

1155
1-UES
5/506
5/590
9/995
EJ-1

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



INSTALACION Y EVALUACION DEL FUNCIONAMIENTO DE UN
FILTRO DE ARENA DE GOTEO LENTO PARA POTABILIZACION
DE AGUA EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA,
MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR

PRESENTADO POR:

OSCAR ENRIQUE ASCENCIO COREA
JESUS GONZALO BORJA SORIANO
MARIO ERNESTO NOLASCO DUARTE
CARLOS ERNESTO ZELAYA CASTILLO

15101033

PARA OPTAR AL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO

15101033

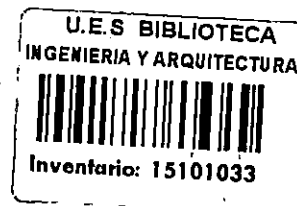
MAYO DE 1995



SAN SALVADOR,

EL SALVADOR CENTROAMERICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



TRABAJO DE GRADUACION

"INSTALACION Y EVALUACION DEL FUNCIONAMIENTO DE UN FILTRO DE
ARENA DE GOTEO LENTO PARA POTABILIZACION DE AGUA EN LA
COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR"

PRESENTADO POR:

OSCAR ENRIQUE ASCENCIO COREA
JESUS GONZALO BORJA SORIANO
MARIO ERNESTO NOLASCO DUARTE
CARLOS ERNESTO ZELAYA CASTILLO

COORDINADOR:



ING. ANA MARIA GONZALEZ TRABANINO.

ASESORES:



LIC. JOSE PLACIDO LEMUS.



LIC. VICTOR MANUEL SEGURA LEMUS.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:
DR. FABIO CASTILLO FIGUEROA

SECRETARIO GENERAL:
LIC. JUSTO ROBERTO CAÑAS LOPEZ

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:
ING. JOAQUIN ALBERTO VANEGAS AGUILAR

SECRETARIO:
ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA


ING. DELMY DEL CARMEN RICO PEÑA
DIRECTORA



AGRADECIMIENTOS

Especiales agradecimientos a la Organización Panamericana de la Salud en las personas de la Ing. Ana Isabel Quan, Ing. Ricardo Núñez e Ing. Roberto Argüello, por el interés manifestado en el desarrollo de trabajos de investigación de proyección social y el financiamiento brindado a este proyecto de investigación.

Reconocemos con mucha gratitud la dedicación y empeño manifestado por nuestros asesores: Ing. Ana María González Trabanino, Lic. Víctor Manuel Segura y Lic. José Plácido Lémus para la conclusión de este trabajo.

Deseamos agradecer a todos los amigos que contribuyeron con el desarrollo de este trabajo al brindarnos su apoyo y solidaridad en los momentos que más lo necesitamos en especial a: Srta. Sandra Lorena Recinos, Ing. Eduardo Enrique García, Ing. Daniel Buenaventura Mejía, Ing. Mario Enrique Estrada, Dr. Pedro Francisco Pérez y Sr. Salvador Antonio Menjívar.

No podemos olvidar a nuestros familiares y seres queridos que con su confianza y apoyo nos alentaron en todo momento

Enrique, Gónzalo, Mario y Carlos

DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO: Por permitirme llegar hasta este momento y darme la oportunidad de ser una persona útil a la sociedad.

A MI FAMILIA: Lillian Amanda Corea, Lorena Jackeline Corea, Gloria Amanda Corea, Max Adilio Recinos Corea, Lillian Mercedes Recinos Corea y Maximiliano Adilio Recinos. De quienes ayuda, apoyo y confianza nunca me faltó.

A MIS AMIGOS: Sandra Recinos, Harold Montúfar, Juan Rodolfo, Tania Torres, Marlene, Eduardo García, Daniel Mejía, Memo, Samuel,... Que me ayudaron de mil formas y con quienes compartí grandes momentos.

A MIS COMPANEROS: Carlos, Jesús y Mario, por darme la oportunidad de trabajar y conocer la solidaridad y el valor humano que como personas poseen.

Por último quiero agradecer a todos los que contribuyeron a lograr este objetivo y que no menciono; pero que están presentes en mis agradecimientos personales. A todos ellos espero, con todo mi corazón, nunca defraudar con mi actuar en el camino de la vida.

OSCAR ENRIQUE ASCENCIO COREA

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Blanca Soriano, José Adilio Borja, a mis hermanos José Adilio, Ana del Carmen, Blanca Adilia y Juan Antonio; a mis sobrinos Aarón, Ashely, Chantel, Alejaid, Maggi y a mi cuñada Merry, por darme su apoyo total en todo momento, tanto en los éxitos como en los fracasos.

Con todo cariño para mis hijos Littbarky y Seamón, a Vilma la madre de ellos por darme dos hijos llenos de amor y dulzura, que se convirtieron en inspiración para lograr mi objetivo y vencer todas las dificultades.

Mi especial agradecimiento a la Sociedad de Estudiantes de Ingeniería y arquitectura Salvadoreños (S E I A S) , a la Sociedad de estudiantes de Ingeniería Química (S E I Q), al Br. Oscar Mercado y al Ing. Joaquín Vanegas pues gracias a su intervención se me trato con justicia.

A la Compañía Griffin Corporation Agrochemical por darme trabajo y así poder cubrir los gastos para terminar mi carrera, sin olvidar a mis amigos que fueron vitales en el camino, tanto aquí como en tierras lejanas, Jimmy Whathey, John Harden, Carlos Zelaya, Mario Duarte, Saúl Ramos, Juan Ramírez, etc.

Jesús Borja

DEDICATORIA

A DIOS TODO PODEROSO: Porque sin su poder nada puede realizarse, por ser la fuerza que me guió en el transcurso de toda la carrera.

A MIS PADRES : Mario Nolasco y Elba Duarte de Nolasco, por ser pilares fundamentales en toda mi formación moral y académica.

A MIS HERMANOS : Roxana, Armidio y Marilyn porque son tres hermanos excelentes y siempre me han dado mucho apoyo.

Mario Ernesto Nolasco Duarte

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis amigos, que me dieron la ayuda necesaria y oportuna, a las personas que me motivaron a seguir adelante cuando me sentí sin fuerzas para continuar la lucha y me brindaron su apoyo y comprensión, a mis buenos maestros que con sacrificio, paciencia y amor me transmitieron los conocimientos correspondientes, para diferenciar lo justo de lo injusto y a desarrollar la conciencia necesaria para pensar en el prójimo; a aquellos que en algún momento desatendí por estar empeñado en lograr este objetivo. A todos ustedes que no necesito nombrar por que saben que siempre los llevaré dentro de mí

Carlos

RESUMEN

El objetivo principal del proyecto consiste en instalar y evaluar el funcionamiento de un Filtro de Arena de Goteo Lento para potabilización de agua, en la Comunidad Rural La Pinera del Municipio de Apopa, departamento de San Salvador.

Los primeros cuatro capítulos de este documento están conformados por información recopilada, tanto bibliográfica como de campo, referente a: antecedentes sobre el uso e implementación de filtros lentos, diagnóstico de las condiciones socioeconómicas de los pobladores y características geográficas del lugar de instalación de los filtros; normas de calidad fisicoquímica y bacteriológica establecidas para el agua potable y teoría general sobre el funcionamiento de la filtración lenta, los factores que la afectan así como las aplicaciones y limitaciones de esta técnica.

En el Capítulo V se aborda el diseño y construcción del modelo de filtro de arena de goteo lento para potabilización de agua que luego fue instalado en la comunidad mencionada para su posterior evaluación. Esta etapa se realizó considerando los siguientes aspectos: definición de parámetros de diseño, criterios de diseño mecánico e hidráulico, selección de materiales de construcción y especificación de los elementos básicos de la unidad de filtración.

Durante la etapa de experimentación se realizó un monitoreo del funcionamiento del filtro durante 143 días determinándose el nivel de contaminación del agua filtrada, presentándose fluctuaciones desde 920 NMP/100ml hasta 2 NMP/100 ml, tanto de bacterias coliformes totales como de bacterias coliformes fecales para el Filtro 1. En cuanto al Filtro 2 se detectó un contenido de bacterias coliformes totales desde 1600 NMP/100ml hasta 4.5 NMP/100 ml y de bacterias coliformes fecales desde 348 NMP/100 ml hasta 2 NMP/100 ml.

La arena que constituye el medio filtrante fue previamente tratada lavándola con agua y con una solución diluida de lejía comercial, eliminando la humedad a través de la exposición al sol.

