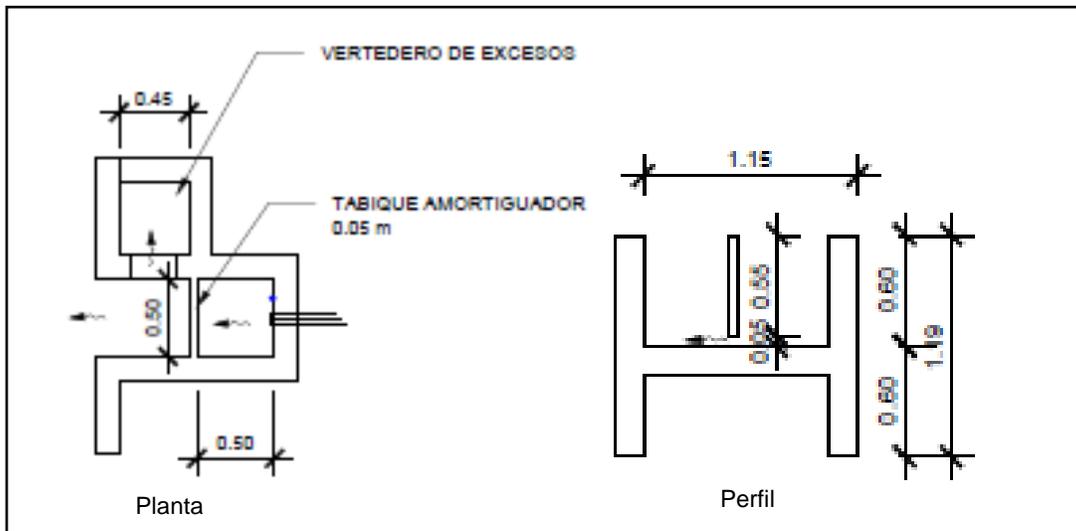
Fuente: autoría Propia

6.1.6 Unidad de entrada a la planta.

Con el objetivo de reducir la turbulencia de las aguas ingresan a la planta de tratamiento a través del filtro grueso dinámico, se contemplará en la entrada de este una unidad de entrada provista de un vertedero de entrada, un vertedero de excesos y un tabique amortiguador.

Se asume una cámara de entrada con $0.50\text{ m} \times 0.50\text{ m}$ y 0.60 m . adoptando también una velocidad a través del orificio de 0.40 m/s .

Figura 16: Esquema del detalle de la unidad de entrada



Fuente: Autoría propia

Por lo tanto:

- $A = \frac{Q}{v}$
- $A = \frac{0.00222 \text{ M}^3/\text{S}}{0.4 \text{ m/s}}$
- $A = 0.0055 \text{ m}^2$

La distancia entre el tabique amortiguador y el fondo de la cámara de entrada será de:

- $C = \frac{A}{\text{Ancho de camara}}$
- $C = \frac{0.0055 \text{ m}^2}{0.50}$
- $C = 0.011 \text{ m}$

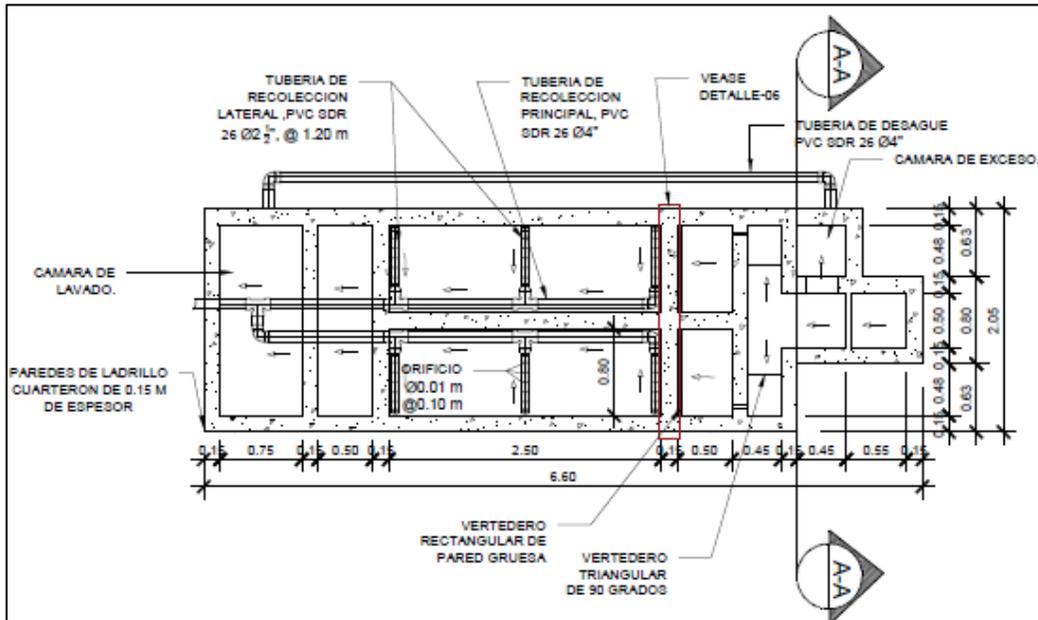
Se escoge una separación igual al diámetro de la tubería de entrada a la unidad que es igual 0.0635 m, entonces:

- $C = 0.0635 \text{ m}$

6.1.7 Diseño del Filtro Grueso Dinámico

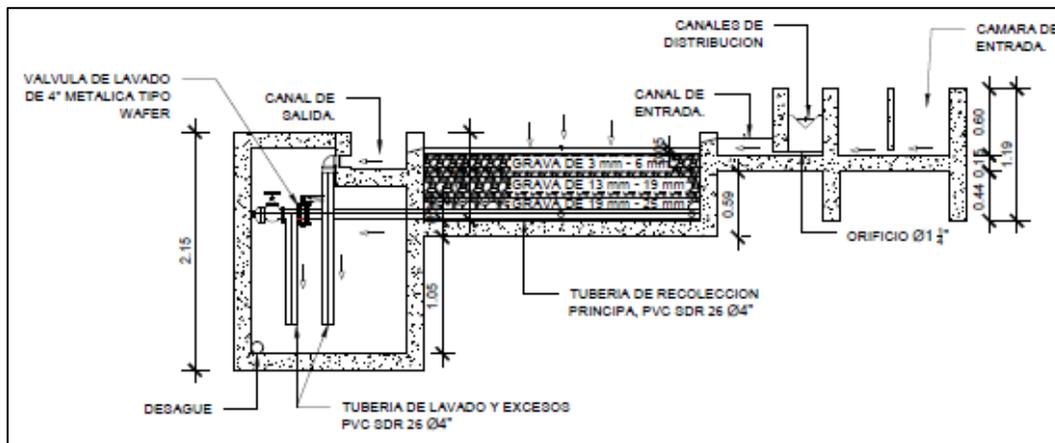
En la planta de tratamiento del dorado se incorporará como parte del pretratamiento de las aguas, dos filtros gruesos dinámicos (FGDi) puestos en paralelo, siguiendo las recomendaciones de diseño del CINARA (véase criterios de diseño en tabla 9) y adaptándonos a las normas que rigen a nuestro país siendo el caso de la NTON 09003-99 y Normativas relativas para el diseño de sistema de abastecimiento de agua en el medio rural. El filtro grueso dinámico constara con las siguientes estructuras:

Figura 17: Esquema de cálculo del FGD en planta.



Fuente: Autoría propia

Figura 18: Esquema de cálculo del FGD en perfil



Fuente: Autoría propia

- Cámara de filtración.
- Unidad de entrada.
- Lecho filtrante y de soporte.
- Sistema de drenaje y cámara de lavado.
- Accesorios de regulación y control.

a) Dimensionamiento de la cámara de filtración:

Para el determinar las dimensiones de la cámara de filtración del Filtro Grueso Dinámico, se utilizarán las recomendaciones del CINARA, así como también de las normas RAS 2000. A continuación, se muestra el procedimiento de cálculo:

- **Área total de filtración**

$$At = \frac{QD}{Vf}$$

En donde:

- **At** = área total de filtración.
- **QD** = caudal de diseño.
- **Vf** = velocidad de filtración.

Entonces:

Se tiene que $QD = 35.287 \text{ Gpm} = 8.01 \frac{m^3}{h}$, para la velocidad de filtración el manual de diseño de la CINARA recomienda un valor de $Vf = 2 \frac{m}{h}$ para este tipo de filtros.

$$At = \frac{8.01 \frac{m^3}{h}}{2 \frac{m}{h}} = 4.00 \text{ m}^2$$

- **Área de cada unidad de filtración**

$$Af = \frac{At}{N}$$

En donde:

- **Af:** área de filtración.
- **N:** número de unidades en paralelo.

El manual de diseño del CINARA recomienda un mínimo de 2 unidades de filtración puestas en paralelo para este tipo de filtros.

Entonces:

$$A_f = \frac{4.00m^2}{2} = 2.00 m^2$$

Por lo tanto, cada unidad de FGD_i tendrá un total de 2 m² de área de filtración.

Caudal de cada unidad de filtración.

$$Q_f = \frac{QD}{N}$$

En donde:

- **Q_f**: caudal de filtración.

Entonces:

- $Q_f = \frac{8.01 m^3/h}{2m/h} = 4.00 \frac{m^3}{h} = 0.001127 \frac{m^3}{s}$
- **Caja del filtro**

Se ha adoptado un ancho por unidad de 0.80m, entonces: $B = 0.80 m$

- $L = \frac{2.00 m^2}{0.8 m} m$
- $L = 2.504 m$

Por efectos de construcción se adoptan las siguientes dimensiones:

- $L = 2.50 m$
- $B = 0.80 m$

Entonces: $A = 0.8 m * 2.50 m = 2 m^2$

Según el manual de diseño de la CINARA el área de filtración por unida no puede exceder los 10 m². Se tiene que $A_t = 2 m^2 < 10 m^2$, por lo tanto, cumple.

b) Estructura de entrada y salida.

Con el objetivo de garantizar el mismo caudal de entrada a los filtros, se tiene proyectado un canal de aproximación, con un vertedero de excesos lateral, un vertedero triangular de 90° para llevar el flujo a un orificio de 3.12 cm, posteriormente habrá una cámara de entrada que será del 20 % del total del filtro,

seguido de los vertederos rectangulares que tendrán un ancho de 0.80 m cada uno.
(véase figuras 14 y 15)

Dimensiones del orificio.

$$Q_f = C_d A \sqrt{2gh}$$

En donde:

- Q_f : caudal de filtración.
- C_d : coeficiente de descarga.
- A : área del orificio.
- g : constante de gravedad.
- h : carga hidráulica, medido hasta el centro del orificio.

Nota:

- *el coeficiente de descarga (C_d) a utilizar será de 0.60 m, para número $Re > 10^5$, esto según Sotelo (pág. 207).
- ** para mantener un flujo continuo del agua se asume $h = 0.30$ m.

Despejando:

$$A = \frac{Q_f}{C_d \sqrt{2gh}}$$

- $A = \frac{0.001113 \text{ m}^3/\text{s}}{0.60 \sqrt{2 \cdot (9.81 \text{ m/s}^2) \cdot (0.30 \text{ m})}}$

- $A = 0.0007646 \text{ m}^2$

- $A = \frac{\pi D^2}{4}$

Despejando:

- $D = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}}$

- $D = \sqrt{\frac{0.0007646 \text{ m}^2 \cdot 4}{\pi}}$

- $D = 3.17 \text{ cm}$

Por lo tanto, se escoge un diámetro del orificio de 3.12cm o 1 1/4 pulgada.

Longitud de la cámara de entrada y salida.

L: longitud de la cámara de filtración * 20%

- $L = 2.50 \text{ m} * 0.20$
- $L = 0.50 \text{ m}$

Carga sobre el vertedero triangular de 90°

$$Q = kh^{\frac{5}{2}}$$

En donde:

- K = coeficiente de forma.
- h = carga hidráulica.

$$k = \frac{8}{15} \tan \frac{\theta}{2} \sqrt{2g} C$$

Dónde: C = 0.60 para un vertedero triangular de 90°, entonces el coeficiente de forma k es igual a:

- $k = \frac{8}{15} \tan \frac{90}{2} \sqrt{2(9.81 \text{ m/s}^2)} (0.60)$
- $k = 1.417$

- $h = \left(\frac{Qf}{k}\right)^{\frac{2}{5}}$
- $h = \left(\frac{0.001113 \text{ m}^3/\text{s}}{1.417}\right)^{\frac{2}{5}}$
- $h = 0.057 \text{ m}$

Carga en el vertedero rectangular de pared gruesa a la entrada del filtro.

La carga sobre el vertedero a la entrada se calcula por medio de la ecuación de Francis:

$$Qf = KBh^{\frac{3}{2}}$$

Dónde:

- QF = Caudal de filtración.
- B = ancho del vertedero.
- h = carga hidráulica sobre el vertedero.

$$h = \left(\frac{Qf}{k * B} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Dónde:

- $K = \frac{2}{3} \sqrt{2gCd}$
- $K = \frac{2}{3} \sqrt{2gCd}$
- $K = \frac{2}{3} \sqrt{2(9.81)(0.62)} = 1.838 = 1.84$

Por lo tanto:

- $h = \left(\frac{0.001113 \text{ m}^3/\text{s}}{1.84 * 0.8 \text{ m}} \right)^{\frac{2}{3}} = 0.00831 \text{ m}$

- **Tirante crítico en la descarga sobre vertedero final del filtro.**

$$Yc = \sqrt[3]{\frac{Qf^2}{B^2 * g}}$$

- **YC** = tirante crítico del vertedero.
- **Qf** = caudal de filtración.
- **B** = ancho del vertedero.

- $Yc = \sqrt[3]{\frac{0.001113^2 \text{ m}^3/\text{s}}{0.8^2 \text{ m} * 9.81 \text{ m/s}}}$

- $Yc = 0.0058 \text{ m}$

Velocidad máxima de descarga

$$Vc = \frac{Qf}{Yc * B}$$

En donde:

- **Yc** = tirante crítico.

- **B** = ancho del vertedero.
- **Qf** = caudal de filtración.
- $V_c = \frac{0.001113 \frac{m^3}{s}}{(0.0058 m) * (0.8 m)}$
- $V_c = 0.24 \frac{m}{s}$

Carga sobre el vertedero final del filtro.

$$h = \left(\frac{Qf}{k * B} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$K = \frac{2}{3} \sqrt{2gCd}$; En donde **K** será de 1.92.

Carga sobre el vertedero en operación normal del filtro.

$$h = \left(\frac{Qf}{k * B} \right)^{\frac{2}{3}}$$

- $h = \left(\frac{0.001127 \frac{m^3}{s}}{1.92 * 0.8 m} \right)^{\frac{2}{3}}$
- $h = 0.00807 m$

• **Velocidad aguas arriba del vertedero.**

$$V = \frac{Qf}{hv * B}$$

- $V = \frac{0.001127 \frac{m^3}{s}}{0.0076 m * 0.8 m} = 0.16 m/s$
- $V = 0.17 m/s$

• **Carga sobre el vertedero lavando del filtro.**

$$h = \left(\frac{Qf}{k * B} \right)^{\frac{2}{3}}$$

- $h = \left(\frac{0.002226 \frac{m^3}{s}}{1.92 * 0.8 m} \right)^{\frac{2}{3}}$
- $h = 0.01281 m$

- **Velocidad aguas arriba del vertedero.**

$$V = \frac{Qf}{hv * B}$$

- $V = \frac{0.001127 \frac{m^3}{s}}{0.011 * 0.8 m}$
- $V = 0.22 m/s$

Las velocidades superficiales calculadas para las condiciones de operación normal y de lavado, se encuentran entre los rangos establecidos por la CINARA de 0.15 m/s a 0.30 m/s.

- **Velocidad de arrastre.**

Para evitar que la menor partícula del lecho no sea arrastra por la fuerza de la corriente de agua, la velocidad de arrastre necesaria debe ser mayor que la velocidad critica. Se presenta la forma para determinar dicha velocidad:

$$Va = \frac{0.26 * RH^{\frac{1}{6}} * d^{\frac{1}{2}}}{n}$$

En donde:

- RH = radio hidráulico.
- d = diámetro de la partícula.
- Va = velocidad de arrastre.
- n = coeficiente de rugosidad de Manning.

$$RH = \frac{A}{Pm}$$

- $RH = \frac{B * hv}{2hv + B}$
- $RH = \frac{0.8 * 0.011}{2(0.011) + 1}$
- $RH = 0.01281 m$

El coeficiente de rugosidad de Manning para una estructura de concreto, como la que se tiene proyectado para el filtro es $n = 0.018$, a su vez se utilizara un material filtrante con un diámetro mínimo $d = 0.0032$ m.

Por lo tanto:

- $Va = \frac{0.26 * (0.01281)^{\frac{1}{6}} * (0.0032)^{\frac{1}{2}}}{0.018}$
- $Va = 0.381m/s$
- $Va = 0.381m/s > 0.24m/s$

c) Lecho filtrante y de soporte.

Se adopta una altura del lecho filtrante de 0.6 m, distribuidas en tres capas de 0.20 m, según las especificaciones indicadas en el manual de diseño del cinarra, las características de las capas de grava a usar se muestran a continuación:

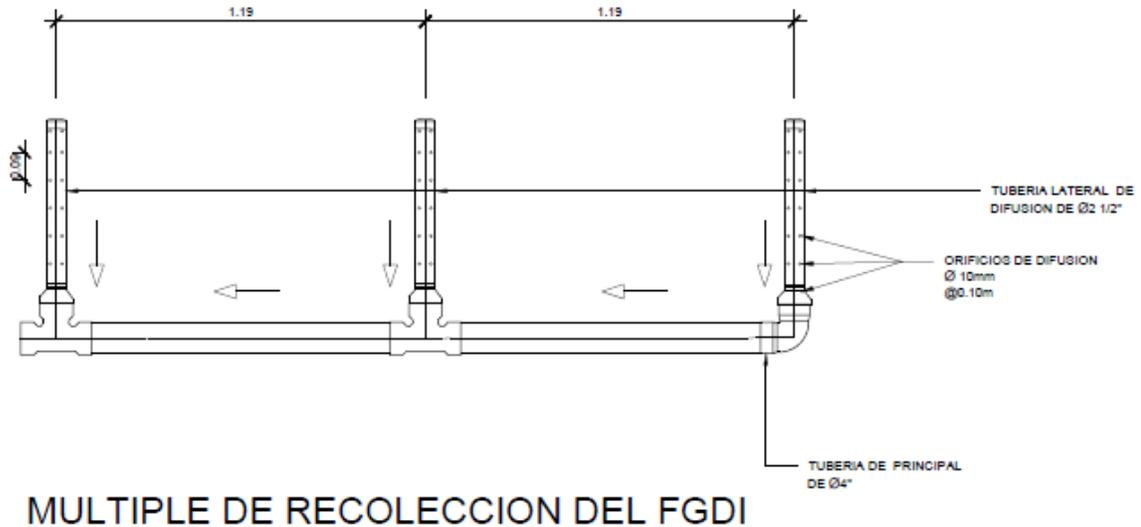
Tabla 31: Distribución del lecho filtrante

Posición en la unidad	Espesor de capa (mm)	Tamaño de grava (mm)
Superior	0.20	3 – 6
Intermedio	0.20	6 – 13
Fondo	0.20	13– 25

Fuente: Autoría propia

Sistema de recolección, drenaje y cámara de lavado:

Figura 19: Esquema múltiple recolección del FGDI



Fuente: Autoría propia

Se ha adoptada una tasa de lavado de (V_{lav}) 15 m/h, por lo tanto, el caudal de lavado será:

$$Q_{lav} = \frac{V_{lav} * A_f}{3600}$$

En donde:

- Q_{lav} = caudal de lavado.
- A_f = área de filtración.
- V_{lav} = velocidad de lavado.

Entonces:

- $Q_{lav} = \frac{(0.15 \text{ m/h}) * (2.50 \text{ m} * 0.80 \text{ m})}{3600 \text{ s}}$
- $Q_{lav} = 0.008347 \text{ m}^3/\text{s}$

Una vez definido el caudal de lavado, se inicia con el procedimiento de cálculo de los componentes hidráulicos del sistema de recolección y drenaje del presente filtro. Dicho sistema estará constituido por una tubería principal, que transportara el agua

filtrada a la siguiente unidad y también de varias tuberías laterales o secundarias que tendrán la tarea de recolectar el agua proveniente del lecho filtrante.

Numero de orificios.

El diámetro de los orificios de las tuberías laterales tendrá que ser menor que el tamaño de la menor partícula del lecho filtrante, entonces se adopta D_o acorde a este requerimiento:

- $D_o = 10 \text{ mm} < 12 \text{ mm}$
- $A_o = \frac{\pi \cdot (0.01 \text{ m})^2}{4}$
- $A_o = 0.00007853 \text{ m}^2$
- $V_o = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (adoptado); se tiene que tomar una velocidad entre 3 m/s a 5 m/s
- $Q_o = (0.00007853) \cdot (3) = 0.0002356 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$.

Entonces el número de orificios se determinará como la relación entre:

$$N = \frac{Q_{lav}}{Q_o}$$

- $N = \frac{0.00834 \frac{\text{M}^3}{\text{s}}}{0.0002356 \frac{\text{M}^3}{\text{s}}}$
- $N = 35.42 = 47$

Se asume un número de orificios de 47, con el objetivo de conseguir una distribución aceptable de los caudales dentro del recolector o tuberías de drenaje. (Véase marco teórico en sección 4.4)

Comprobación según Fair y Gayer:

- $RO = \frac{\sum A_o}{AF} = 0.0015 - 0.005$ (véase tabla 22)
- $\frac{\sum A_o}{AF} = 0.0018$ (Cumple)

Diámetro de tuberías laterales.

Se asumen 3 tuberías laterales con una longitud de 0.67 m, colocados en forma de peine con una separación de 0.83 m de centro a centro de los tubos.

- $N^\circ \text{ Orificio} = \frac{N}{NL}$

- $N^{\circ}Orificio = \frac{47}{3}$
- $N^{\circ}Orificio = 16$

- $AoL = N^{\circ}OL * Ao$
- $AoL = 16 * 0.00007853 m^2$
- $AoL = 0.001256 m^2$

Entonces el diámetro del lateral es:

$$DL = \sqrt{2Ndo}$$

En donde:

- do = diámetro del orificio
- N = número de orificios en el lateral
- DL = diámetro del lateral

Por lo tanto:

- $DL = \sqrt{2(12)(0.01)}$
- $DL = 0.057 m$
- $DL = 0.0635 m$

Se escoge una tubería de 0.0635 (2 1/2") de diámetro nominal y 0.07006 de diámetro exterior. Así que el área del lateral será:

- $AL = \frac{\pi * 0.07006^2}{4}$
- $AL = 0.0039 m^2$
- **Comprobación según Fair y Gayer:**
- $RL = \frac{AL}{Atl} = 0.30 - 0.50$ (véase tabla 22)
- $\frac{AL}{Atl} = \frac{0.001256}{0.0039}$
- $\frac{AL}{Atl} = 0.33$ (Cumple)

Diámetro de tubería principal

$$Dp = \sqrt{2 \frac{N}{N'} dl}$$

En donde:

- D_p = diámetro de la tubería principal.
- N = número de laterales.
- N' = número de unidades.
- DL = diámetro del lateral.

Por lo tanto:

- $D_p = \sqrt{2\frac{3}{2}} (0.0635)$
- $D_p = 0.0980 \text{ m.}$

Se asume una tubería comercial de 0.1016m (4") de diámetro nominal y 0.10965m de diámetro exterior.

Así que el área de la tubería principal será:

- $AP = \frac{\pi \cdot (0.10965 \text{ m})^2}{4}$
- $AP = 0.0094 \text{ m}^2$

Comprobación según Fair y Gayer:

- $RP = \frac{n \cdot AL}{Ap} = 0.3 - 0.5$; en donde n es el número de tuberías en el nodo.
- $\frac{n \cdot AL}{Ap} = \frac{1 \cdot 0.0039 \text{ m}}{0.0094 \text{ m}}$
- $\frac{n \cdot AL}{Ap} = 0.41$ (Cumple)

Perdidas en FGD_i durante la fase de lavado.

- **Perdidas por medio filtrante:**

$$H_{mf} = \frac{0.0608 \cdot v \cdot l_o}{100 \cdot d^2}$$

En donde:

- d = diámetro de la partícula.
- Lo = longitud de la capa filtrante.
- V = velocidad durante el lavado.

Tabla 32: Pérdidas de carga en lecho filtrante

Capas	Longitud (cm)	Grava (mm)	To min	Hmf (m)
Superior	20	3 a 6	0.6	0.014074074
Intermedio	20	13 a 19	1.3	0.002998028
Inferior	20	19 a 25	1.9	0.001403509
Total	60			0.01847561

Fuente: Autoría propia

- Pérdidas por descargar del orificio en el lateral:

$$h_{orif} = \frac{1.5(VO)^{1.5}}{2g}$$

En donde:

- $VO = \frac{CV \cdot Q_{lo}}{A_o}$
- $Q_{lo} = \frac{Q_{lav}}{\#lat \cdot \#orif \text{ lat.}}$

Por lo tanto:

- $VO = \frac{0.62 \cdot \frac{0.00834 \text{ m}^3/\text{s}}{(16 \cdot 3)}}{0.00007853 \text{ m}^2}$
- $VO = 1.37 \text{ m/s}$

Sustituyendo en la ecuación inicial se tiene que la pérdida durante la descarga de los orificios es igual a:

- $h_{orif} = \frac{1.5(1.37 \text{ m/s})^{1.5}}{2(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}$
- $h_{orif} = 0.21 \text{ m.}$

Pérdidas por fricción en la tubería lateral:

- $hL = \frac{1}{3} \cdot \frac{0.0175L}{D} \cdot \frac{VL^2}{2g}$

En donde:

- **L** = longitud de la tubería lateral.
- **VL** = velocidad del fluido dentro de la tubería lateral.

- D = diámetro de la tubería lateral.

Por lo tanto:

- $Vl = \frac{Qlav}{\#lat * AL}$
- $Vl = \frac{0.00834 \text{ m}^3/s}{(3 * 0.0039 \text{ m}^2)}$
- $Vl = 0.72 \text{ m/s}$
- $hL = \frac{1}{3} * \frac{0.0175(0.67 \text{ m})}{0.07006 \text{ m}} * \frac{0.72 \text{ m}^2}{2(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})}$
- $hL = 0.0015 \text{ m}$

Perdidas por descarga del lateral.

- $hL = \frac{1.5V^{1.5}}{2g}$
- $hL = \frac{1.50(.95 \frac{\text{m}}{\text{s}})^{1.5}}{2g}$
- $hL = 0.015 \text{ m}$

Las pérdidas totales en la tubería lateral será la sumatoria de las pérdidas de fricción y de descarga en las mismas:

- $hLt = 0.0015 \text{ m} + 0.015 \text{ m}$
- $hLt = 0.017 \text{ m}$

Perdidas por fricción en la tubería principal:

- $hL = \frac{1}{3} * \frac{0.0175L}{D} * \frac{VL^2}{2g}$

En donde:

- L = longitud de la tubería lateral.
- VL = velocidad del fluido dentro de la tubería lateral.
- D = diámetro de la tubería lateral.

Por lo tanto:

- $Vl = \frac{Qlav}{Ap}$
- $Vl = \frac{0.00834 \text{ m}^3/s}{0.0094 \text{ m}^2}$

- $Vl = 0.88 \text{ m/s}$
- $hL = \frac{1}{3} * \frac{0.0175(2.5 \text{ m})}{0.10965 \text{ m}} * \frac{0.88 \text{ m}^2}{2(9 \frac{81 \text{ m}}{\text{s}^2})}$
- $hL = 0.005 \text{ m}$

Perdidas por accesorios.

$$hf = K \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Tabla 33: Perdidas Por Accesorios

Tipo de accesorio	Cantidad	K	Q (m3/s)	V (m/s)	hacc (m)
Ampliación de 2.5" a 4 "	3	0.39	0.00278	0.72	0.0311
Lat 1: codo de 90°	1	0.9	0.00278	0.72	0.0239
Lat 2: tee de 2.5" a 4" (entrada)	1	0.25	0.00278	0.29	0.0011
Lat 2: tee de 2.5" a 4" (salida)	1	0.05	0.00557	0.59	0.0009
Lat 3: tee de 2.5" a 4" (entrada)	1	0.3	0.00835	0.88	0.0119
Lat 3: tee de 2.5" a 4" (Salida)	1	0.9	0.00835	0.88	0.0358
Valvula de mariposa de 4"	1	0.9	0.0083	0.88	0.0358
Salida de 4"	1	1	0.0083	0.88	0.0398
Total					0.18

Fuente: Autoría propia

- **Tabla resumen de pérdidas.**

Tabla 34: Resumen De Pérdidas De Lavado En El Filtro

Tipo de perdida	Cantidad	unidad
Por Medio filtrante	0.018	m
Por orificio	0.12	m
Por laterales	0.0168	m
Por tubería principal	0.005	m

Por Accesorios	0.18	m
Total	0.344	m

Fuente: Autoría propia

Según Galvis 1999 la diferencia de nivel entre el fondo del filtro y el punto de descarga en la cámara de lavado es igual a las pérdidas durante el lavado, pero esta tiene que ser como mínimo de 1 metro por lo tanto se asume una pérdida de 1 m más un agregado de 0.20 por razones constructivas.