Posteriormente a la primera etapa experimental, el lecho de arena fue lavado y reinstalado dentro de los filtros, para realizar una segunda evaluación y así determinar el porcentaje de eficiencia de remoción de bacterias después de un ciclo de operación (143 días). En esta etapa las eficiencias de remoción más altas que se obtuvieron para el filtro 1 son de 88.42% de coliformes totales y 93.18% de bacterias coliformes fecales, y en cuanto al filtro 2 las eficiencias más altas que se lograron son de 97.67% para bacterias coliformes totales y de 98.92% para bacterias coliformes fecales.

En relación a los análisis fisicoquímicos, de los componentes analizados no se puede concluir que el filtro tenga algún efecto sobre los mismos pues no se obtuvieron suficientes datos para establecer esta correlación.

De los resultados que se obtuvieron en las etapas experimentales de esta investigación en cuanto a la disminución de bacterias coliformes totales y fecales, se puede notar que el modelo de filtro evaluado constituye alternativa eficiente, accesible y de fácil implementación para el mejoramiento en la calidad del agua en las zonas rurales.

No obstante, la investigación no es concluyente dado que los filtros no operaron bajo las condiciones requeridas para filtración lenta; debido a problemas como: la elevada turbidez del agua por períodos prolongados, generalmente provocada por el dragado de los pozos, los filtros operaron muchas como filtros rápidos alejándose de la velocidad recomendada para filtración lenta (0.1 a 0.2 m/h), o no se le dió a la unidad de filtración el mantenimiento requerido por parte de los usuarios.

INDICE

Contenido	Página
INTRODUCCION	1
I. ANTECEDENTES SOBRE FILTROS LENTOS	3
II. DESCRIPCION Y UBICACION DE LA COMUNIDAD BENEFICIARIA	7
2.1 Ubicación Geográfica de la Comunidad La Pinera	7
2.2 Descripción del lugar de los Sitios de Instalación de los Filtros	7
2.3 Condiciones sociales, económicas y de salud de los habitantes de la Comunidad La Pinera ..	10
III. CALIDAD FISICOQUIMICA Y BACTERIOLOGICA DEL AGUA	11
3.1 Normas de Calidad del agua	12
3.1.1 Valores guías recomendados por la Organización Panamericana de la Salud (OPS)	13
3.1.2 Comentarios de los valores guías reco- mendados por la OPS	20
3.1.3 Valores guías recomendados por el Ins- tituto Centroamericano de Investiga- ción y Tecnología Industrial	25
3.1.4 Valores guías recomendados por el Minis- terio de Salud y Asistencia Social de El Salvador	26
3.2 Calidad bacteriológica del agua	27
3.2.1 Organismos indicadores de contamina- ción	28

Contenido	Página
3.2.2 Contenido total de microorganismos	29
3.2.3 Bacterias Coliformes totales	29
3.2.4 Bacterias Coliformes fecales	30
 IV. TEORIA DE FILTRACION LENTA EN LECHO DE ARENA	 32
4.1 Principio de Filtración Lenta en lecho de arena	 33
4.2 Funcionamiento del filtro lento en lecho de arena	 34
4.3 Factores que inciden en la productividad de los filtros lentos de lecho de arena	 35
4.4 Ventajas y limitaciones del filtro lento de lecho de arena	 37
4.4.1 Ventajas del filtro lento de lecho de arena	 37
4.4.2 Limitaciones del filtro lento de lecho de arena.....	 38
 V. DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL FILTRO	 39
5.1 Definición de parámetros de diseño	39
5.1.1 Cálculo de la velocidad de filtración en el momento de instalación del filtro ..	 41
5.1.2 Cálculo de las fuerzas en el sistema de control de alimentación del agua al filtro	 43
5.2 Criterio de diseño mecánico e hidráulico	53
5.2.1 Preparación del medio filtrante (arena)...	54
5.2.2 Granulometría del lecho de arena	55
5.2.3 Cálculo del coeficiente de uniformidad y diámetro de partícula para la arena	 57
5.2.4 Cálculo del diámetro de partícula prome- dio en función de la superficie del lecho	 59

Contenido**Página**

5.2.5 Cálculo de la porosidad	63
5.3 Selección de materiales de construcción para los filtros	64
5.4 Elementos básicos del filtro lento de lecho de arena	66
5.4.1 Tanque de suministro del filtro de arena de goteo lento	67
5.4.2 Sistema de alimentación de agua al filtro de arena de goteo lento	68
5.4.3 Cuerpo del filtro de arena de goteo lento y estructura de apoyo.....	69
5.4.4 Capa de agua sobrenadante	70
5.4.5 Lecho filtrante	71
VI. PRUEBAS Y RESULTADOS DE LA OPERACION DEL FILTRO	74
6.1 Pruebas hidráulicas	74
6.1.1 Cálculo de la pérdida de carga del filtro en el momento de instalación	77
6.1.2 Cálculo de la velocidad en el lecho de arena	78
6.1.3 Comportamiento matemático entre la pérdida de carga y la velocidad en el lecho de arena	81
6.2 Variación de la porosidad en el filtro	82
6.3 Análisis fisicoquímico y bacteriológico del agua	85
6.3.1 Análisis fisicoquímico del agua de los pozos	86
6.3.2 Interpretación de resultados fisicoquímicos	88
6.3.3 Análisis bacteriológicos del agua filtrada	90
6.3.4 Análisis bacteriológicos del agua de los pozos	94

Contenido**Página**

6.3.5 Interpretación de los resultados bacteriológicos para el filtro 1 en la primera... etapa experimental	97
6.3.6 Interpretación de los resultados bacteriológicos para el filtro 2 durante la primera etapa experimental.....	97
6.3.7 Evaluación fisicoquímica y bacteriológica de la segunda etapa experimental	99
6.3.8 Evaluación fisicoquímica de los pozos y filtros en la segunda etapa experimental.	99
6.3.9 Evaluación Bacteriológica de pozos y filtros en la segunda etapa experimental	99
6.3.10 Interpretación de los resultados fisicoquímicos y bacteriológicos de la segunda etapa experimental.....	103
6.4 Factores externos incidentes al desarrollo del proyecto durante la primera etapa experimental.....	105
OBSERVACIONES.....	106
CONCLUSIONES	108
RECOMENDACIONES	110
GLOSARIO.....	114
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	119
ANEXOS	122
ANEXO A: Normas de calidad de agua potable establecidas por el ICAITI	123

ANEXO B: Esquema general y piezas del filtro de arena de goteo lento instalados en la comunidad rural "La Pinera", Municipio de Apopa, San Salvador	125
ANEXO C: Manual de construcción del filtro, tanque de suministro, flotador y sistema de alimentación	134
ANEXO D: Costos de los materiales para el tanque, sistema de alimentación, cuerpo del filtro y estructura de apoyo.....	144
ANEXO E: Variación de la velocidad de filtración con respecto a los cambios de porosidad.....	149
ANEXO F: Informe de los análisis químicos de los pozos y filtros.....	152
ANEXO G: Tablas matemáticas. Esferas: Volúmenes y Segmentos.....	158
ANEXO H: Procedimientos de laboratorio para los análisis Bacteriológicos	160
ANEXO I: Lineamientos para operar los filtros por parte de los usuarios	166
ANEXO J: Manual práctico de operación del filtro lento para potabilización de agua instalado en la comunidad rural la Pinera, municipio de Apopa, San Salvador.....	171

INDICE DE CUADROS.

Cuadro		Página
CUADRO 1.1	CARACTERISTICAS DE FILTROS PROPUESTO POR EL ICAITI PARA POTABILIZACION DE AGUAS EN ZONAS RURALES.....	3
CUADRO 1.2	VARIABLES OPTIMAS DE LA ETAPA EXPERIMENTAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACION "DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FILTRO DE AGUA PARA USO DOMICILIAR	5
CUADRO 1.3	GRANULOMETRIA DE CAPA SOPORTE DEL PROYECTO DE INVESTIGACION "DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FILTRO DE AGUA PARA USO DOMICILIAR	5
CUADRO 3.1	REQUISITOS DE CALIDAD BIOLOGICA Y MICROBIOLOGICA PARA AGUAS DE CONSUMO HUMANO	14
CUADRO 3.2	COMPONENTES INORGANICOS PRESENTES EN EL AGUA QUE INFLUYEN EN LA SALUD HUMANA	16
CUADRO 3.3	COMPONENTES ORGANICOS CONTENIDOS EN EL AGUA QUE AFECTAN LA SALUD HUMANA	17
CUADRO 3.4	PARAMETROS DE CALIDAD ORGANOLEPTICA PARA AGUAS DE CONSUMO HUMANO	18
CUADRO 3.5	VALORES GUIAS DE LOS AGENTES QUE INFLUYEN EN LA APARIENCIA DEL AGUA	19
CUADRO 3.6	NORMAS DE CALIDAD PARA AGUA POTABLE PROPUESTA POR EL ICAITI	26