- **Perdidas en Filtro Grueso Dinámico durante la operación normal.**
 - **Perdidas por medio filtrante:**

$$Hmf = \frac{0.0608 * v * lo}{100 * d^2}$$

En donde:

- d = diámetro de la partícula.
- Lo = longitud de la capa filtrante.
- V = velocidad durante el lavado.

Tabla 35: Pérdidas De Carga En Lecho Filtrante operación normal

Capas	Longitud (cm)	Grava (mm)	To min	Hmf
Superior	20	3 a 6	0.6	0.00188
Intermedio	20	13 a 19	1.3	0.00040
Inferior	20	19 a 25	1.9	0.00019
Total	60			0.00246

Fuente: Autoría propia.

Perdidas por descargar del orificio en el lateral:

$$horif = \frac{1.5V0^{1.5}}{2g}$$

En donde:

- $V_o = \frac{CV \cdot Q_{lo}}{A_o}$
- $Q_{lo} = \frac{Q_{lav}}{\#lat \cdot \#orif \text{ lat.}}$

Por lo tanto:

- $V_o = \frac{0.08 \cdot \frac{0.0011130 \text{ m}^3/\text{s}}{(16 \cdot 3)}}{0.00007853 \text{ m}^2}$
- $V_o = 0.30 \text{ m/s}$

Sustituyendo la velocidad en la ecuación inicial se tiene que la pérdida durante la descarga de los orificios es igual a:

- $h_{orif} = \frac{1.5(0.30 \text{ m/s})^{1.5}}{2(9 \frac{81 \text{ m}}{\text{s}^2})}$
- $h_{orif} = 0.01226 \text{ m}$

Pérdidas por fricción en la tubería lateral:

$$hL = \frac{1}{3} * \frac{0.0175L}{D} * \frac{VL^2}{2g}$$

En donde:

- **L** = longitud de la tubería lateral.
- **VL** = velocidad del fluido dentro de la tubería lateral.
- **D** = diámetro de la tubería lateral.

Por lo tanto:

- $VL = \frac{Q_{lav}}{\#lat \cdot AL}$
- $VL = \frac{0.0011130 \text{ m}^3/\text{s}}{(3 \cdot 0.0039 \text{ m}^2)}$
- $VL = 0.10 \text{ m/s}$
- $hL = \frac{1}{3} * \frac{0.0175(0.67 \text{ m})}{0.07006 \text{ m}} * \frac{0.10 \text{ m}^2}{2(9 \frac{81 \text{ m}}{\text{s}^2})}$
- $hL = 0.00002645$

Perdidas por descarga del lateral.

- $hL = \frac{1.5V^{1.5}}{2g}$
- $hL = \frac{1.50(0.10\frac{m}{s})^{1.5}}{2g}$
- $hL = 0.001 m$

Las pérdidas totales en la tubería lateral será la sumatoria de las pérdidas de fricción y de descarga en las mismas:

- $hLt = 0.00002645 m + 0.001 m$
- $hLt = 0.0007345 m$

Perdidas por fricción en la tubería principal:

$$hL = \frac{1}{3} * \frac{0.0175L}{D} * \frac{VL^2}{2g}$$

En donde:

- **L** = longitud de la tubería lateral.
- **VL** = velocidad del fluido dentro de la tubería lateral.
- **D** = diámetro de la tubería lateral.

Por lo tanto:

- $Vl = \frac{Qlav}{Ap}$
- $Vl = \frac{0.001113 m^3/s}{0.0094m^2}$
- $Vl = 0.12 m/s$
- $hL = \frac{1}{3} * \frac{0.0175(2.5 m)}{0.10965 m} * \frac{0.12 m^2}{2(9.\frac{81m}{s^2})}$
- $hL = 0.005 m$

d) Perdidas por accesorios.

$$hf = K \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Tabla 36: Pérdidas Por Accesorios en operación normal

Tipo de accesorio	Cantidad	K	Q (m3/s)	V (m/s)	hacc (m)
Ampliación de 2" a 6 "	3	0.39	0.0004	0.00	0.0000006
Lat 1 codo de 90°	1	0.9	0.0004	0.04	0.0000708
Lat 2: tee de 2" a 6" (entrada)	1	0.25	0.0004	0.04	0.0000
Lat 2: tee de 2" a 6" (salida)	1	0.05	0.0007	0.08	0.0000
Lat 3: tee de 2" a 6" (entrada)	1	0.3	0.0007	0.08	0.0001
Lat 3: tee de 2" a 6" (Salida)	1	0.9	0.0011	0.12	0.0006
válvula de mariposa de 6"	1	0.9	0.0011	0.12	0.0006
Salida de 4"	1	1	0.0011	0.12	0.0007
Total					0.0021838

Fuente: Autoría propia.

e) Pérdidas durante la conducción.

Para determinar las pérdidas en la tubería de conducción al FGDI, se utilizará la fórmula de Hazen-Williams

- $h_p = 10.67 \times \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} \times \left(\frac{L}{Q^{4.87}}\right)$
- $h_p = 10.67 \times \left(\frac{0.00226 \text{ m}^3/\text{s}}{140}\right)^{1.852} \times \left(\frac{15.07 \text{ m}}{0.0635 \text{ m}^{4.87}}\right)$
- $h_p = 0.1411 \text{ m}.$

• Tabla resumen de pérdidas.

Tabla 37: Resumen De Pérdidas De Lavado En El Filtro En Operación Normal

Resumen de pérdidas de lavado en el filtro		
Tipo de perdida	Cantidad	unidad
Por Medio filtrante	0.00246	m
Por orificio	0.01226	m
Por laterales	0.0007	m
Por tubería principal	0.00009	m

Por Accesorios	0.002184	m
por conducción	0.14117	m
Total	0.159	m

Fuente: Autoría propia.

Se asume una pérdida mínima de 0.20 m, este será la diferencia entre el nivel de agua del filtro y la cámara de entrada del FGAC.

Perfil hidráulico del filtro grueso dinámico

Tabla 38: Perfil Hidráulica Filtro Grueso Dinámico

(véase anexo 2 – plano 02/06)

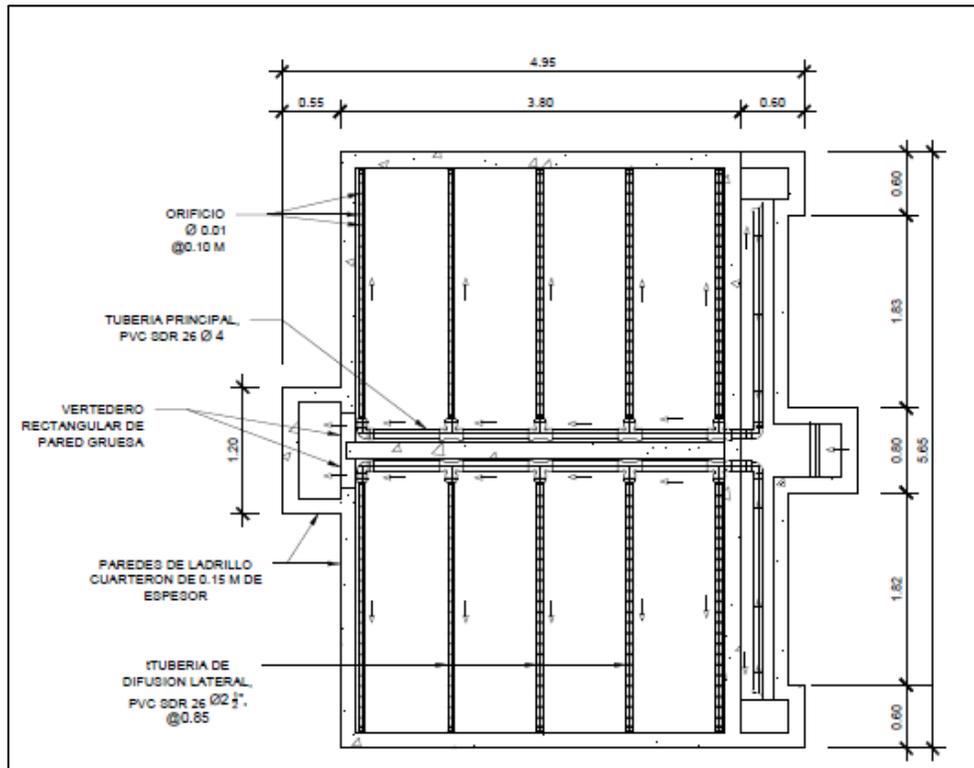
Losa de fondo	1031.13 m
Corona tubería de recolección principal	1031.24 m
Primera capa de grava	1031.33 m
Segunda capa de grava	1031.53 m
Tercera capa de grava	1031.53 m
Vertedero de excesos	1031.78 m
Borde libre	1031.93 m
Vertedero de entrada de aguas crudas	1031.87 m
Nivel de agua en canal de ingreso de aguas crudas	1031.87 m
Fondo del canal de ingreso a las unidades de filtración	1031.72 m
Vértice del vertedero de entrada	1031.96 m
Tirante de agua en el vertedero	1032.03 m
Borde de la cámara de entrada	1032.32 m
Fondo de la cámara de entrada	1031.72 m

Fuente: Autoría propia

6.1.8 Filtro Grueso Ascendente En Capas (FGAC)

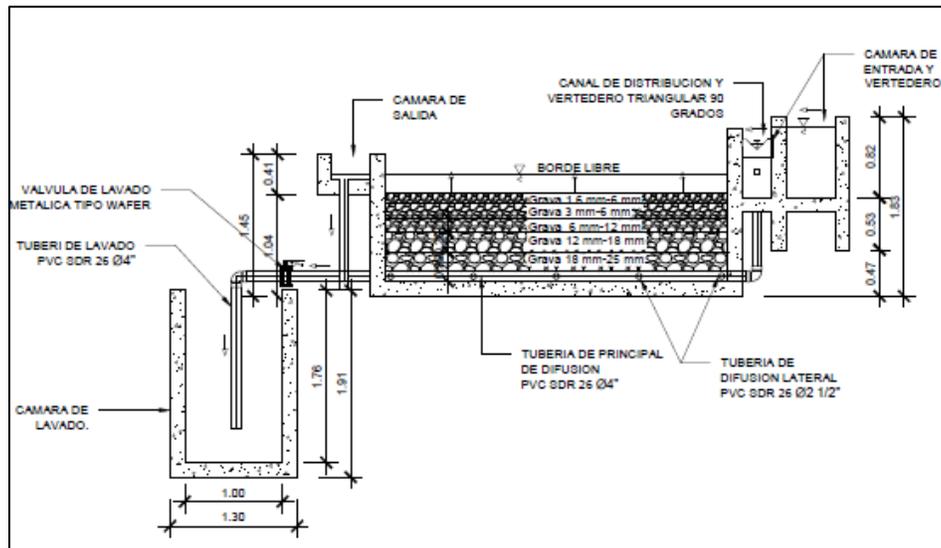
Es la etapa de tratamiento que sigue del filtro grueso dinámico, un filtro grueso ascendente generalmente está compuesto de:

Figura 20: Esquema de cálculo en planta del FGAC



Fuente: Autoría propia

Figura 21: Esquema de cálculo del FGAC



Fuente: Autoría propia.

- Cámaras de filtración.
- Lecho filtrante.
- Estructuras de entrada y salida.
- Sistema de drenaje y cámara de lavado.
- Accesorios de regulación y control.

a) Dimensionamiento de la cámara de filtración

Datos:

- $Q_{diseño} = 8.014 \frac{m^3}{hr}$
- $V_f = 0.45 \frac{m}{hr}$
- $V_L = 4 \frac{m}{hr}$

Los parámetros de diseños seleccionados son tomados de los recomendados por el CINARA, véase tabla N°15.

Encontrando:

- **Numero de filtros:**
- $N = 2 \text{ unidades}$

- **Área total de filtros:**

- $A_T = \frac{Q_{diseño}}{V_f}$

- $A_T = \frac{8.014 \text{ m}^3/\text{hr}}{0.45 \text{ m}/\text{hr} \cdot (1)}$

- $A_T = 17.80 \text{ m}^2$

- **Área de cada unidad de filtro:**

- $A_f = \frac{A_T}{N}$

- $A_f = \frac{17.80 \text{ m}^2}{2}$

- $A_f = 8.90 \text{ m}^2$

- **Caudal de cada unidad de filtro:**

- $Q_f = \frac{Q_{diseño}}{N}$

- $Q_f = \frac{8.014 \text{ m}^3/\text{hr}}{2}$

- $Q_f = 4.01 \text{ m}^3/\text{hr}$

- **Coefficiente mínimo de costo**

- $K = \frac{(2 \cdot N)}{(N+1)}$

- $K = \frac{(2 \cdot 2)}{(2+1)}$

- $K = 1.33$

- **Longitud de unidad:**

- $L = (A_f \cdot k)^{1/2}$

- $L = (8.90 \text{ m}^2 \cdot 1.33)^{1/2}$

- $L = 3.44 \text{ m}$

- **Ancho de unidad:**

- $A_{und} = \frac{A_f}{Long}$

- $A_{und} = \frac{8.90 \text{ m}^2}{3.44 \text{ m}}$

- $A_{und} = 2.58 \text{ m}$

Se adoptado por motivos constructivos base: 2.6 m, y longitud: 3.5 m

b) Lecho filtrante y de soporte

Se adopta una altura de lecho filtrante de 1.2 m distribuidos en cinco capas de grava con las especificaciones indicadas en el Cuadro.

Tabla 39: Grava Con Las Especificaciones

Capas	Granulometría (pulg)	L (cm)	Grava (mm)
1(superior)	3/4 – 1	10	1.6-3
2	1/2 - 3/4	15	3-6
3	1/4 - 1/2	15	6-12
4	1/8 - 1/4	20	12-18
Lecho de soporte	1/16 - 1/8	30	18-25
TOTAL		90	

Fuente: Autoría propia

Nota: Manual del OPS recomienda el valor de 1.2 m el cual es la suma de espesor de cada capa de grava. *Página 17*; Características de las capas de grava del lecho para filtros gruesos, véase tabla N°13.

c) Dimensionamiento en la cámara de entrada

Se asume una cámara de entrada de 0.50m x 0.50m x 0.80m, se proyecta la salida de cámara de entrada a un vertedero de aforo triangular de 90 grados; calculando con la siguiente carga $Q_d=8.014 \text{ m}^3/\text{hr}$

K: constante en forma o coeficiente de descarga.

- $Q = (k * h^{5/2})$
- $k = \left(\frac{8 * c_d * 2g^{1/2} * \tan \frac{\theta}{2}}{15} \right)$

Dónde:

- **Cd:** coeficiente de pérdida y contracciones

- **Teta:** Ángulo del vertedero
- **Q:** caudal a través del vertedero
- **H:** carga sobre el vertedero

Tabla 40: Coeficiente de pérdidas y contracciones para vertederos

Ángulo	CD	
	Mínimo	Máximo
15	0.52	0.75
30	0.59	0.72
45	0.59	0.69
60	0.5	0.54
90	0.5	0.6

Fuente: Hidráulica general/Sotelo Ávila/1997

- $$k = \left(\frac{(8) * (0.60) * (2 * 9.81 \text{ m/seg}^2)^{1/2} * \tan \frac{90^\circ}{2}}{15} \right)$$
- $k = 1.417$

Vertedero triangular en la cámara de entrada

Se proyecta un canal de distribución de 2.60 m de largo y 0.30 m de ancho, seguido de un vertedero de 90° para aforo de caudal de entrada a cada módulo.

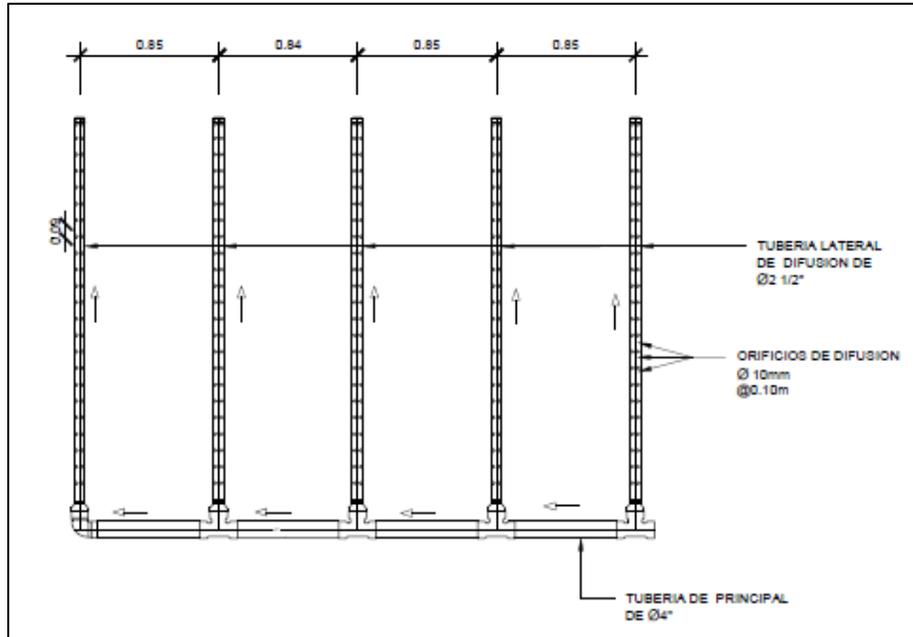
K: constante en forma o coeficiente de descarga.

Carga sobre el vertedero

- Caudal (m³/seg): 4.01
- H (cm): 5.772
- Vf (m/s): 0.450
- $H = \left(\frac{Q_f}{k} \right)^{2/5}$
- $Q_f = 4.01 * \left(\frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ seg}} \right) = 0.00111 \text{ m}^3/\text{seg}$
- $H = \left(\frac{0.00111 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}}{1.147} \right)^{2/5} = 0.0573 \text{ m} = 5.73 \text{ cm}$

d) Sistema de recolección, drenaje y cámaras de lavado.

Figura 22: Esquema de distribución de múltiples de difusión FGAC



Fuente: Autoría propia.

Se adopta una tasa de lavado (V_{lav}): 4 m/hr su caudal será de:

- $Q_{lavado} = \left(\frac{V_{lav} * A_f}{3600 \text{ seg}} \right)$
- $Q_{lavado} = \left(\frac{4 \frac{m}{hr} * 8.92 \text{ m}^2}{3600 \text{ seg}} \right)$
- $Q_{lavado} = 0.009911 \text{ m}^3 / \text{seg}$

Numero de orificios por filtro:

Datos:

- Numero de laterales: 5 unidades
- Diámetro del orificio: ½ "o 1.27 cm (según el diámetro menor en la capa de soporte del FGA)

Encontrando:

Área de cada orificio

- $A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$
- $A = \frac{\pi \cdot (0.0127\text{m})^2}{4}$
- $A = 0.000127 \text{ m}^2$

Caudal por lateral (q)

- $q = \frac{Q_{lav}}{N^{\circ} \text{ de laterales}}$
- $q = \frac{0.009911 \text{ m}^3/\text{seg}}{5 \text{ unidades}}$
- $q = 0.00198 \text{ m}^3/\text{seg}$

Asumiendo una relación Ro: 0.0015 donde:

- $Ro = \frac{(n) \cdot (Ao)}{Af}$

Despejando:

- $n = \frac{(Ro) \cdot (Af)}{Ao}$
- $n = \frac{(0.0015) \cdot (8.92 \text{ m}^2)}{0.000127 \text{ m}^2} = 105.35 \cong 106$

Numero de orificios por lateral:

- $N^{\circ} \text{ orifi por lat} = \frac{106}{5 \text{ unidades}} = 21.2 \approx 22$

Se proyecta 22 orificios por lateral, ubicados en dos hileras de 11 orificios cada una formando un ángulo de 45° con la horizontal. La separación entre los orificios será de 0.20 m entre ejes de orificios.

Comprobación

- $RO = \frac{N^{\circ} \text{ orifi por lat} \cdot \text{area orificio}}{\text{area total del lecho}} (0.00150-0.005)$
- $RO = \frac{(18)(6)(0.000127 \text{ m}^2)}{(2.6)(3.5)}$
- $RO = 0.00150$

Diámetro de tuberías laterales

- $dL = \sqrt{(N^{\circ} \text{ de oroficio})(d_o^2)}$
- $dL = \sqrt{(5 \text{ unid})(0.00127m)^2}$
- $dL = 0.0595m = 2.35 \text{ pulg}$

Se asume una tubería comercial con diámetro nominal 2.5 pulg (0.0635 m) y diámetro interior de 0.07006 m. Por lo tanto, el área del tubo es la siguiente:

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * (0.07006 \text{ m})^2}{4} = 0.0039 \text{ m}^2$$

Comprobación

- $RL = \frac{N^{\circ} \text{ orifi de 1 lat} * \text{area orificio}}{\text{area tubería lateral}} = (0.4 - 1)$
- $RL = \frac{(22)(0.000127 \text{ m}^2)}{(0.0039 \text{ m})}$
- $RL = 0.71$ **Cumple**

Diámetro de la tubería principal

- $Dp = \sqrt{\frac{n^{\circ} \text{ laterales}}{n^{\circ} \text{ filtros}}} * \text{diametro lateral calculado}$
- $Dp = \sqrt{\frac{5}{2}} * 0.0635 \text{ m}$
- $Dp = 0.1004 \text{ m} \approx 3.95 \text{ pulg} \equiv 4 \text{ pulg} = 101.6 \text{ mm}$

Se escoge una tubería comercial con diámetro nominal de 4 pulg (0.1016) y diámetro interior de 0.10965 m.

Por lo tanto, el área es la siguiente:

- $Ap = \frac{\pi * d^2}{4}$
- $Ap = \frac{\pi * (0.10965 \text{ m})^2}{4}$
- $Ap = 0.00944 \text{ m}^2$

La RASS 2000 recomienda que la velocidad en la tubería de drenaje debe ser inferior a 0.5 m/s, entonces la velocidad es igual:

- $Vp = \frac{q}{Ap}$
- $Vp = \frac{0.00198 \text{ m}^3/\text{seg}}{0.00944 \text{ m}^2}$
- $Vp = 0.2097 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$

Comprobación

- $Rp = \frac{\Sigma \text{area lateral}}{\text{Area latera de la principal}} (\text{rangos } 0.4 - 1)$
- $Ro = \frac{0.0039}{0.00944}$
- $Rp = 0.41$ cumple.

Perdidas de carga en el lavado

Las pérdidas que se muestran a continuación siguen el mismo procedimiento de cálculo que se presentó para la anterior unidad de tratamiento, por lo tanto, se mostrara únicamente los resultados obtenidos.

- $VL = 4 \frac{\text{m}}{\text{hr}} * \left(\frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \right) * \left(\frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ seg}} \right)$
- $VL = 0.111 \frac{\text{cm}}{\text{seg}}$
- **Perdida de carga del lecho filtrante sucio:**
- $h_{mf \text{ superior}} = \left(\frac{0.0608 * VL * Lo}{100 * d_o^2} \right)$

Tabla 41: Perdidas de carga en el lecho filtrante bajo la condición de lavado en el filtro grueso ascendente en capas en la nueva planta.

Capas	L (cm)	Grava	To min	hmf Lav (m)
1(superior)	10	1.6-3	0.16	0.02639
2	15	3-6	0.3	0.01126
3	15	6-12	0.6	0.00281
4	20	12-18	1.2	0.00094
Soporte	30	18-25	1.8	0.00063
Total	90			0.04203

Fuente: Autoría propia

Se considera una pérdida máxima en el lecho sucio de 0.04203 m.

Perdidas por descarga de los orificios en el lateral

- $V = 0.6113 \text{ m/seg}$
- $hp \text{ orificio} = \frac{(1.5)(V^2)}{(2 * g)} = 0.0286 \text{ m}$

Perdida en la tubería lateral.

- $Vl = \frac{(Qlav)}{(n^{\circ} \text{ late})(ATl)} = 0.513 \text{ m/seg}$
- $hp \text{ lateral} = \frac{1}{3} * \frac{(0.0175)(L)}{(D)} * \frac{(Vl^2)}{(2 * g)}$
- $hp \text{ lateral} = \frac{1}{3} * \frac{(0.0175)(2.498 \text{ m})}{(0.07006 \text{ m})} * \frac{(0.513 \frac{\text{m}}{\text{seg}})^2}{(2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2})}$
- $hp \text{ lateral} = 0.0028 \text{ m}$.

Perdida por descargas de los laterales en el principal.

- $VL = (0.936) \left(0.513 \frac{\text{m}}{\text{seg}}\right) = 0.4804 \text{ m/seg}$
- $hp \text{ lateral} = \frac{(1.5)(V^2)}{(2 * g)}$
- $hp \text{ lateral} = \frac{(1.5)(0.4804 \frac{\text{m}}{\text{seg}})^2}{(2)(9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2})}$
- $hp \text{ lateral} = 0.01765 \text{ m}$

Pérdida total lateral:

- $hp \text{ total lateral} = 0.002793 \text{ m} + 0.001765 \text{ m}$
- $hp \text{ total lateral} = 0.00204$

Pérdida de carga en la tubería principal.

- $Vlp = \frac{(Qlav)}{(Ap)} = \frac{0.009911 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}}{(0.00944 \text{ m}^2)} = 1.049 \text{ m/seg}$
- $hp = \frac{1}{3} * \frac{(0.0175)(L)}{(D)} * \frac{(VL)^2}{(2 * g)}$
- $hp = \frac{1}{3} * \frac{(0.0175)(3.50 \text{ m})}{(0.10965 \text{ m})} * \frac{(1.049 \frac{\text{m}}{\text{seg}})^2}{(2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2})}$
- $hp = 0.010 \text{ m}$.

e) Perdidas por accesorios

Tabla 42: Perdidas por accesorios Filtro Grueso Ascendente en capas

Tipo de accesorios	Cant	k	Q (m/s³)	q=Q	V (m/s)	Hacc (m)
Ampliación	5	0.39	0.00198	1/5Qlav	0.20954	0.00436
Lat 1 codo 90	1	0.9	0.00198	1/5Qlav	0.20954	0.00201
Lat 2 tee entrada	1	0.31	0.00198	1/5Qlav	0.20954	0.00069
Lat 2 tee salida	1	0.15	0.0040	2/5 Qlav	0.41908	0.00134
Lat 3 tee entrada	1	0.31	0.0040	2/5 Qlav	0.41908	0.00277
Lat 3 tee salida	1	0.45	0.0059	3/5 Qlav	0.62862	0.00906
Lat 4 tee entrada	1	0.46	0.0059	3/5 Qlav	0.62862	0.00926
Lat 4 tee salida	1	0.69	0.0079	4/5 Qlav	0.83817	0.02471
Lat 5 tee entrada	1	0.3	0.0079	4/5 Qlav	0.83817	0.01074
Lat 5 tee salida	1	0.9	0.0099	1 Qlav	1.04771	0.05035
Válvula de 4 pulg	1	0.9	0.0099	1 Qlav	1.04771	0.05035
Descarga	1	1	0.0099	1 Qlav	1.04771	0.05595
					Sumatoria	0.22162

Fuente: Autoría propia.

Tabla 43: Resumen de pérdidas del FGAC

Resumen de pérdidas en el lavado del filtro	
Por medio filtrante	0.0420
Por orificio	0.0286
Por tubería lateral	0.0028
Por tubería principal	0.0204
Accesorios	0.2216
Total	0.3154

Fuente: Autoría propia.

- **Perdidas en la unidad durante la operación normal.**

Para evitar que el agua se represe en los filtros gruesos dinámicos, se realiza un chequeo de las pérdidas en el filtro.

Velocidad de filtración en condiciones de operación normal

- $V_f = 0.45 \text{ m/h}$
- $Q_l \text{ por filtro} = V_f * \frac{\text{area}_{\text{unidad}}}{3600}$
- $Q_l \text{ por filtro} = 0.45 \text{ m/h} * \frac{8.92 \text{ m}^2}{3600} = 0.001115 \text{ m}^3/\text{seg}$

- **Perdidas en el lecho filtrante limpio**

Tabla 44: Perdidas de carga en el lecho filtrante en operación normal del filtro grueso ascendente en capas en la nueva planta.

Capas	L (cm)	Grava	To min	hmf Lav (m)
1(superior)	10	1.6-3	0.16	0.002969
2	15	3-6	0.3	0.001267
3	15	6-12	0.6	0.000317
4	20	12-18	1.2	0.000106
Soporte	30	18-25	1.8	0.000070
Total	90			0.004728

Fuente: Autoría propia.

Se considera una pérdida máxima en el lecho de 0.004728 m.

Perdida por descarga de los orificios en el lateral.