CUADRO 3.7	VALORES GUIAS PAR ELEMENTOS INORGANICOS ESTABLECIDOS POR EL MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL DE EL SALVADOR BAJO LOS CUALES EL AGUA SE CONSIDERA POTABLE	27
CUADRO 4.1	PRODUCTIVIDAD DE LOS FILTROS LENTOS DE LECHO DE ARENA EN CONDICIONES NORMALES DE FUNCIONAMIENTO	36
CUADRO 5.1	PARAMETROS DE DISEÑO PARA FILTRACION LENTA	40
CUADRO 5.2	PARAMETROS DE DISEÑO USADOS EN LA CONSTRUCCION DE LOS FILTROS LENTOS DE LECHO DE ARENA INSTALADOS EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA DEL MUNICIPIO DE APOPA	40
CUADRO 5.3	ANALISIS DE TAMIZADO DE LA ARENA UTILIZADA COMO MEDIO FILTRANTE EN LOS FILTROS INSTALADOS EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR	56
CUADRO 5.4	ANALISIS DE TAMIZADO DE GRAVA No. 2 USADA EN LA CAPA SOPORTE EN LOS FILTROS INSTALADOS EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR	56
CUADRO 5.5	DIAMETRO PROMEDIO PARA CADA FRACCION X1 DEL LECHO DE ARENA USADO EN LOS FILTROS LENTOS INSTALADOS EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR ...	60
CUADRO 5.6	EXTRAPOLACION DEL DIAMETRO DE PARTICULA PROMEDIO DE LA FRACCION CONTENIDA EN LA BANDEJA	61

Cuadro**Página**

CUADRO 5.7	RESUMEN DE LOS CALCULOS DEL DIAMETRO MEDIO CON LA ECUACION 5.17	62
CUADRO 6.1	CAUDALES EN LAS PRUEBAS HIDRAULICAS. A LA SALIDA DEL FILTRO POR INSTALAR EN LA CO- MUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR	80
CUADRO 6.2	VELOCIDAD EN EL LECHO Y PERDIDAS DE CARGA ANTES DE INICIAR LA ETAPA EXPERIMENTAL DEL FILTRO POR INSTALAR EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR ..	80
CUADRO 6.3	VELOCIDAD EN EL LECHO Y PERDIDAS DE CARGA DURANTE LA ETAPA EXPERIMENTAL EN EL FIL- TRO 1 INSTALADO EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR	80
CUADRO 6.4	VALORES DE POROSIDAD CALCULADOS PARA EL FIL- TRO 1 INSTALADO EN LA COMUNIDAD RURAL LA PI- NERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR EN LA PRIMERA ETAPA EXPERIMENTAL	84
CUADRO 6.5	VALORES DE POROSIDAD CALCULADOS PARA EL FILTRO 2 INSTALADO EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR EN LA PRIME- RA ETAPA EXPERIMENTAL	84

CUADRO 6.6	CALIDAD FISICOQUIMICA DEL AGUA DE POZOS 1 Y 2 UBICADOS EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR. COMPARACION CON LOS VALORES GUIAS ESTABLECIDOS POR EL MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL DE EL SALVADOR	87
CUADRO 6.7	CALIDAD FISICOQUIMICA DEL AGUA DE FILTROS 1 Y 2 UBICADOS EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR. COMPARACION CON LOS VALORES GUIAS ESTABLECIDOS POR EL MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL DE EL SALVADOR	88
CUADRO 6.8	NIVEL DE CONTAMINACION BACTERIOLOGICO DEL FILTRO 1 INSTALADO EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR, PARA LA PRIMERA ETAPA EXPERIMENTAL	90
CUADRO 6.9	NIVEL DE CONTAMINACION BACTERIOLOGICO DEL FILTRO 2 INSTALADO EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR, PARA LA PRIMERA ETAPA EXPERIMENTAL	91
CUADRO 6.10	NIVEL DE CONTAMINACION BACTERIOLOGICA DE POZOS UBICADOS EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR	94
CUADRO 6.11	ACONTECIMIENTOS QUE INFLUYERON EN EL FUNCIONAMIENTO DEL FILTRO 1 INSTALADO EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR DURANTE LA PRIMERA ETAPA EXPERIMENTAL.....	95

CUADRO 6.12 ACONTECIMIENTOS QUE INFLUYERON EN EL FUNCIONAMIENTO DEL FILTRO 2 INSTALADO EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR DURANTE LA PRIMERA ETAPA EXPERIMENTAL....	96
CUADRO 6.13 RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS PARA POZO Y FILTRO Nº1, UBICADOS EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA DEL MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR, EN LA SEGUNDA ETAPA EXPERIMENTAL	100
CUADRO 6.14 RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS PARA POZO Y FILTRO Nº2, UBICADOS EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA DEL MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR, EN LA SEGUNDA ETAPA EXPERIMENTAL	101
CUADRO 6.15 RESULTADOS DE ANALISIS BACTERIOLOGICOS EN LA SEGUNDA ETAPA EXPERIMENTAL PARA POZO 1 Y FILTRO 1 UBICADOS EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA DEL MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR	102
CUADRO 6.16 RESULTADOS DE ANALISIS BACTERIOLOGICOS EN LA SEGUNDA ETAPA EXPERIMENTAL PARA POZO 2 Y FILTRO 2 UBICADOS EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA DEL MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR	102
CUADRO 6.17 RESULTADOS DE ANALISIS DE BACTERIOLOGICOS EN LA SEGUNDA ETAPA EXPERIMENTAL DEL FILTRO 1 Y FILTRO 2 INSTALADOS EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA DEL MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR...	103

INDICE DE FIGURAS.

Figura	Página
FIGURA 2.1 PLANO DE UBICACION DE LA COMUNIDAD LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR	8
FIGURA 2.2 PLANO DE UBICACION DEL LUGAR DE INSTALACION DE LOS FILTROS, COMUNIDAD LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR.....	9
FIGURA 5.1 (a) REPRESENTACION DE FUERZAS EN EL PUNTO DE CIERRE DEL TANQUE DE ALIMENTACION AL FILTRO DE ARENA DE GOTEO LENTO; (b) DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE	44
FIGURA 5.2 REPRESENTACION DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL DE ALIMENTACION AL FILTRO DE ARENA DE GOTEO LENTO	46
FIGURA 5.3 NIVEL HIDROSTATICO DENTRO DEL FILTRO CUANDO EL GRIFO DE SALIDA DE AGUA ESTA CERRADO Y EL SISTEMA DE CONTROL DE ALIMENTACION NO PERMITE EL PASO DEL AGUA AL FILTRO	49
FIGURA 5.4 REPRESENTACION DEL SISTEMA DE CONTROL DE ALIMENTACION DE AGUA AL FILTRO CON PARTE DEL FLOTADOR SUMERGIDO BAJO EL NIVEL DE AGUA	50
FIGURA 5.5 REPRESENTACION DE LAS PRESIONES QUE INTERACTUAN EN EL PUNTO DE CIERRE DEL SISTEMA DE ALIMENTACION DEL FILTRO DE ARENA DE GOTEO LENTO INSTALADO EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR	53

FIGURA 5.6	FUNCION MATEMATICA CORRESPONDIENTE AL ANALISIS DE TAMIZADO DE LA ARENA USADA COMO MEDIO FILTRANTE EN LOS FILTROS INSTALADOS EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR (DIAMETRO DE PARTICULA VRS. % ACUMULADO MENOR QUE)	58
FIGURA 5.7	ANALISIS DE TAMIZADO DIFERENCIAL DEL LECHO DE ARENA DE LOS FILTROS INSTALADOS EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR	60
FIGURA 5.8	TANQUE DE SUMINISTRO DEL FILTRO DE ARENA DE GOTEO LENTO CON EL VISOR PARA CONTROL DEL NIVEL DE AGUA Y EL SISTEMA DE DRENAJE INSTALADO EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR	67
FIGURA 5.9	SISTEMA DE ALIMENTACION DE AGUA AL FILTRO DE ARENA DE GOTEO LENTO INSTALADO EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR	68
FIGURA 5.10	CUERPO DEL FILTRO DE ARENA DE GOTEO LENTO Y ESTRUCTURA DE APOYO DEL FILTRO INSTALADO EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR	70
FIGURA 6.1	REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LA CARCAZA DEL FILTRO SIN ARENA	74
FIGURA 6.2	FILTRO CON LECHO DE ARENA DE 0.6 METROS Y 0.07 METROS DE GRAVA COMO CAPA DE SOPORTE	76

FIGURA 6.3 REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION ENTRE LA VELOCIDAD DE FLUJO Y LAS PERDIDAS DE CARGA EN EL LECHO DEL FILTRO INSTALADO EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR 82

FIGURA 6.4 GRAFICA DE PRESENCIA PUNTUAL DE BACTERIAS COLIFORMES TOTALES Y FECALES CONTRA DIAS DE OPERACION Y LOS CAUDALES ACUMULADOS POR EL FILTRO 1 EN LOS DIAS DE OPERACION 92

FIGURA 6.5 GRAFICA DE PRESENCIA PUNTUAL DE BACTERIAS COLIFORMES TOTALES Y FECALES CONTRA DIAS DE OPERACION Y LOS CAUDALES ACUMULADOS POR EL FILTRO 2 EN LOS DIAS DE OPERACION 93

INTRODUCCION

La contaminación del agua utilizada para consumo humano es fuente de transmisión de una amplia variedad de enfermedades. Al ser consumidas en la condición natural en que están disponibles, estas aguas generan un elevado índice de muertes como consecuencia de las enfermedades de origen hídrico que provocan, tales como la fiebre tifoidea, la disentería, el cólera y otras enfermedades gastrointestinales (Hilleboe, 1993).