- $Ql\ orif = \frac{(Qlav)}{(Ap)*(n^{\circ}\ orf\ x\ lat)}$
- $Ql\ orif = \frac{0.00115 \frac{m^3}{seg}}{(5*22)} = 1.010 \times 10^{-5} m^3/seg$
- $V\ ori. = \frac{0.861*(Qlav)}{(Ap)}$
- $V\ ori. = \frac{0.861*1.010 \times 10^{-5} m^3/seg}{(0.000127 m^2)} = 0.0687 m/s$
- $hp\ orificio = \frac{(1.5)(V^2)}{(2*g)}$
- $hp\ orificio = \frac{(1.5)\left(0.0687 \frac{m}{seg}\right)^2}{(2)\left(9.81 \frac{m}{seg^2}\right)} = 0.00037 m$

Perdidas en la tubería lateral

- $Vl = \frac{(Qfiltr)}{(N^{\circ}\ lateral*Alateral)}$
- $Vl = \frac{0.0001115 m^3/seg}{(5)*0.0039 m^2} = 0.0577 m/s$
- $hp\ orificio = \frac{1}{3} * \frac{(0.0175)(L)}{(D)} * \frac{(Vl)^2}{(2*g)}$
- $hp\ orificio = \frac{1}{3} * \frac{(0.0175)(2.498 m)}{(0.0701 m)} * \frac{\left(0.0577 \frac{m}{seg}\right)^2}{\left(2*9.81 \frac{m}{seg^2}\right)} = 0.000035 m$

Perdidas por descarga de la tubería lateral

- $VL = 0.936 * Vl$
- $VL = (0.936)\left(0.0577 \frac{m}{seg}\right) = 0.0540 m/seg$
- $hp\ lateral = \frac{(1.5)(V^2)}{(2*g)}$

- $h_p \text{ lateral} = \frac{(1.5)\left(0.0540\frac{m}{seg}\right)^2}{(2)(9.81\frac{m}{seg^2})} = 0.00022 \text{ m}$

Perdidas por carga en la tubería principal

- $V_p = \frac{(Q_{filtr})}{(A_p)}$

- $V_p = \frac{0.0001115 \text{ m}^3/seg}{(0.00944 \text{ m}^2)} = 0.118 \text{ m/s}$

- $h_p \text{ orificio} = \frac{1}{3} * \frac{(0.0175)(L)}{(D)} * \frac{(VL)^2}{(2*g)}$

- $h_p \text{ orificio} = \frac{1}{3} * \frac{(0.0175)(3.5 \text{ m})}{(0.10964 \text{ m})} * \frac{\left(0.118\frac{m}{seg}\right)^2}{\left(2*\frac{9.81m}{seg^2}\right)} = 0.00001318 \text{ m}$

Perdidas por accesorios

Tabla 45: Perdidas por accesorios en operación normal

Tipo de accesorios	Cant	k	Q (m/s^3)	q=Q	V (m/s)	Hacc (m)
Ampliación	5	0.39	0.0002226	1/5QLAV	0.02357	0.00006
Lat 1 Codo 90	1	0.9	0.0002226	1/5QLAV	0.02357	0.00003
Lat 2 Tee Entrada	1	0.31	0.000223	1/5QLAV	0.02357	0.00001
Lat 2 Tee Salida	1	0.15	0.000445	2/5 QLAV	0.04715	0.00002
Lat 3 Tee Entrada	1	0.31	0.000445	2/5 QLAV	0.04715	0.00004
Lat 3 Tee Salida	1	0.45	0.000668	3/5 QLAV	0.07072	0.00011
Lat 4 Tee Entrada	1	0.46	0.000668	3/5 QLAV	0.07072	0.00012
Lat 4 Tee Salida	1	0.69	0.000890	4/5 QLAV	0.09429	0.00031

Lat 5 Tee Entrada	1	0.3	0.000890	4/5 QLAV	0.09429	0.00014
Lat 5 Tee Salida	1	0.9	0.001113	1 QLAV	0.11787	0.00064
Valvula De 4 Pulg	1	0.9	0.001113	1 QLAV	0.11787	0.00064
Descarga	1	1	0.001113	1 QLAV	0.11787	0.00071
					Sumatoria	0.00280

Fuente: Autoría propia.

- **Pérdidas durante la conducción.**

Para determinar las perdidas en la tubería de conducción al FGAC, se utilizará la fórmula de Hazen-Williams

- $hp = 10.67 * \left(\frac{Q}{c}\right)^{1.852} * \left(\frac{L}{Q^{4.87}}\right)$
- $hp = 10.67 * \left(\frac{0.00226\frac{m^3}{s}}{140}\right)^{1.852} * \left(\frac{6.2 m}{0.0635m^{4.87}}\right)$
- $hp = 0.0597 m$

Tabla 46: Tabla Resumen en Operación normal.

Resumen de pérdidas en el lavado del filtro	
Por medio filtrante	0.004728
Por orificio	0.000362
Por tubería lateral	0.000035
Por tubería principal	0.000259
Accesorios	0.002805
Por conducción.	0.05973485
Total	0.067923

Fuente: Autoría propia.

Perfil Hidráulico del Filtro Grueso Ascendente en Capas

Tabla 47.: Perfil Hidráulico del Filtro Grueso Ascendente en Capas.

(véase anexo 2-plano 02/06).

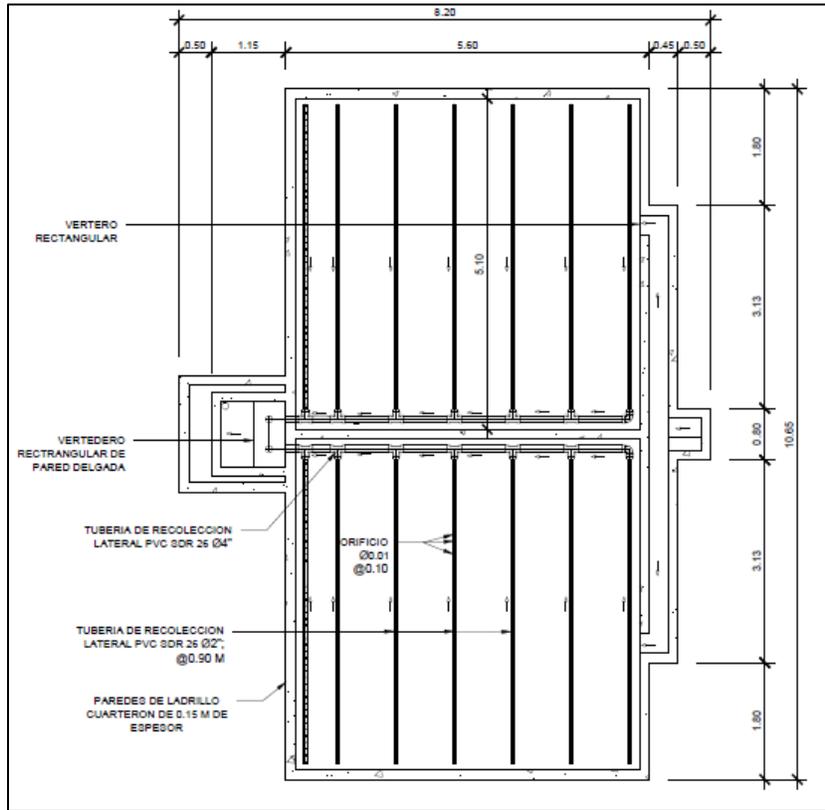
Vertedero triangular de entrada al FGAC	1031.58 m
Borde de la cámara de entrada	1031.67 m
Fondo del canal de distribución	1031.25 m
Vértice del vertedero de entrada a cámara de filtración	1031.35 m
Tirante de agua sobre el vértice del vertedero	1031.34 m
Vertedero rectangular de salida	1031.09 m
Fondo de canal de agua filtradas	1030.58 m
Losa de fondo de filtro	1029.99 m
Corona del dren principal	1030.09 m
Lecho de soporte	1030.30 m
Primera capa de grava	1030.50 m
Segunda capa de grava	1030.64 m
Tercera capa de grava	1030.79 m
Cuarta capa de grava	1030.89 m
Capa sobrenadante	1031.09 m
Tirante de agua sobre el vertedero salida	1031.09 m

Fuente: Autoría propia.

6.1.9 Filtros Lentos De Arena (FLA)

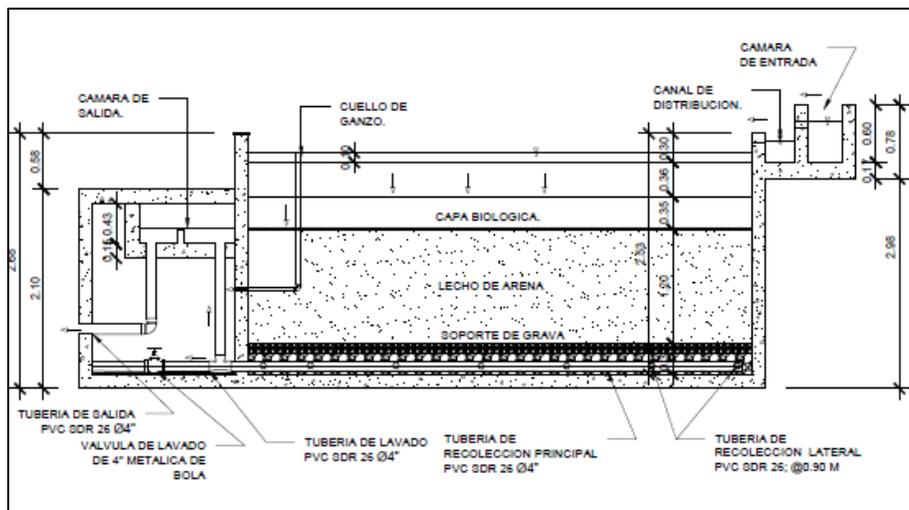
El filtro lento consiste en un tanque de sección rectangular, con un lecho de arena fina colocado sobre 3 capas grava de soporte de distinto tamaño, las cuales, aíslan el sistema de drenaje de tuberías perforadas.

Figura 23: Esquema de cálculo del FLA



Fuente: Autoría propia

Figura 24: Esquema de cálculo del FL



Fuente: Autoría propia

1. Estructura de entrada

a. Cámara de Entrada de aguas crudas

- Dimensiones Propuestas:
- a: 0.5m
- b: 0.5m
- h: 0.6m

b. Vertedero de rebose

El vertedero de rebose es un medio para prevenir que el agua rebalse el canal y desborde dentro del tanque de filtración afectando el medio filtrante. Se ubicará un vertedero rectangular a la misma altura que el nivel máximo de agua dentro del canal (ver Niveles Hidráulicos) y con las mismas características que el vertedero rectangular a la entrada del FLA.

c. Carga Hidráulica en vertedero de entrada.

Vertedero triangular con $\theta = 90^\circ$ por tanto $K = 1.4$

Con caudal máximo (1 unidad operando)

- $$H = \left(\frac{Q_{dis}}{K}\right)^{2/5} = \left(\frac{0.0022 \text{ m}^3/s}{1.4}\right)^{2/5} = 0.0759 \text{ m}$$

Con caudal mínimo (2 unidades operando)

- $$H = \left(\frac{Q_f}{K}\right)^{2/5}$$
- $$H = \left(\frac{0.0011 \text{ m}^3/s}{1.4}\right)^{2/5} = 0.0576 \text{ m}$$

d. Caudal unitario

Asumir $B = 0.3\text{m}$

- $$q = \frac{Q_{dis}}{B}$$

- $q = \frac{0.0022 \text{ m}^3/\text{s}}{0.3 \text{ m}} = 0.0074 \text{ m}^2/\text{s}$

e. Tirante Crítico

- $y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$

- $y_c = \sqrt[3]{\frac{(0.0074 \text{ m}^2/\text{s})^2}{9.81 \text{ m}/\text{s}^2}} = 0.018 \text{ m}$

Se adoptará un tirante $y = 0.2 \text{ m}$

f. Área de canal

- $A = B * y = 0.3 \text{ m} * 0.2 \text{ m} = 0.06 \text{ m}^2$

g. Velocidad en el canal

- $V_c = \frac{Q_{dis}}{A}$

- $V_c = \frac{0.0022 \text{ m}^3/\text{s}}{0.009 \text{ m}^2} = 0.037 \text{ m}/\text{s}$

h. Carga hidráulica sobre vertedero a la entrada de cada FLA

Vertedero de sección rectangular de pared delgada. Ya que la velocidad del flujo sobre el canal es menor a 0.50 m/s la velocidad de llegada del agua al vertedero es despreciable por lo tanto la fórmula es la siguiente:

Con caudal máximo

- $H = \left(\frac{Q_{dis}}{K*L}\right)^{\left(\frac{2}{3}\right)} = \left(\frac{0.0022 \text{ m}^3/\text{s}}{1.838*0.3\text{m}}\right)^{\left(\frac{2}{3}\right)} = 0.026 \text{ m}$

- $H = \left(\frac{Q_{dis}}{K*L}\right)^{\left(\frac{2}{3}\right)} = \left(\frac{0.0022 \text{ m}^3/\text{s}}{1.838*0.3\text{m}}\right)^{\left(\frac{2}{3}\right)} = 0.026 \text{ m}$

Con caudal mínimo

- $H = \left(\frac{Q_f}{K*L}\right)^{\left(\frac{2}{3}\right)}$

- $H = \left(\frac{0.0011 \text{ m}^3/\text{s}}{1.838 \cdot 0.3 \text{ m}} \right)^{\left(\frac{2}{3}\right)} = 0.016 \text{ m}$

2. Cámara de filtración

Para diseñar la cámara de filtración se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

Caudal de diseño: $Q_{dis} = 2.2258 \text{ l/s} = 0.0022 \text{ m}^3/\text{s} = 8.0129 \text{ m}^3/\text{h}$

Velocidad de filtración: $0.1 \leq V_f \leq 0.2 \text{ m/h}$ (cinara: “*Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas*”)

a. Área de filtración requerida para la condición de caudal máximo

- $A_f = \frac{Q_{dis}}{V_f}$ (Asumir V_f en 0.2 m/h)

- $A_f = \frac{8.0129 \text{ m}^3/\text{h}}{0.2 \text{ m/h}} = 40.06 \text{ m}^2$

b. Número de unidades en paralelo

- $n = 0.5 * \sqrt[3]{A_f}$

- $n = 0.5 * \sqrt[3]{40.06 \text{ m}^2} = 1.71$

Según la norma técnica obligatoria nicaragüense: “*Normas técnicas para el diseño de sistemas de abastecimiento y potabilización del agua NTON, 09 003-99*”, el número mínimo de unidades en paralelo es de 2 unidades, por tanto $n = 2$.

c. Área de cada unidad de filtración (primer tanteo)

- $A_s = \frac{A_f}{n}$

- $A_s = \frac{40.06 \text{ m}^2}{2} = 20.03 \text{ m}^2$

d. Caudal en cada unidad de filtración

- $Q_s = \frac{Q_{dis}}{N}$

- $Q_s = \frac{0.0022 \text{ m}^3/\text{s}}{2} \approx 0.0011 \text{ m}^3/\text{s} \approx 4.0065 \text{ m}^3/\text{h}$

e. Coeficiente mínimo de costo

- $K = \frac{(2*n)}{(n+1)}$
- $K = \frac{(2*2)}{(2+1)} = 1.33$

f. Longitud de la unidad de filtración

- $L = (A_s * K)^{1/2}$
- $L = (20.03 \text{ m}^2 * 1.33)^{1/2} = 5.1$. Usar $L = 5.30 \text{ m}$

g. Ancho de la unidad de filtración

- $L/B = 1.33$ (NTON 09 003 – 99)
- $B = \frac{5.30 \text{ m}}{1.33} = 3.98 \text{ m}$. Usar tomará $B = 4.00 \text{ m}$

h. Calcular nuevamente A_s y A_f

- $A_s = L * B$
- $A_s = 5.30 \text{ m} * 4.00 \text{ m} = 21.2 \text{ m}^2 < A_{s-max}$

***Nota:** A_{s-max} : 100 m^2 (cinara)

- $A_f = A_s * n$
- $A_f = 21.2 \text{ m}^2 * 2 = 42.4 \text{ m}^2$

i. Velocidad de filtración real.

Condición de caudal mínimo

- $V_{f_{real}} = \frac{Q_{dis}}{A_f}$
- $V_{f_{real}} = \frac{4.0065 \text{ m}^3/h}{21.2 \text{ m}^2} = 0.19 \text{ m/h}$
- $0.1 < V_{f_{real}} < 0.3 \text{ m/h}$ ✓

Condición de caudal máximo

- $V_{f_{real}} = \frac{Q_{dis}}{A_f}$
- $V_{f_{real}} = \frac{8.0129 \text{ m}^3/h}{21.2 \text{ m}^2} = 0.38 \text{ m/h}$

- $0.2 \text{ m/h} < Vf_{real} \therefore \text{No cumple}$

j. Redimensionar

Utilizando $L = 5.30 \text{ m}$ y $B = 5.1 \text{ m}$

- $A_s = L * B$
- $A_s = 5.30 \text{ m} * 5.1 \text{ m} = 27.03 \text{ m}^2 < A_{s-max} \checkmark$
- $A_f = 54.06 \text{ m}^2$

Condición de caudal mínimo

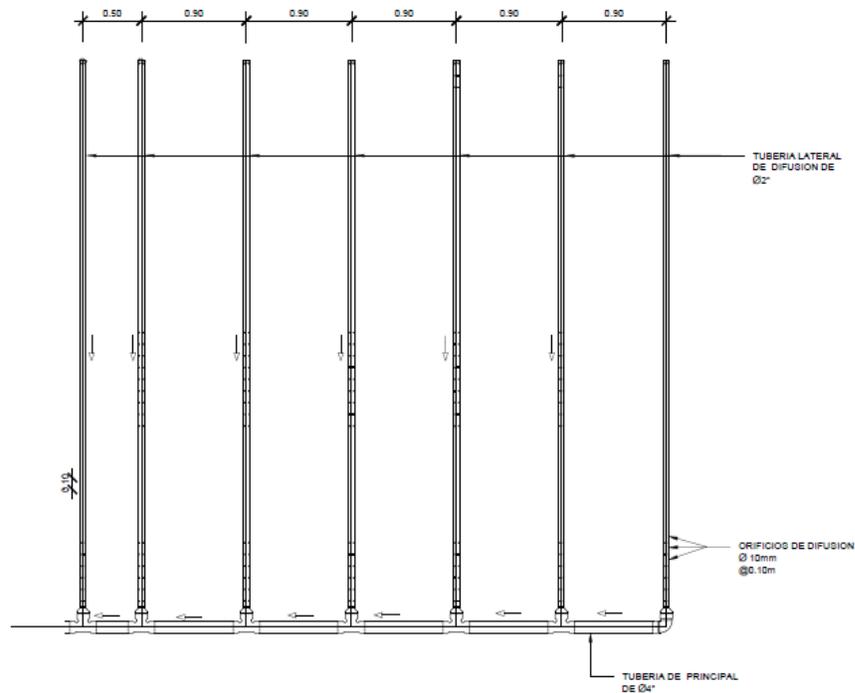
- $Vf_{real} = \frac{Q_s}{A_s}$
- $Vf_{real} = \frac{4.0065 \text{ m}^3/\text{h}}{54.06 \text{ m}^2} = 0.15 \text{ m/h}$
- $0.1 \leq Vf_{real} \leq 0.3 \text{ m/h} \checkmark$

Condición de caudal máximo

- $Vf_{real} = \frac{Q_{dis}}{A_s}$
- $Vf_{real} = \frac{8.0129 \text{ m}^3/\text{h}}{54.06 \text{ m}^2} = 0.30 \text{ m/h}$
- $0.1 \leq Vf_{real} \leq 0.3 \text{ m/h} \checkmark$

3. Sistema de recolección y drenaje de agua filtrada.

Figura 25: Esquema de distribución de múltiples de recolección FLA



Fuente: Autoría propia

Se compone de un conjunto de tuberías perforadas que actúan como recolectores. Para su diseño se deben considerar los siguientes aspectos:

- La longitud de los tubos laterales es de 4.79 m.
- Se utilizarán tuberías de recolección laterales (n_{lat}), separadas a $1/16$ de la longitud del tubo o máximo de 1m.
- La separación entre las paredes del tanque será $1/32$ de la longitud del recolector o máximo de 1 m.
- La longitud del colector principal, dentro del tanque de filtración, es de 5.10 m
- Los laterales se conectarán a la tubería principal ubicada a un costado lateral del filtro, simulando la forma de un peine. (RAS 2000)
- El colector principal se ubicará a 10 cm de las paredes y 3.5 cm del fondo del filtro.

- g. El diámetro de orificios en las tuberías laterales debe ser al menos menor al tamaño de grava en la última capa del filtro, por lo tanto $d_o = 9mm$ y se ubicaran a una separación $s_o = 0.10m$. (RAS 2000).
- h. El filtro lento de arena considera para su limpieza el raspado de la capa superficial de arena, por lo cual el diseño de los múltiples solo tiene en cuenta la condición de operación máxima, es decir que se realiza con el caudal de diseño (Q_{dis}) de la planta.

i. **Cantidad de laterales**

- $s_{pared} = \frac{1}{32 * l_c} = 0.18 m$
- $s_{lat} = \frac{1}{16 * l_c} = 0.36 m$

Para reducir el número de laterales a utilizar, usaremos:

- $s_{pared} = 0.15 m$ y $s_{lat} = 0.9 m$
- $n_{lat} = \left(\frac{L - 2 * s_{pared}}{s_{lat}} \right) + 1$
- $n_{lat} = \left(\frac{6.60m - 2 * 0.9 m}{0.8 m} \right) + 1$
- $n_{lat} = 7$

j. **Numero de orificios por filtro**

- $n_{of} = \frac{R_o * A_s}{A_o}$
- $n_{of} = \frac{0.0015 * 27.03 m^2}{0.000064 m^2} = 637.32$

R_o : relacion entre el área total de orificios y el área del filtro (Fair, Geyer & Okun 1999)

k. **Numero de orificios en cada tubería lateral**

- $n_o = \frac{n_{of}}{n_{lat}}$
- $n_o = \frac{637.32}{7} = 91.04 \approx 92$ orificios

***Nota:** Los orificios se arreglarán en 2 filas a ubicadas a 45 grados del eje longitudinal de los laterales.

l. **Número real de orificios en el filtro**

- $n_{of} = n_{lat} * n_o$

- $n_{of} = 77 * 92 = 644$

m. Caudal que pasa por cada orificio.

- $Q_o = \frac{Q_{dis}}{n_{of}}$

- $Q_o = \frac{0.0022 \text{ m}^3/\text{s}}{343} = \frac{0.0022 \text{ m}^3/\text{s}}{644} = 0.0000035 \text{ m}^3/\text{s} \approx 0.0124 \text{ m}^3/\text{h}$

n. Velocidad en el orificio.

- $V_o = \frac{Q_o}{A_o}$

- o. $V_o = \frac{0.0000035 \text{ m}^3/\text{s}}{0.000064 \text{ m}^2} = 0.0543 \text{ m}/\text{s} \approx 195.58 \text{ m}/\text{h}$

p. Caudal que pasa por la tubería de recolección lateral

- $Q_l = n_o * Q_o$

- $Q_l = 92 * 0.0000035 \text{ m}^3/\text{s} = 0.0003 \text{ m}^3/\text{s}$

q. Área de la tubería de recolección lateral

- $A_l = A_p * R_p$

- $A_l = 0.0090 \text{ m}^2 * 0.3 = 0.0027 \text{ m}^2$

R_p : Relación entre área de tubería principal y la sumatoria de las áreas de los recolectores (Fair, Geyer & Okun 1999)

r. Diámetro de tubería de recolección lateral

- $d_l = \sqrt{\frac{A_l * 4}{\pi}} = 0.049 \text{ m}$

- $d_l = \sqrt{\frac{0.0027 \text{ m}^2 * 4}{\pi}} = 0.0588 \text{ m}$

s. Seleccionar tubería comercial

Se utilizará una tubería PVC-SDR26 de diámetro Nominal de 2" (50mm) y diámetro interno de 55.71 mm.

t. Calcular nuevamente el área de la tubería lateral

- $A_l = \frac{\pi * d_{interno}^2}{4}$

- $A_l = \frac{\pi * (0.0675 \text{ m})^2}{4} = 0.0036 \text{ m}^2$

u. **Calcular velocidad del flujo en la tubería lateral**

- $V_l = \frac{Q_l}{A_l}$
- $V_l = \frac{0.0003 \text{ m}^3/\text{s}}{0.0036 \text{ m}^2} = 0.09 \text{ m/s}$

v. **Caudal que pasa por la tubería de recolección principal**

- $Q_p = n_l * Q_l$
- $Q_p = 7 * 0.0003 \text{ m}^3/\text{s} = 0.0022 \text{ m}^3/\text{s}$

w. **Área de la tubería de recolección principal**

- $A_p = \frac{Q_{dis}}{V}; V = 0.3 \text{ m/s}, \text{ cinara}$
- $A_p = \frac{0.0022 \text{ m}^3/\text{s}}{0.3 \text{ m/s}} = 0.0074 \text{ m}^2$

x. **Diámetro de tubería de recolección principal**

- $d_p = \sqrt{\frac{A_p * 4}{\pi}}$
- $d_p = \sqrt{\frac{0.0074 \text{ m}^2 * 4}{\pi}} = 0.0971 \text{ m} \approx 97.1940 \text{ mm}$

y. **Seleccionar tubería comercial**

Se utilizará una tubería PVC-SDR26, de diámetro Nominal puede ser de 4" (100mm) y diámetro interno de 107.28 mm.

z. **Calcular nuevamente el área de la tubería lateral**

- $A_p = \frac{\pi * d_{interno}^2}{4}$
- $A_p = \frac{\pi * (0.1073 \text{ m})^2}{4} = 0.0090 \text{ m}^2$

Calcular velocidad del flujo en la tubería principal

- $V_p = \frac{Q_{dis}}{A_p}$
- $V_p = \frac{0.0022 \text{ m}^3/\text{s}}{0.0090 \text{ m}^2} = 0.25 \text{ m/s} < V \checkmark$

4. Pérdidas en la unidad durante la operación

La pérdida total de la unidad se obtiene de la sumatoria de todas las pérdidas a lo largo del sistema: $h_t = h_{mf} + h_{o-l} + h_l + h_{l-p} + h_p + h_a$

a. Pérdida de carga en el medio filtrante

$$h_{mf} = \frac{0.0608 * v * L_0}{100 * d_0^2}$$

- v : Velocidad de filtración en cm/s
- L_0 : Espesor del estrato del medio filtrante en cm
- d_0 : Tamaño efectivo del grano del estrato en cm

El medio filtrante consiste en una capa de arena fina y 3 capas de grava de soporte con las características siguientes:

Tabla 48: Medio Filtrante del FLA

Capa	Tamaño (d_0) cm	Espesor (L_0) cm	Espesor (m)
Arena fina	0.03	120	1.2
Primera capa de grava	0.3175	5	0.05
Segunda Capa de grava	1.27	5	0.05
Tercera Capa de grava	2.54	8	0.08

Fuente: Autoría propia.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de los cálculos de la pérdida de carga en cada capa, con una velocidad de filtración de 0.0082 cm/s a caudal máximo y 0.0041 cm/s a caudal mínimo.

Tabla 49: Resultados de los cálculos de la pérdida de carga en cada capa

Capa	Resultado (m) con q_{max}	Resultado (m) con q_{min}
Arena fina	0.66755	0.33378
Primera capa de grava	0.00025	0.00012
Segunda Capa de grava	0.00002	0.00001

Tercera Capa de grava	0.000006	0.000003
h_{mf}	0.66782	0.33391

Fuente: Autoría propia.

- Con altura de arena mínima

Tabla 50: Perdidas en el lecho filtrante con arena mínima.

Capa	Resultado (m) con qmax	Resultado (m) con qmin
Arena fina	0.27815	0.13907
Primera capa de grava	0.00025	0.00012
Segunda Capa de grava	0.00002	0.00001
Tercera Capa de grava	0.000006	0.000003
h_{mf}	0.27842	0.13921

Fuente: Autoría propia.