Según los datos estadísticos disponibles sobre defunciones a nivel nacional (Dirección General de Estadística y Censo, 1991), las muertes por enfermedades de origen hídrico representan el 9.5%, siendo los niños menores de cinco años los más afectados ya que ocupan el 7.7% del total de las defunciones.

El acceso al agua potable (conexión domiciliaria y pilas públicas) es particularmente desigual en El Salvador. En el área urbana, los hogares beneficiados con este servicio representan el 74.4% del total, mientras que en el área rural, menos del 30% de los hogares cuentan con este servicio. A nivel nacional, sólo el 53% de la población tiene acceso al agua potable (UNICEF, 1994).

En 1990 únicamente el 40% de los hogares contaba con conexiones de alcantarillado y otros servicios de disposición de excretas. En el área urbana, los hogares beneficiados con este tipo de servicio, constituyen el 59.5% del total y en el área rural, solamente el 17.4% dispone de servicios adecuados de eliminación de excretas (UNICEF, 1994).

En las zonas rurales de El Salvador, el problema de carecer de servicio de agua potable es de grandes proporciones. Las principales fuentes de agua son de origen meteórico y superficial, y éstas son contaminadas posiblemente por la infiltración a partir de letrinas al manto freático o por una manipulación inco-

rrécta. En vista de la problemática planteada se pretende con este proyecto evaluar la utilización de un modelo de filtro de arena de goteo lento como una alternativa de solución cuya eficiencia ha sido demostrada a nivel de laboratorio en la Universidad de El Salvador por Hernández y Mendoza 1988, y otros investigadores.

El proyecto se realizó en la Comunidad La Pinera, ubicada en el Municipio de Apopa, departamento de San Salvador, contando con la colaboración del Proyecto SILOS (Sistema Integral de Salud) para la Zona Norte del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, y el financiamiento de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) a través del Programa de Vigilancia de Control de Calidad del Agua (PROAGUA/MASICA).

CAPITULO I
ANTECEDENTES SOBRE FILTROS LENTOS.

El primer filtro que se construyó para potabilizar agua, fue un filtro lento de arena en Gran Bretaña en 1826, con la finalidad de remover la turbidez de las aguas que abastecían pueblos y ciudades, operando a velocidades de filtración desde 0.95 a 9.5 m/día (Hernández y Mendoza, 1988).

En la actualidad, el filtro lento es utilizado en algunas partes del mundo cuyas instalaciones se realizaron antes de que se construyera el filtro rápido. Las construcciones de filtros lentos que se llevan a cabo sólo son para ampliar las ya existentes, aunque en ciudades europeas se utiliza el filtro rápido como tratamiento previo y el filtro lento para el tratamiento final, dando excelentes resultados (Hernández y Mendoza, 1988).

En Centroamérica se han realizado estudios referentes a filtros lentos a nivel artesanal. En 1981 el Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI), presentó dos alternativas de filtros artesanales para potabilizar el agua cuyas características se resumen en el Cuadro 1.1.

CUADRO 1.1 CARACTERISTICAS DE LOS MODELOS DE FILTROS PROPUESTOS POR EL ICAITI PARA POTABILIZACION DE AGUA EN ZONAS RURALES.

CARACTERISTICAS	MODELO "A"	MODELO "B"
Lecho filtrante	Arcilla con incorporación de feldespato, aserrín con impregnación de plata coloidal.	Arcilla incorporada con arena, aserrín con impregnación de plata coloidal.
Rendimiento anual	755 L	650 L
Rendimiento diario	2-3 L	1.78 L

(ICAITI, 1981)

El filtro recomendado por ICAITI para potabilizar agua en las zonas rurales es el Modelo "A", si no existe problema con el abastecimiento de feldespatos; en caso de existir problema se recomienda el Modelo "B", el cual sustituye el feldespatos por arena de río (Hernández y Mendoza, 1988).

En la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, se desarrolló el proyecto "Ensayos de Laboratorio para Evaluar Filtros de Flujo Descendente que Utiliza Arena, Carbón de la Cascarilla de Arroz y Fibra de Coco como Lechos Filtrantes", (Jiménez Martínez, 1990) llegando a los siguiente resultados: la turbidez disminuye durante las primeras 2 a 5 horas de funcionamiento del filtro pero para condiciones de operación prolongada (1-2 semanas), la turbidez aumenta hasta alcanzar los niveles de alimentación. Las pruebas se limitaron a la evaluación de turbidez y el trabajo no recomienda ningún material específico.

En la Universidad de El Salvador se han desarrollado investigaciones sobre la utilización de filtros lentos artesanales, con el objetivo de evaluarlos como alternativas de solución a la potabilización del agua para consumo, estas se detallan en los literales a y b:

- a) En la Escuela de Ingeniería Química, en el proyecto de investigación "Diseño y Construcción de un Filtro de Agua para uso Domiciliar" (Hernández y Mendoza, 1988) se experimentó con distintos lechos filtrantes: arena, cuarzo y lava volcánica y distintas alturas del lecho.

Las alternativas que mejores resultados proporcionaron durante la etapa experimental se presentan en el Cuadro 1.2 y los datos de granulometría en el cuadro 1.3.

CUADRO 1.2 VARIABLES OPTIMAS DE LA ETAPA EXPERIMENTAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACION "DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FILTRO DE AGUA PARA USO DOMICILIAR".

MATERIAL	VALORES
Altura de lecho filtrante	0.6 m
Altura de cabeza hidrostática	0.5 m
Velocidades de filtración	0.15 m/h
Diámetro efectivo	0.211 mm
Altura de capa soporte (Cuadro 1.3)	0.07 m
Coefficiente de uniformidad	1.86
Caudal de salida / unidad de área filtrante	0.38 L/día-cm ²

(Hernández y Mendoza, 1988)

CUADRO 1.3 GRANULOMETRIA DE CAPA SOPORTE DEL PROYECTO DE INVESTIGACION "DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FILTRO DE AGUA PARA USO DOMICILIAR".

CAPAS	DIAMETRO, (mm)	ALTURAS, (cm)
Primera	0.5 - 2	2
Segunda	2 - 2.5	2
Tercera	5 - 20	3

(Hernández y Mendoza, 1988)

b) En la Escuela de Ingeniería Mecánica se realizó el proyecto "Construcción de un Filtro Lento Bacteriológico para uso Domiciliar" (Berrios et al, 1991) el cual fue instalado en la Comunidad "El Cañito" realizándose modificaciones al diseño original de Hernández y Mendoza, las cuales fueron:

- b.1) 160 cm de longitud del filtro y 10.16 cm de diámetro.
- b.2) El filtro fue seccionado a 36 cm de la base con el propósito de colocar la capa soporte.
- b.3) Se controla la carga hidrostática mediante un visor instalado en la parte superior.
- b.4) Se construye un sólo banco para sostener la unidad de filtración.

Algunas de las recomendaciones propuestas en esta investigación son las siguientes:

- a) Dotar de un control hidráulico de nivel de la cabeza hidrostática para evitar el derrame de agua por la parte superior del filtro.
- b) Dimensionar el filtro para un mayor caudal, lo cual se logra incrementando el diámetro de la carcasa del filtro.
- c) El tanque de suministro debe ser de mayor capacidad, con el objeto de llenarlo una vez por día de operación.