- b. Perdida por descarga de los orificios en los recolectores laterales

$$h_{o-l} = 1.5 * \frac{V^2}{2 * g} ; V = cv * V_{fo}$$

Con caudal máximo

- $V_{fo} = \frac{Q_{fo}}{A_o} ; cv = 0.847$
- $Q_{fo} = \frac{Q_{dis}}{n_{of}}$
- $Q_{fo} = \frac{0.0022m^3/s}{464} = 0.000003 m^3/s$
- $h_{o-l} = 1.5 * \frac{0.847 * \frac{0.000003 m^3/s}{0.00018 m^2}}{2 * 9.81} = 0.00016 m$

Con caudal mínimo

- $V_{fo} = \frac{Q_{fo}}{A_o} ; cv = 0.847$
- $Q_{fo} = \frac{Q_s}{n_{of}}$
- $Q_{fo} = \frac{0.0011m^3/s}{644} = 0.000002 m^3/s$

- $h_{o-l} = 1.5 * \frac{0.847 * \frac{0.000002 \text{ m}^3/\text{s}}{0.000064 \text{ m}^2}}{2 * 9.81} = 0.00004 \text{ m}$

c. Perdida de carga en las tuberías laterales

- $h_l = \frac{1}{3} * \frac{0.0175 * l_c}{D} * \frac{V_l^2}{2 * g}$

Con caudal máximo

- $l_c = 4.79 \text{ m}$
- $V_l = \frac{Q_{dis}}{n_{lat} * A_l} = 0.089 \text{ m/s}$
- $h_l = \frac{1}{3} * \frac{0.0175 * 4.79 \text{ m}}{0.0674 \text{ m}} * \frac{(0.089 \text{ m/s})^2}{2 * g} = 0.0161 \text{ m}$

Con caudal mínimo

- $l_c = 4.79 \text{ m}$
- $V_l = \frac{Q_s}{n_{lat} * A_l} = 0.044 \text{ m/s}$
- $h_l = \frac{1}{3} * \frac{0.0175 * 4.79 \text{ m}}{0.0674 \text{ m}} * \frac{(0.044 \text{ m/s})^2}{2 * g} = 0.0040 \text{ m}$

d. Perdida de carga por descarga de los laterales al colector principal

$$h_{l-p} = 1.5 * \frac{V^2}{2 * g} ; V = V_l * cv$$

Con caudal máximo

- $V = 0.089 \text{ m/s} * 0.909 = 0.0809 \text{ m/s}$
- $h_{l-p} = 1.5 * \frac{(0.0809 \text{ m/s})^2}{2 * g} = 0.00050 \text{ m}$

Con caudal mínimo

- $V = 0.044 \text{ m/s} * 0.909 = 0.040 \text{ m/s}$
- $h_{l-p} = 1.5 * \frac{(0.040 \text{ m/s})^2}{2 * g} = 0.00013 \text{ m}$

e. Pérdida de carga en la tubería principal

- $h_p = \frac{1}{3} * \frac{0.0175 * l_p}{D} * \frac{V_p^2}{2 * g}$
- $l_p = 5.10 \text{ m}$

Con caudal máximo

- $V_p = \frac{Q_{dis}}{A_p} = 0.25 \text{ m/s}$
- $h_p = \frac{1}{3} * \frac{0.0175 * 5.10 \text{ m}}{0.1073 \text{ m}} * \frac{(0.25 \text{ m/s})^2}{2 * g} = 0.00086 \text{ m}$

Con caudal mínimo

- $V_p = \frac{Q_s}{A_p} = 0.12 \text{ m/s}$
- $h_p = \frac{1}{3} * \frac{0.0175 * 5.10 \text{ m}}{0.1073 \text{ m}} * \frac{(0.12 \text{ m/s})^2}{2 * g} = 0.00021 \text{ m}$
- **Pérdidas de carga por accesorios**

Estas pérdidas se obtienen mediante la expresión: $h_a = K * \frac{V^2}{2 * g}$ donde K es una constante que depende del tipo de accesorio utilizado.

Tabla 51: Pérdidas Por Accesorios

Tipo de accesorios	Cant	K	Q min (m3/s)	V (m/s)	hacc (m)	Qmax (m3/s)	V (m/s)	hacc
Ampliación 2"-4"	6	0.15	0.0002	0.0445	0.000091	0.0003	0.0890	0.00036
Codo 90° 2"-4"	1	0.9	0.0002	0.0176	0.000014	0.0003	0.0352	0.00006
1 colector Tee entrada	1	0.25	0.0002	0.0176	0.000004	0.0003	0.0352	0.00002

1 colectorTee salida	1	0.05	0.0003	0.0352	0.000003	0.0006	0.0704	0.00001
2 colectorTee entrada	1	0.25	0.0003	0.0352	0.000016	0.0006	0.0704	0.00006
2 colectorTee salida	1	0.19	0.0005	0.0528	0.000027	0.0010	0.1055	0.00011
3 colectorTee entrada	1	0.34	0.0005	0.0528	0.000048	0.0010	0.1055	0.00019
3 colectorTee salida	1	0.41	0.0006	0.0704	0.000103	0.0013	0.1407	0.00041
4 colectorTee entrada	1	0.36	0.0006	0.0704	0.000091	0.0013	0.1407	0.00036
4 colectorTee salida	1	0.55	0.0008	0.0879	0.000217	0.0016	0.1759	0.00087
5 colectorTee entrada	1	0.5	0.0008	0.0879	0.000197	0.0016	0.1759	0.00079
5 colectorTee salida	1	0.55	0.0010	0.1055	0.000312	0.0019	0.2111	0.00125
6 colectorTee entrada	1	0.5	0.0010	0.1055	0.000284	0.0019	0.2111	0.00114

6	1	1	0.0011	0.1231	0.000773	0.0022	0.2462	0.00309
colectorTee								
salida								
Valvula	1	0.9	0.0011	0.1231	0.000695	0.0022	0.2462	0.00278
Salida	1	1	0.0011	0.1231	0.000773	0.0022	0.2462	0.00309
Total					0.003648			0.01459

Fuente: Autoría propia

La sumatoria de todas las perdidas anteriores da como resultado la perdida de carga total a través de FLA:

$$h_t = h_{mf} + h_{o-l} + h_l + h_{l-p} + h_p + h_a$$

- **Con caudal máximo**
- $h_t = h_t = 0.7000 \text{ m}$
- **Con caudal mínimo**
- $h_t = 0.3420 \text{ m}$

5. Estructura de Salida

El control a la salida de la planta se hará por medio de un vertedero rectangular con cresta de 1m de longitud y 0.15 m de altura

Con caudal máximo

- $H = \left(\frac{Q_{dis}}{K*L} \right)^{\left(\frac{2}{3} \right)}$
- $H = \left(\frac{0.0022 \text{ m}^3/s}{1.838*1\text{m}} \right)^{\left(\frac{2}{3} \right)} = 0.0113 \text{ m}$

Con caudal mínimo

- $H = \left(\frac{Q_s}{K*L} \right)^{\left(\frac{2}{3} \right)}$
- $H = \left(\frac{0.0011 \text{ m}^3/s}{1.838*1\text{m}} \right)^{\left(\frac{2}{3} \right)} = 0.0072 \text{ m}$

Perfil hidráulico del filtro lento de arena

Tabla 52: Perfil Hidráulico del Filtro de Arena

Perfil Hidráulico del Filtro de Arena

(Véase anexo 2 -plano 02/06)

Losa de Fondo	1027.63m
Elevación de corona del dren principal	1027.92 m
9Tercera capa de grava	1028 m
Segunda capa de grava	1028.05 m
Primera capa de grava	1028.10 m
Medio filtrante (Arena)	1029.30 m
Nivel mínimo de operación (Qmin)	1029.65m
Nivel mínimo de operación (Qmax)	1030.01 m
Nivel Máximo de operación (*)	1030.11 m
Borde libre de tanque de filtración	1030.31 m
Entrada a cámara de salida	1029.15 m
Elevación corona en cámara de salida (Qmin)	1029.30 m
Elevación corona en cámara de salida (Qmax)	1029.31 m
Cresta de vertedero de ingreso a tanque de filtración	1030.21 m
Elevación corona sobre vertedero de ingreso (Qmin)	1030.22 m
Elevación corona sobre vertedero de ingreso (Qmax)	1030.23m
Fondo de canal de distribución de caudal	1030.01 m
cresta de vertedero triangular	1030.36 m
Elevación corona sobre vertedero triangular (Qmin)	1030.42 m
Elevación corona sobre vertedero triangular (Qmax)	1030.43 m
Borde de la cámara de entrada	1030.61 m

Fuente: Autoría propia.

- (*) Esta elevación es la cota del vertedero de rebose del tanque de filtración. Dicho vertedero se ubicará con el objetivo de drenar el agua excedente del tanque y tendrá las mismas características que el vertedero de rebose del canal

de entrada. Además, el cuello de ganso, otro dispositivo usado para drenar agua excedente se ubicará a esta misma altura.

6.2 Cloración.

Se ha escogido un proceso de cloración con hipoclorito de sodio, dosificado a través de una bomba peristáltica.

6.2.1 Determinación de la cantidad de cloro por día.

Se utilizará una dosificación de 2 mg/Lts, obtenida del estudio de demanda de cloro realizado para la planta existente. Para determinar el consumo de cloro por día se utilizará hipoclorito de sodio a una concentración de 120gr/l, sobre el caudal de diseño o consumo máximo día (CMD).

Datos:

- $Ca = \frac{QXD}{1000}$

En donde:

- **Ca:** capacidad de la cloración por día o kg de cloro por día.
- **D:** dosificación de cloro.
- **Q:** Caudal de diseño o consumo promedio diario.

- $Ca = \frac{(0.00226 \frac{M^3}{S}) \times (\frac{2g}{m^3})}{1000}$

- $Ca = 0.39 \frac{kg}{dia}$

Se ha determinado una cantidad de 0.39 kg/ día de cloro.

Cantidad de hipoclorito de sodio a utilizar.

- $Cantidad\ de\ hip,\ de\ sodio = \frac{Ca}{c1}$

- $Cantidad\ de\ hip,\ de\ sodio = \frac{0.39\ kg/dia * 1000}{120\ gr/l} = \frac{390.52\ gr/dia}{120\ gr/l}$
- $Cantidad\ de\ hip,\ de\ sodio = 3.25 \frac{Lt}{dia} = 0.856\ GPD$

Para suministrar el cloro en la red de agua potable se utilizará una bomba dosificadora de cloro de la marca agua planet con una capacidad de 5 LPH, capacidad.

Figura 26: bomba dosificadora de cloro Aquatrol



Fuente: ficha técnica AGUAPLANET

6.3 Presupuesto de la planta de tratamiento de agua potable El Dorado.

Se he realizado un presupuesto de la planta de tratamiento de agua potable, utilizando la tecnología de filtración en múltiples etapas en donde se consideró un sistema constructivo de mampostería confinada.

En presupuesto se ha considerado los rubros de mano de obra, materiales, herramienta y fletes, para la construcción de acuerdo con los planos del proyecto.

Tabla 53: Presupuesto base del rediseño de la plata de tratamiento del dorado.

	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
	Construcción de planta de tratamiento de agua potable de la localidad del dorado.				
	Estudios de prefactibilidad				C\$ 16,870.00
1	Análisis físico del agua (turbiedad)	GLB	2	C\$ 70.00	C\$ 140.00
2	Análisis microbiológico.	GLB	2	C\$ 1,020.00	C\$ 2,040.00
3	Levantamiento topográfico.	GLB	1	C\$ 1,360.00	C\$ 1,360.00
4	Análisis granulométrico	GLB	1	C\$ 680.00	C\$ 680.00
5	Diseño	GLB	1	C\$ 12,650.00	C\$ 12,650.00
	Preliminares				C\$ 8,018.80
1	Limpieza inicial	m2	469.1	C\$ 10.54	C\$ 4,944.31
2	Trazo y nivelación (con equipo topográfico)	m2	469.1	C\$ 6.55	C\$ 3,074.48
	Movimiento de tierra				C\$ 10,288.23
1	Excavación y desalojo manual	m3	185.82	C\$ 55.37	C\$ 10,288.23
	Estructura de concreto				C\$ 197,183.61
1	Alistar, colocar y armar acero de refuerzo menor o igual al #4, en elemento estructurales	kg	2912.00	C\$ 17.96	C\$ 52,300.73
2	Hacer formaleta para elementos estructurales en elemento estructurales	m2	104.97	C\$ 877.44	C\$ 92,102.63
3	Colocar formaleta para elementos estructurales en elemento estructurales	m2	104.97	C\$ 30.77	C\$ 3,230.00
4	Limpieza formaleta para elementos estructurales en elemento estructurales	m2	104.97	C\$ 12.35	C\$ 1,296.55
5	Fundir concreto en elementos estructurales como viga de fundaciones, columnas y viga corana	m3	6.76	C\$ 7,140.05	C\$ 48,253.71
	Mampostería				C\$ 130,389.07
1	Paredes perimetrales de filtro con ladrillo cuarterón de 6"*8"*16"	m2	189.73	C\$ 259.75	C\$ 49,281.40
2	Repello grueso en paredes permítales de filtro	m2	267.92	C\$ 302.73	C\$ 81,107.67
	Tuberías PVC y accesorios				C\$ 87679.08
1	Excavación para zanja de 0.30 m de profundidad para tubería 2 1/2" exterior	m3	0.78	C\$ 1,931.77	C\$ 1,506.78
2	Relleno para zanja de tubería de 0.30 m de profundidad para tubería 2 1/2" exterior	m3	0.70	C\$ 38.53	C\$ 26.97
3	suministro e instalación de tubería PVC 2 1/2" SDR 26 interior	ml	41.56	C\$ 171.49	C\$ 7,127.17
4	suministro e instalación de tubería PVC 2" SDR 26	ml	33.53	C\$ 136.51	C\$ 4,577.10
5	suministro e instalación de tubería PVC 4" SDR 26	ml	24.82	C\$ 787.89	C\$ 19,555.42
6	Accesorios PVC	Und	60.00	C\$ 521.94	C\$ 31,316.64

7	Válvulas de apertura rápida	Und	4.00	C\$ 2,408.50	C\$ 9,634.00
8	Válvulas check	und	2.00	C\$ 125.00	C\$ 250.00
9	Bomba dosificadora de cloro	Und	1.00	C\$ 13,685.00	C\$ 13,685.00
Lecho de grava					C\$ 12,185.40
1	suministro y colocación de lecho de arena 0.15 mm -0.35mm	m3	64.87	C\$ 62.29	C\$ 4,040.73
2	suministro y colocación de lecho de grava 1.6 mm - 3 mm	m3	1.82	C\$ 860.24	C\$ 1,565.64
3	suministro y colocación de lecho de grava 3 mm - 6 mm	m3	15.42	C\$ 110.31	C\$ 1,700.96
4	suministro y colocación de lecho de grava 6 mm - 13 mm	m3	6.233	C\$ 252.37	C\$ 1,573.00
5	suministro y colocación de lecho de grava 13 mm - 19 mm	m3	4.44	C\$ 354.63	C\$ 1,574.56
6	suministro y colocación de lecho de grava 19 mm -25 mm	m3	3.503	C\$ 494.01	C\$ 1,730.50
PISO					C\$ 60,216.80
1	Conformación y compactación manual, hasta 10 cm	m2	256.09	C\$ 18.33	C\$ 4,694.98
2	Losa de piso de concreto de 3000 PSI, e=10 cm	m2	256.09	C\$ 30.53	C\$ 7,817.57
3	Losa de fondo de concreto de 3000 PSI, e=10 cm	m2	90.33	C\$ 528.11	C\$ 47,704.25
Pintura					C\$ 78,179.79
1	Pintura en paredes perimetrales	m2	267.92	C\$ 291.80	C\$ 78,179.79
Limpieza final					C\$ 4,944.31
1	Limpieza final del proyecto	m2	469.1	C\$ 10.54	C\$ 4,944.31
					C\$ 27520.00
1	Papelería	GLB	1	C\$ 820.00	C\$ 820.00
2	Turbidímetro digital	UND	1	C\$ 22,400.00	C\$ 22,400.00
3	Comparador de cloro visual y pH	UND	1	C\$ 714.00	C\$ 714.00
4	Herramientas de mantenimiento	GLB	1	C\$ 2,200.00	C\$ 2,200.00
5	Hipoclorito de sodio (costo de operación por mes)	GBL	1	C\$ 1,7222	C\$ 1,386.00
Subtotal					C\$ 633,475.09
IVA					C\$ 95,021.26
Total					C\$ 728,495.3535

Fuente: Autoría propia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7 Conclusiones.