CAPITULO II

DESCRIPCION Y UBICACION DE LA COMUNIDAD LA PINERA

En El Salvador muchas de las zonas rurales carecen de agua potable, siendo este un criterio a considerar para la selección del lugar donde se realizaría el proyecto de instalación y evaluación de los filtros. Se eligió en coordinación con el Ministerio de Salud y Asistencia Social, Región Metropolitana de Salud, la Comunidad La Pinera del Municipio de Apopa, la cual en esos momentos era objeto de la investigación denominada "Agua Como Factor Determinante de la Enfermedad Parasitaria en Niños Menores de Cinco Años de Edad", (Pérez, 1994).

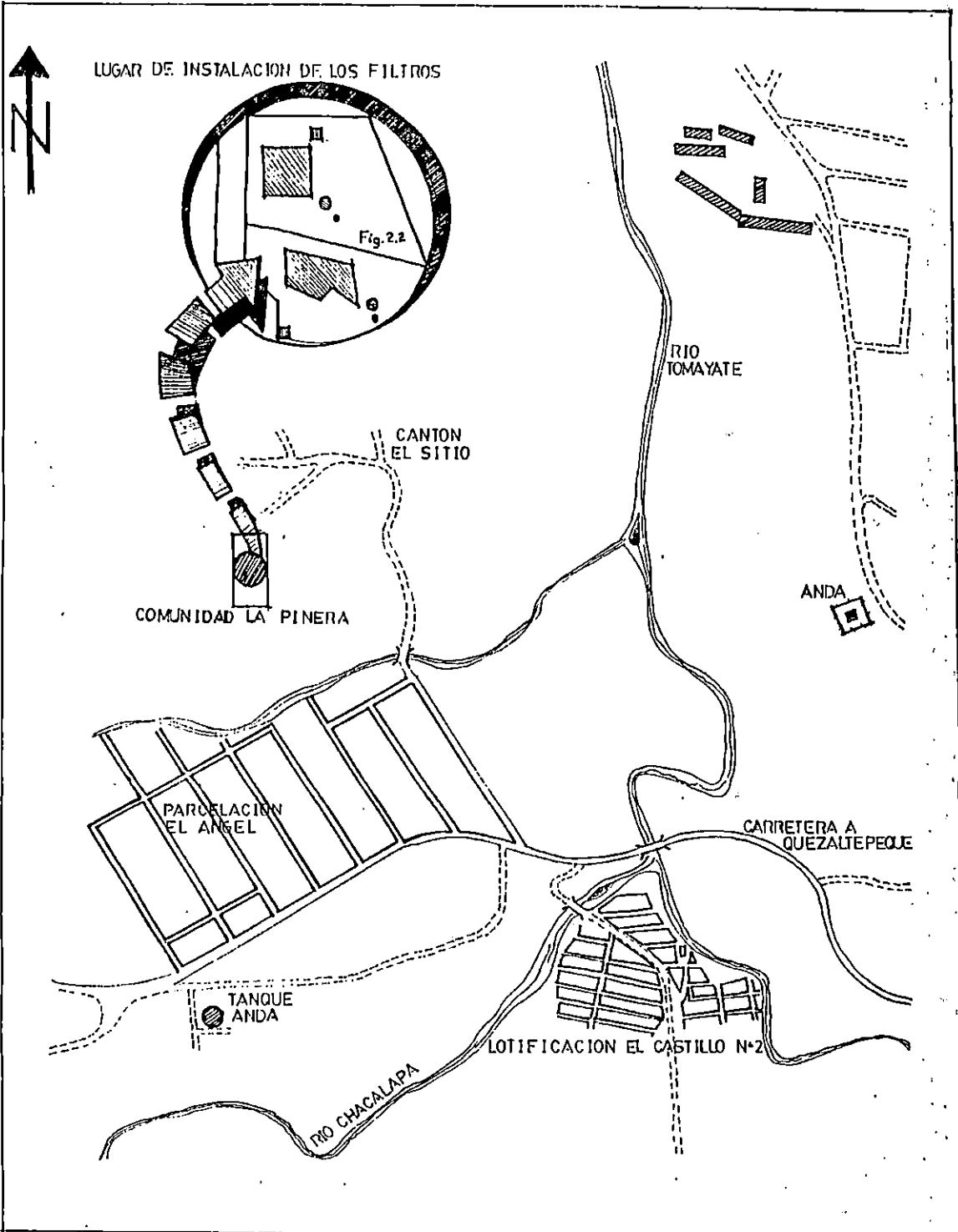
2.1 UBICACION GEOGRAFICA DE LA COMUNIDAD LA PINERA

La comunidad "La Pinera" se ubica 3 Km al Norte del Municipio de Apopa, pertenece al Cantón "Joya Galana" . Limita al Norte con el caserío "La Junta", al Este con el caserío "El Sitio", al Sur con la parcelación "El Angel" y carretera a Quezaltepeque y al Oeste con el Cerro de Nejapa. En la figura 2.1 se presenta el plano de la ubicación de la comunidad y en la figura 2.2 el lugar de instalación de los filtros.

2.2 DESCRIPCION DEL LUGAR DE LOS SITIOS DE INSTALACION DE LOS FILTROS

Se puede observar en la figura 2.2 que la instalación de los filtros se realizó en casas contiguas lo cual facilitó su monitoreo.

La ubicación de las letrinas de hoyo seco y la distancia con respecto a los pozos de abastecimiento de agua posiblemente sea un factor que favorece la contaminación de la fuente de agua por posible infiltración de aguas contaminadas al manto acuífero, por mala práctica higiénica por parte de los usuarios y contaminación de las aguas por el polvo.



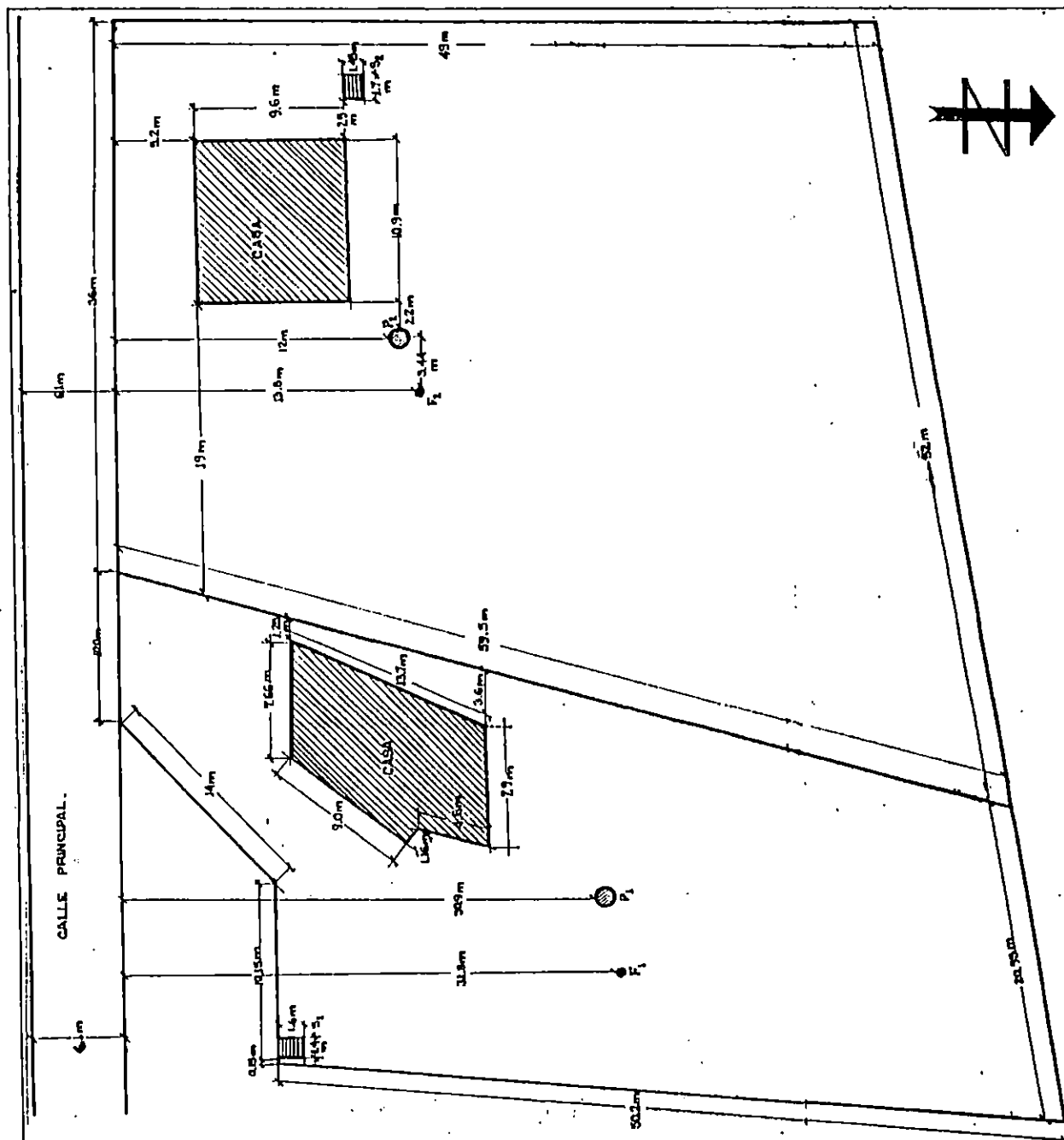
PROYECTO:
 INSTALACION Y EVALUACION DEL FUNCIONAMIENTO DE UN FILTRO DE ARENA DE GOTEO LENTO PARA POTABILIZACION DE AGUA EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR

CONTENIDO:
 PLANO DE UBICACION DE LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR

U.E.S. F.I.A

ENERO/95

FIGURA 2.1



P	P	FOZO 1	ϕ_1 1.5m	FOZO 2	ϕ_2 1.34m
F	F	FILTROS	ESPESOR DEL BROQUEL		
S	S	SERVICIOS DE LOS POZOS 0.20 m			
ϕ_1	ϕ_2	DIAMETROS			

PROYECTO:
 INSTALACION Y EVALUACION DEL FUNCIONAMIENTO DE UN FILTRO DE ARENA DE GOTEO LENTO PARA POTABILIZACION DE AGUA EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR

CONTENIDO:
 PLANO DE UBICACION DEL LUGAR DE INSTALACION DE LOS FILTROS, COMUNIDAD RURAL LA PINEIRA. MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR

2.3 CONDICIONES SOCIALES, ECONOMICAS Y DE SALUD DE LOS HABITANTES DE LA COMUNIDAD LA PINERA.

La comunidad La Pinera es un reasentamiento de familias que tuvieron que emigrar de sus lugares de origen durante el conflicto armado, se compone de noventa familias con una población total de 463 habitantes de los cuales 86 son niños menores de cinco años. Su economía se basa en la agricultura (maíz, frijol y arroz), cuenta al momento con 85 viviendas cuyo régimen de propiedad no está claro. No se dispone de servicio de alumbrado eléctrico ni de agua potable; todas las viviendas están construidas de adobe, 16 de éstas cuentan con pozo para abastecimiento de agua. El 94.12% de las viviendas poseen letrina de pozo y el resto carecen de ellas. Existe una casa comunal y no poseen escuelas. El acceso a la comunidad se realiza a través de calles secundarias de tierra, que se encuentran en mal estado debido a las lluvias.

Las enfermedades más frecuentes son la diarrea, el parasitismo intestinal, las infecciones respiratorias agudas, el impétigo y la escabiosis. De los 86 niños menores de cinco años, 44 tienen esquemas completos de vacunación hasta el mes de Septiembre de 1994.

Cabe mencionar que el 96% de los pobladores no le dan tratamiento de potabilización al agua y el 4% restante la hierven o cloran utilizando lejía comercial. El 98% botan la basura al aire libre, el 69.2% tienen animales domésticos. Los niños menores de 5 años, en un 80.24% no usan calzado.

El Centro de Salud más cercano es la Unidad de Salud de Apopa, siendo la comunidad atendida además por promotores de salud.

CAPITULO III

CALIDAD FISICOQUIMICA Y BACTERIOLOGICA DEL AGUA

Los análisis del agua en el laboratorio se llevan a cabo para determinar la calidad de la misma, con el objeto de ayudar a formar una opinión acerca de lo adecuado que sea el agua de abastecimiento para uso público.

Son esenciales los análisis rutinarios de laboratorio para controlar los procesos de tratamiento del agua y garantizar un efluente satisfactorio en todo momento. De esta manera, la disminución gradual de la eficiencia en los procesos de filtración puede detectarse mediante mediciones de laboratorio antes de que resulten evidentes a la observación visual; los organismos microscópicos se pueden amplificar y contar; puede determinarse la variación de los constituyentes disueltos del agua y explicarse los motivos de cambios, de tal manera que puedan adoptarse medidas correctivas.

Los análisis de laboratorio pueden clasificarse en: físicos, químicos, bacteriológicos y microscópicos.

Las pruebas físicas miden y registran algunas propiedades que pueden ser detectadas por los sentidos, las químicas determinan las cantidades de materia mineral y orgánica que hay en el agua y que afectan su calidad, los análisis bacteriológicos indican la presencia de bacterias características de la contaminación; y las pruebas microscópicas proporcionan información relativa a las proliferaciones de algas en el agua que frecuentemente son las que causan sabores y olores desagradables u obstrucción de los filtros (HILLEBOE, 1993).

3.1 NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA.

Para vigilar la calidad del agua, se necesita la existencia de normas, en beneficio de la salud de la población y para facilitar la buena marcha de las operaciones. Se dice que norma es la codificación de todo proceso que se repite múltiples veces, con el fin de obtener siempre idénticos resultados (Carrión y Méndez, 1990).

Las normas de calidad para el agua son dictadas de acuerdo con el uso final que se le dé. En términos generales son dos los fines principales: el uso doméstico y el industrial.

Respecto al agua para consumo humano, las normas de potabilidad están constituidas por las metas de calidad que cada país se impone de acuerdo con las condiciones ambientales, sociales, económicas y culturales existentes (OMS, 1985).

Existen guías de calidad elaboradas por organismos internacionales para ser utilizadas por los países como base para el desarrollo de sus propias normas (OMS, 1990), teniendo en cuenta que los límites que se establezcan en cada caso deben ser realistas, esto es, deben ser factibles de alcanzarse con los recursos locales disponibles para ese fin. El límite máximo aceptable para un contaminante debe ser posiblemente obtenido con las mismas instalaciones de tratamiento y el nivel de operación existente y factible de ser detectado con el instrumental de laboratorio disponible para este fin.

Se deben elaborar normas nacionales, no sólo para el abastecimiento de agua distribuida a la comunidad mediante tuberías, sino también para toda agua destinada a ser bebida, incluida la que se obtiene de tomas de agua o pozos y la que se distribuye a la comunidad por medio de camiones cisterna o en botellas. Por razones de simplicidad, para sistemas de abastecimiento

en pequeñas comunidades, las guías de calidad del agua potable se limitan al análisis microbiológico del grupo de bacterias coliformes, ya que este grupo es mejor conocido y de medición relativamente fácil. Normalmente, cuando se detectan bacterias coliformes en el agua, se dispone de información adecuada para tomar las decisiones necesarias respecto a medidas correctivas, particularmente si se cuenta también con los resultados de una inspección sanitaria realizada paralelamente.

En abastecimientos de agua sin tratamiento ni cloración, provenientes de aguas superficiales o de aguas de pozos superficiales o profundos, la detección de sólo bacterias coliformes fecales puede servir generalmente como una guía adecuada para determinar la presencia de organismos patógenos en el agua y tomar las medidas que correspondan (Carrión y Méndez, 1990).

3.1.1 VALORES GUIAS RECOMENDADOS POR LA ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD

Al juzgar la calidad del agua potable, no se puede confiar por completo en la ausencia de efectos sensoriales negativos. Para tal fin se han establecido valores límites o valores guías, por Instituciones Internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS), estas organizaciones prestan gran importancia al aspecto microbiológico al establecer los valores guías con los que se puede determinar la calidad del agua cuya contaminación no es detectada por los sentidos y su consumo puede causar enfermedades mortales para el hombre.

Otros parámetros que también se evalúan son los aspectos biológicos, fisicoquímicos y la presencia de elementos radiactivos, y la importancia de ellos dependerá del ambiente que rodee la fuente de abastecimiento de agua.

En los Cuadros 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 se presenta un resumen de los valores guías más importantes recomendados por la Organización Panamericana de la Salud .