- Se evaluó la planta de tratamiento de agua potable de la comunidad del dorado, en tres aspectos fundamentales administrativa, operación y mantenimiento, diseño y construcción:
 - Se determinó que las fallas administrativas y de operación y mantenimiento se originan por la falta de capacitación que tienen los miembros del CAPS del dorado.
 - Se estableció mediante los estudios realizados (caracterización de las aguas, análisis granulométrico) que el diseño ideado para la planta de tratamiento cumple en gran parte con los parámetros establecidos por la CINARA, pero aun así no queda exento de fallas ya que no se hizo un cálculo preciso de las pérdidas en las tuberías que conectan a los filtros entre si además de haber obviado la inclusión de las cámaras de lavado en los filtros gruesos.
 - En la construcción de la planta es en donde se encuentran los fallos más graves debido a la mano de obra inexperta utilizada y la poca supervisión que esta tuvo provoco diferencias entre lo planteado en el diseño y lo ejecutado, causando que el desempeño hidráulico de la planta no funcionara a como se tenía previsto.
- Se realizaron los estudios previos necesarios tales como: topográfico, estudio físico y microbiológico del agua, análisis granulométrico del lecho filtrante, demanda de consumo; los cuales permitieron evaluar el estado actual de la planta, así como brindar los datos necesarios para el diseño propuesto en el presente documento.
- Mediante el ajuste de varios conceptos, entre la normativa nacional nicaragüense, RASS2000, artículos monográficos y las investigaciones realizadas por CINARA, se han adaptados los parámetros para la realización del diseño del sistema de filtración en múltiples etapas, con lo que se pudo garantizar un diseño simple, económico y fácil de construir con mano de obra con un mínimo de experiencia.

- Se realizaron los planos de diseño y constructivo del nuevo diseño propuesto desde el conjunto de la planta hasta los detalles constructivos de cada uno de los filtros.
- Para el caso particular de la planta del dorado se elaboró un manual de operación y mantenimiento donde se cubren los aspectos más importantes para tener en cuenta para plantas de tratamiento tipo FIME. Así mismo se realizaron una serie de infogramas con el objetivo de recordar los procedimientos a los operadores de la planta.

8 Recomendaciones.

- Se recomienda al comité de agua potable y saneamiento de la zona que realicen las inscripciones correspondientes ante la entidad reguladora INAA para que estos puedan contar con los beneficios de la ley 722.
- Realizar programas de capacitación a los miembros del CAPS en aspectos tales como: administración, sostenibilidad, operación y mantenimiento de la planta, control de calidad del agua, cuidado del medioambiente y conservación de las fuentes de agua.
- Para garantizar la calidad del servicio a los usuarios del servicio, se debe de operar y mantener el sistema en óptimas condiciones, lo que implica la realización de todas las tareas recomendadas en el manual.
- Organizar un esquema de trabajo en donde se realice el monitoreo de todas las actividades diarias, semanales, mensuales y eventuales; el cual deberá ser revisada constantemente.
- Inculcar en los operarios la costumbre de consultar frecuentemente los manuales de operación y mantenimiento que se le han entregado.
- se recomienda que, en la fase de construcción del proyecto, se tenga una mayor supervisión sobre la mano de obra que ejecuta con el fin de garantizar el comportamiento hidráulico de la planta a como se tenía previsto en el diseño final.
- Se debe de considerar para futuras versiones de las normas para el “diseño de abastecimiento de agua en el medio rural” incluir parámetros y

recomendaciones para el diseño de sistemas de filtración en múltiples etapas debido a que es una de las mejores opciones para solucionar la problemática de abastecimiento de agua en las comunidades más alejadas y muy baja densidad poblacional debido a la simpleza de su manejo, bajos costos de construcción y operación. Características que lo hacen ideal para estas zonas con escasos recursos económicos y baja escolaridad.

9 Bibliografía y Referencias

- Medellín: Ing. Jorge Arturo Pérez. Universidad Nacional de Colombia. Tratamiento de aguas. Recuperado el 20 de mayo del 2017.
- Lacio Ordoñez, Diego A. y Palacios Pérez José L. (2011). Universidad de cuenca. Filtros lentos de arena. Recuperado el 25 de mayo del 2017.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2005). Guía para diseño de sistemas de tratamiento de Filtración en Múltiples Etapas. Lima
- Sánchez, Luís Darío y Arlex; Galvis, Gerardo; Latorre, Jorge, Centro Internacional de Agua y Saneamiento. (2007). Filtración en Múltiples Etapas. Recuperado el 05 de junio del 2017.
- Galvis, Gerardo; Latorre, Jorge, Centro Internacional de Agua y Saneamiento. (1999). Filtración en Múltiples Etapas. Recuperado el 05 de junio del 2017.
- Filtración en múltiples etapas en Nicaragua y honduras/programa de saneamiento e higiene AGUASAN/2014.
- Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000 / Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, Republica de Colombia / Noviembre del 2000
- Diseño de Abastecimiento de Agua en el Medio Rural y Saneamiento Básico Rural / INAA / 06 de marzo del 2001
- Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas / CEPIS / 2005
- Filtración en Múltiples Etapas / Luís Darío Sánchez, Arlex Sánchez, Gerardo Galvis y Jorge Latorre (IRC) / 2007
- Filtración en Múltiples Etapas, Tecnología Incoativa para el tratamiento de agua / Gerardo Galvis y Jorge Latorre/ septiembre de 1999
- Filtros caseros, utilizando ferrocemento, diseño para servicio a 10 familias, constante de 3 unidades de filtros gruesos ascendentes (fgas), 2 filtros lentos de arena (fla), sistema para aplicación de cloro y 1 tanque de

almacenamiento / María de Lourdes Cordero Ordoñez, Pablo Nelson Ullauri Hernández/2011

- Estudio para el mejoramiento de la planta de la planta potabilizadora de agua en casacay caton pasaje provincia del oro/ Ullari Granda Ileana Olinda/ Noviembre del 2015.
- Mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable (FIME)- Municipio del Peñol/ Ing. Lorena Salazar Gámez/ febrero 2010.
- La filtración gruesa aplicada al tratamiento de aguas superficiales/ Juan diego Ordoñez, Wilson Efrén Pesantez/ 2017
- Ley 722: Ley especial de comités de agua potable y saneamiento/ INAA/ Noviembre del 2010.
- Teoría y práctica de la purificación del agua-Tomo 1 / Arboleda Valencia/ 2000.
- Hidráulica general/ Guilberto Avilas Sotelo/Limusa 1997

10 Web grafía

- Méndez, A (2011, enero). La Turbidez. Recuperado el 05 de mayo de 2017, de <http://quimica.laguia2000.com/propiedades/turbidez>.
- Sagdejev Ildar. (2015, diciembre). Conductividad y solidos disueltos. Recuperado el 15 de abril de 2017, <https://www.rwlwater.com/que-son-los-solidos-disueltos/?lang=es>
- Carbotecnia (2014, septiembre). Solidos disueltos totales. Recuperado el 15 de abril de 2017. <https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/solidos-disueltos-totales-tds/>
- Severiche Sierra, Carlos A. Castillo Bertel, Marlon E. Acevedo Barrios, Rosa L. Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas. Capitulo: Color. <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/color-agua.html>
- Sandoval. Juan C. Color del Agua. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6155/5/COLOR%20DEL%20AGUA%20Juan%20C%20Sandoval.pdf>

- Ramírez Quirós, Francisco (2003, septiembre/octubre). El Agua potable, Filtración. <http://www.elaguapotable.com/filtracion.htm>
- Año (2012). Filtración del Agua. <https://www.taringa.net/post/apuntes-y-monografias/14772309/Que-es-la-filtracion-de-agua-Tecnicas-y-Metodos.html>
- Biblioteca Virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. Capítulo 4. Filtro lento. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/016324/016324-04.pdf>
- Apéndice B, Calculo del filtro lento de arena. En este documento Citan como base a Huisman y a Wood (1974) este capítulo también va a estar basado en el documento publicado por la Organización Mundial de la Salud (OMS). <https://bioantu.files.wordpress.com/2012/01/filtroarenasanluis.pdf>
- Cordero Ordóñez, María de L. Ullauri Hernández, Pablo N. (2011). Filtros Caseros. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/747/1/ti874.pdf>
- (2004, noviembre). Biblioteca Virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. Capítulo 5. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/desinfeccion/capitulo5.pdf>

ANEXO 1: Álbum fotográfico

Anexo 1.1: Elementos de la planta de tratamiento existente.

Filtro Grueso Dinámico (FGDI)



Figura 27: Vista frontal del Filtro grueso dinámico, en donde se puede observar ambas cámaras de filtración.



Figura 28: Aireador en la entrada de la planta existente. Fuente: Autoría propia.



Figura 29: Filtro grueso Dinámico tiene los siguientes componentes: cámara de entrada, cámara de lavado de gravas y cámara de filtración. Fuente: Autoría propia.

Filtro Grueso Ascendente en Capas (FGAC).



Figura 28: FGAC en donde se aprecian la mayoría de los componentes como: canal de distribución, cámara de entrada y cámaras de filtración. Fuente: Autoría propia.



Figura 31: Vista frontal del FGAC, se puede observar ambas cámaras de filtración trabajando en paralelo. Fuente: autoría propia

Filtro Lento de Arena (FLA)



Figura 32: Filtro Lento de arena (FLA), en la toma se observa las cámaras de filtración y la unidad de entrada. Fuente: Autoría propia.



Figura 33: Vista posterior del FLA, en donde se observa las tuberías de ingreso, la unidad de entrada, los canales de distribución y ambas cámaras de filtración trabajando en paralelo. Fuente: autoría propia.

Tanque de Almacenamiento.



Figura 34: Tanque de almacenamiento semienterrado con capacidad de 36.30 m³. Fuente: Autoría propia.

Cloración



Figura 35: Cloración por disolución de pastilla de hipoclorito de calcio. Fuente Autoría propia.



Figura 36: Antiguo método de cloración por pastilla de hipoclorito de calcio. Fuente: Autoría propia.



Figura 37: En la toma se puede observar el medidor de cloro residual con pastillas DPD1 utilizado en la



Figura 38: Nuevo método de cloración con hipoclorito de calcio en estado granular. Fuente: Autoría propia.

Anexos 1.2: Defectos Constructivos.



Figura 39: Fugas alrededor del perímetro de los vertederos del FGAC, provocando errores en la medición. Fuente: Autoría propia



Figura 40: Fugas alrededor del perímetro de los vertederos del FGDI, provocando errores en la medición. Fuente: Autoría propia



Figura 41: Descarga del efluente del FGDI directamente a los canales de distribución del FGAC. Fuente: Autoría propia.



Figura 42: Tuberías anexas en el FGDI, por fallas en el diseño de las tuberías de conducción. Fuente: Autoría propia



Figura 43: Tuberías anexas sobre el FGAC, descargando directamente a la entrada de este. Fuente: Autoría propia



Figura 44: Tubería anexa saliendo del FGAC a la entrada del FLA. Fuente: Autoría propia.



Figura 45: Descarga directa sobre el vertedero de rebose del FLA.



Figura 46: Fuga en las paredes de la cámara de filtración del FLA. Fuente: Autoría propia.



Figura 47: Vista completa de la fuga en las paredes de la cámara de filtración del FLA, por deficiencia en el sellado de dicha pared. Fuente: Autoría propia.



Figura 48: El FLA se encuentra fuera de funcionamiento por fugas en las paredes de la cámara de filtración, ocasionando que se saltaran esta etapa del tratamiento. Fuente: Autoría propia.



Figura 49: Operador de la planta aplicando erróneamente una solución de cloro granular sobre el filtro lento de arena. Fuente: Autoría propia.

Anexo 1.3: Pruebas y estudios realizados.



Figura 50: Realización del aforo a la fuente Santa Rita. Fuente: Autoría propia.



Figura 51: Aforo realizado para la fuente San Antonio. Fuente: Autoría propia.



Figura 52: Recolección de muestra de agua potable para prueba de turbiedad. Fuente: Autoría propia.



Figura 53: Recolección de muestra de agua potable para prueba microbiológica. Fuente: Autoría propia.



Figura 54: Recolección de muestra del lecho filtrante del FGAC. Fuente: Autoría propia.



Figura 55: Recolección de muestra del lecho filtrante del FLA. Fuente: Autoría propia.



Figura 56: Muestras en el laboratorio de la facultad de tecnología en la construcción (FTC) para determinar la granulometría de los lechos filtrantes de cada unidad de tratamiento.



Figura 57: Cribado de las muestras de lecho filtrante tomada. Fuente: Autoría propia.



Figura 58: Proceso de cribado de muestra de lecho filtrante. Fuente: Autoría propia.



Figura 59: Pesaje del material retenido por cada una de las mallas. Fuente: Autoría propia.



Figura 60: Levantamiento de la planta de tratamiento con estación total y prisma en la foto se están determinando las dimensiones del FGDI. Fuente: Autoría propia.



Figura 61: Tomando las dimensiones del FGAC, en conjunto con el levantamiento topográfico. Fuente: Autoría propia.



Figura 62: Letrero de inauguración del proyecto original. Fuente Autoría propia



Figura 63: Letrero de área protegida, cercano a la planta de tratamiento. Fuente Autoría propia.



Figura 64: Equipo monográfico, junto a uno de los operadores de la planta.
Fuente: Autoría propia.

Anexo 2: Resultados de estudios

Anexo 3: Planos.

**Anexo 4: Manual de
operación y
mantenimiento.**