CUADRO 3.1 REQUISITOS DE CALIDAD BIOLÓGICA Y MICROBIOLÓGICA PARA AGUAS DE CONSUMO HUMANO

TIPO DE AGUA	UNIDAD	VALOR GUIA	OBSERVACIONES
<p>1. Calidad microbiológica</p> <p>A. Agua distribuida por tuberías.</p> <p>A.1 Agua sometida a tratamiento que entra en el sistema de distribución</p> <p>Bacterias Coliformes Fecales</p> <p>Bacterias Coliformes Totales</p>	<p>NMP/100 ml.</p> <p>NMP/100 ml.</p>	<p>0</p> <p>0</p>	<p>Turbiedad < 1 UNT*: para la desinfección con cloro, es preferible un pH < 8.0; 0.2 a 0.5 mg/L de cloro residual libre después del contacto durante 30 minutos (tiempo mínimo).</p>
<p>A.2 Agua no sometida a tratamiento que entra en el sistema de distribución</p> <p>Bacterias Coliformes Fecales.</p> <p>Bacterias Coliformes Totales</p>	<p>NMP/100 ml.</p> <p>NMP/100 ml.</p>	<p>0</p> <p>3</p>	<p>En el 98% de las muestras examinadas durante el año, cuando se trata de grandes sistemas de abastecimiento y se examinan suficientes muestras.</p> <p>Ocasionalmente en alguna muestra, pero no en muestras consecutivas.</p>

* UNT = Unidades de Turbidez Nefelométrica.

CUADRO 3.1 REQUISITOS DE CALIDAD BIOLÓGICA Y MICROBIOLÓGICA PARA AGUAS DE CONSUMO HUMANO (CONTINUACION).

TIPO DE AGUA	UNIDAD	VALOR GUIA	OBSERVACIONES
A.3 Agua en el sistema de distribución			
Bacterias Coliformes Fecales.	NMP /100 ml.	0	En el 95% de las muestras examinadas durante el año, cuando se trata de grandes sistemas de abastecimiento y se examinan suficientes muestras.
Bacterias Coliformes Totales	NMP /100 ml.	3	Ocasionalmente en algunas muestra, pero no en muestras consecutivas.
B. Agua no distribuida por tuberías.			
Bacterias Coliformes Fecales.	NMP/100 ml.	0	No debe ocurrir en forma repetida; cuando el hecho sea frecuente y no se pueda mejorar la protección sanitaria, si es posible se deberá buscar otra fuente.
Bacterias Coliformes Totales.	NMP/100 ml.	10	
C. Agua embotellada.			
Bacterias Coliformes Fecales.	NMP/100 ml.	0	La fuente debe de estar exenta de contaminación fecal.
Bacterias Coliformes Totales.	NMP/100 ml	0	
D. Abastecimiento de agua en situaciones de emergencia.			
Bacterias Coliformes Fecales.	NMP/100 ml.	no se ha fijado	Aconseje al público hervir el agua cuando el agua no se ajusta a los valores.
Bacterias Coliformes Totales.	NMP/100 ml.		
Enterovirus			
2. Calidad biológica			
Protozoarios (patógenos).		no se ha fijado	
Helminfos (patógenos).		no se ha fijado	
Organismos de vida libre (algas, otros)		no se ha fijado	

* UNT = Unidades de Turbidez Nefelométrica.

FUENTE: Organización Panamericana de la Salud, 1988.
 "GUIAS PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE".
 Publicación Científica N° 481.

CUADRO 3.2 COMPONENTES INORGANICOS PRESENTES EN EL AGUA QUE INFLUYEN EN LA SALUD HUMANA.

COMPONENTE	UNIDAD	VALOR GUIA	OBSERVACIONES
Arsénico	mg/L	0.05	
Amianto	-	no se ha fijado	
Bario	-	no se ha fijado	
Berilio	-	no se ha fijado	
Cadmio	mg/L	0.005	
Cianuro	mg/L	0.1	
Cromo	mg/L	0.05	
Dureza	-	no se ha fijado un valor guía en relación con la salud.	
Fluoruros	mg/L	1.5	De origen natural o agregado deliberadamente; puede ser necesaria una adaptación por las condiciones o el clima locales.
Mercurio	mg/L	0.001	
Niquel	-	no se ha fijado	
Nitratos	mg/L	10	Expresado como nitrógeno.
Nitritos	-	no se ha fijado	
Plata	-	no se ha fijado	
Plomo	mg/L	0.05	
Selenio	mg/L	0.01	
Sodio	-	no se ha fijado	

FUENTE: Organización Panamericana de la Salud, 1988.
 "GUIAS PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE".
 Publicación científica N° 481.

CUADRO 3.3 COMPONENTES ORGANICOS CONTENIDOS EN EL AGUA QUE AFECTAN LA SALUD HUMANA.

COMPONENTE	UNIDAD	VALOR GUIA	OBSERVACIONES	
Aldrin y Dieldrin	µg/L	0.03	La concentración que señala el nivel umbral de percepción del olor oscila entre 1,0 y 3 µg/L.	
Benceno	µg/L	10		
Benzo(a) pireno	µg/L	0,01		
Clordano	µg/L	0,3		
Clorobencenos	µg/L	no se han fijado valores en relación con la salud.		
Clorofenoles	µg/L	No se han fijado valores guía en relación con la salud.	La concentración que marca el nivel umbral de percepción del olor es de 0.1 µg/L.	
Cloroformo	µg/L	30	La eficacia de la desinfección no debe resultar comprometida cuando se regula el contenido de cloroformo.	
DDT	µg/L	1		
1,2 dicloroetano	µg/L	10	Valor guía provisional.	
1,1 dicloroetano	µg/L	0,7		
Heptacloro y Heptacloropóxido.	µg/L	0,1		
Hexaclorobenceno	µg/L	0,01		
Gamma-HHC(Lindano)	µg/L	3		
Metoxicloro	µg/L	30		
Pentaclorofenol	µg/L	10		
Tetracloroetano	µg/L	10		
Tetracloruro de Carbono	µg/L	3		
Tricloroetano	µg/L	30		
2,4,6-tricloro-fenol	µg/L	10		
Trihalometanos		no se ha fijado		Valor guía provisional. Valor guía provisional. La concentración que señala el nivel umbral de percepción del olor es de 0,1 µg/L. Véase el cloroformo

FUENTE: Organización Panamericana de la Salud, 1988.
 "GUIAS PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE".
 Publicación científica N° 481

CUADRO 3.4 PARAMETROS DE CALIDAD ORGANOLEPTICA PARA AGUAS DE CONSUMO HUMANO.

COMPONENTE	UNIDAD	VALOR GUIA	OBSERVACIONES
Acido sulfhídrico	-	No detectable por los consumidores.	
Aluminio	mg/L	0,2	
Cloruros	mg/L	250	
Clorobencenos y clorofenoles	-	No se han fijado	Estos compuestos pueden influir en el sabor y el olor
Cobre	mg/L	1,0	
Color *	UCV	15	
Detergentes	-	No se han fijado	No debe producirse espuma ni problemas de sabor y olor. Expresado como CaCO ₃
Dureza	mg/L	500	
Hierro	mg/L	0,3	
Manganeso	mg/L	0,1	
Oxígeno disuelto	-	No se ha fijado	
pH	-	6,5 a 8,5	
Sabor y olor	-	Aceptables para la mayoría de los consumidores	
Sodio	mg/L	200	
Sulfatos	mg/L	400	
Temperatura		No se ha fijado	
Total de sólidos disueltos	mg/L	1 000	
Turbiedad	UNT	5	Es preferible un valor < 1 para la eficacia de la desinfección
Zinc	mg/L	5,0	

* UCV = Unidades de Color Verdadero

FUENTE: Organización Panamericana de la Salud, 1988.

"GUIAS PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE".

Publicación Científica N° 481.

Muchos de los elementos que se evalúan a nivel fisicoquímico son de carácter estético ya que si bien no inciden grandemente en la salud si en las características organolépticas (sabor y olor) y en la apariencia (color y turbidez), que pueden señalar la presencia de concentraciones anormales de aluminio, hierro, manganeso o quizá una deficiencia de oxígeno disuelto o un desarrollo microbiano excesivo.

En el Cuadro 3.5 se muestran algunos valores guías para 15 de

los agentes que influyen en la apariencia del agua recomendados por la Organización Panamericana de la Salud (OPS).

CUADRO 3.5 VALORES GUIAS DE LOS AGENTES QUE INFLUYEN EN LA APARIENCIA DEL AGUA.

COMPONENTE O CARACTERISTICA	VALOR GUIA
Acido sulfhídrico	Detectable por el consumidor (mal olor)
Aluminio	0.2 mg/L
Cloruros	250 mg/L
Cobre	1.0 mg/L
Color	15 Unidades de color verdadero
Dureza	500 mg/L Expresado como CaCO ₃
Hierro	0.3 mg/L
Manganeso	0.1 mg/L
pH	6.5 a 8.5
Sabor y olor	No desagradable
Sodio	200 mg/L
Sulfatos	400 mg SO ₄ ⁻ /L
Total de sólidos en disolución	1000 mg/L
Turbiedad	5 UTN
Zinc	5.0 mg/L

FUENTE: Organización Panamericana de la Salud, 1985

"GUIAS PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE".

Publicación Científica N° 481.

3.1.2 COMENTARIOS DE LOS VALORES GUIAS RECOMENDADOS POR LA ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS, 1988).

a) Aluminio

Si bien la ingestión de aluminio no parece por lo general causar efectos nocivos para la salud de individuos normales, la presencia de esos compuestos en el agua utilizada para la diálisis renal se ha asociado con trastornos neurológicos en los pacientes. Está muy difundido el empleo de compuestos de aluminio para el tratamiento de agua y cuando persisten en el agua distribuida, en concentraciones superiores a 0.1 mg/L, se observa cierta coloración. Como valor intermedio, se ha propuesto un valor guía de 0.2 mg/L.

b) Cloruro

Las concentraciones elevadas de cloruros dan un sabor desagradable al agua y bebidas. Los umbrales de sabor en el caso de los cloruros de sodio, potasio y calcio, se encuentran en la escala de concentraciones de iones cloruros de 200 a 300 mg/L. Las concentraciones altas de cloruros corroen las tuberías de distribución, en especial en aguas de escasa alcalinidad. El tratamiento ordinario no elimina el cloruro existente en el agua.

c) Color

La coloración del agua potable puede ser resultado de la presencia de materia orgánica coloreada, metales como el hierro y el manganeso, o desechos industriales de color intenso.

El valor guía es de 15 unidades de color verdadero (UCV), ya que la mayoría de las personas pueden detectar en un vaso de agua grados de coloración superiores a 15 UCV.

d) Cobre

El cobre es un elemento esencial para el metabolismo del hombre y generalmente se considera no tóxico en las concentraciones encontradas en el agua potable; pero su presencia en el sistema de abastecimiento es un problema potencial, ya que aumenta la corrosión de las conexiones de hierro y acero galvanizado. Cuando la concentración es mayor de 6 mg/L colorea el agua y le da un sabor amargo desagradable. Cuando la concentración es mayor de 1.0 mg/L tiñe la ropa de lavado.

Teniendo en cuenta la propiedad de teñir la ropa, se ha fijado el valor guía para el cobre de 1.0 mg/L.

e) Dureza

La dureza es causada por iones metálicos polivalentes disueltos, principalmente calcio y, en menor grado, magnesio; a menudo se expresa como la cantidad equivalente de carbonato de calcio (CaCO_3).

El nivel umbral de sabor para el ión calcio, está en la escala de 100 a 300 mg/L, según el anión asociado.

Como se propone un valor guía para la dureza total, no se indican concentraciones independientes para el calcio y el magnesio. Este último asociado con el ión sulfato, suele tener propiedades laxantes; pero el organismo del hombre puede adaptarse a éste efecto con el tiempo.

De acuerdo con la interacción de otros factores, como el pH y la alcalinidad, el agua con una dureza superior a 200 mg/ puede provocar la aparición de incrustaciones en el sistema de distribución, que aumentará el consumo de jabón y causarán la consiguiente formación de "escoria". Las aguas duras tienden a formar depósitos de incrustaciones al ser calentadas. Por otra parte, el agua blanda, con una dureza inferior a 100

mg/L, puede tener escasa capacidad amortiguadora y ser así más corrosiva para las cañerías.

El valor guía para la dureza, 500 mg/L (como CaCO_3) se basa en condiciones relacionadas con el sabor y la utilización doméstica.

f) Turbiedad

Un alto grado de turbiedad puede proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección y estimular el desarrollo de bacterias. En consecuencia, en todos los casos en que se desinfecta el agua, la turbiedad debe ser escasa (Preferiblemente inferior a 1 UTN para que el procedimiento resulte eficaz; el valor guía es de 5 UTN).

Como se habrá notado anteriormente en los valores guías recomendados por la OPS, se asume que las fuentes de agua no se encuentran contaminadas por residuos industriales y se toma como principal criterio, la concentración arriba de la cual el sabor del elemento analizado es perceptible por el color, olor o sabor del agua en cuestión.

g) Hierro

Si bien el hierro es esencial para la nutrición del hombre, no se considera que el agua potable sea una fuente importante de ese elemento. En concentraciones de unos 0.3 mg/L el hierro mancha la ropa de lavado, las instalaciones de tubería y da un sabor desagradable a las bebidas. La presencia de hierro en concentraciones mayores a 0.3 mg/L suele provocar la formación de incrustación en las tuberías y cuando también hay aluminio, causa problemas de suciedad en el agua.

Como se emplean mucho los compuestos de hierro para el tratamiento del agua, se selecciona un valor guía para el hierro de 0.3 mg/L como valor promedio.

h) Manganeso

El manganeso, en concentración mayor a 0.15 mg/L mancha las instalaciones y la ropa del lavado. Cuando las concentraciones son aún mayores, da un sabor desagradable a las bebidas. Aún en concentración de 0.05 mg/L, el manganeso forma un precipitado negro.

Teniendo en cuenta la propiedad de teñir que tiene el manganeso, se ha establecido un valor guía de 0.1 mg/L.

i) Sodio

Las concentraciones de sodio en el agua dependen de las condiciones hidrogeológicas, la estación del año y las actividades industriales. Normalmente son inferiores a 50 mg/L, pero pueden aumentar durante el tratamiento, en particular cuando se ablanda el agua. Las concentraciones elevadas pueden estar relacionadas con suelos salinos y en algunos casos se han reportado concentraciones hasta de 1,000 mg/L. La concentración que constituye el nivel umbral de sabor del sodio en el agua depende del anión asociado y de la temperatura de la solución. A la temperatura ambiente el nivel umbral del sabor de sodio en las sales que comunmente se encuentran en el agua potable, es de alrededor de 200 mg/L.

j) Total de Sólidos en Disolución (TSD)

El total de sólidos en disolución está constituido fundamentalmente por sustancias inorgánicas. Las principales son el calcio, el magnesio, el sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos. Un aspecto importante del TSD con respecto a la calidad del agua potable es su efecto sobre el sabor.

Por lo general, se considera que el sabor del agua es bueno cuando la concentración del TSD es inferior a 600 mg/L, mientras que concentraciones superiores a 1,200 mg/L dan al agua un sabor cada vez más desagradable.

Sobre la base de sabor. Se ha establecido un valor guía de 1,000 mg/L.

k) Sulfatos

La ingestión de agua que contenga concentraciones elevadas de sulfatos puede tener un efecto laxante, que se intensifica cuando el sulfato va acompañado de magnesio. Además suele aumentar la corrosión de los metales cuando son elevadas las concentraciones de sulfato.

Los sulfatos no se eliminan en ninguno de los procesos comunes de tratamiento y los niveles umbrales de sabor varían según el catión asociado y están en la escala de 200 a 500 mg/L (ión sulfato).

Sobre la base del sabor se ha establecido un valor guía de 400 mg/L para los sulfatos existentes en el agua potable.

l) Sabor y Olor

El agua potable debe de carecer de olor y sabor. La presencia de olor en el agua obedece fundamentalmente a la presencia de sustancias orgánicas, aumento de actividad biológica y contaminación industrial; en todo caso si se detecta sabor y olor se debe investigar la causa de éstos para una pronta corrección.

m) Nitratos

El nitrógeno se presenta en el agua en varias formas, dependiendo del nivel de oxidación, pero el nitrato, que es el estado completamente oxidado del nitrógeno, es la forma principal que se observa en la mayor parte de las aguas naturales. El contenido de nitrato de aguas superficiales exentas de contaminación rara vez llega a 5.0 ppm y, a menudo es menor de 1.0 ppm. Sin embargo, en las aguas del subsuelo la concentración puede variar de 0 a casi 1000 ppm. Afecta al

concentración puede variar de 0 a casi 1000 ppm. Afecta al contenido de nitrato de las aguas el carácter de la cubierta vegetal del suelo, el uso de fertilizantes nitrogenados para el mejoramiento de los suelos, las descargas de las aguas negras y de otros desechos en los ríos y corrientes.

Atendiendo a las incertidumbres relacionadas con la presencia de nitratos en el agua de bebida, se ha fijado un límite de concentración de 45.0 ppm, mas allá del cual no se debe permitir su presencia.

No se cuenta con un método aislado y económico para eliminar el exceso de nitrato del agua y, por lo tanto, en aquellas zonas donde se conoce que las aguas superan ese límite se debe advertir al público del peligro potencial del empleo de aguas con alto contenido de nitrato en la alimentación de los recién nacidos (Arthur y Miller, 1968).

3.1.3 VALORES GUIAS RECOMENDADOS POR EL INSTITUTO CENTRO-AMERICANO DE INVESTIGACION Y TECNOLOGIA INDUSTRIAL.

El Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI) ha definido límites para las concentraciones de algunos elementos fisicoquímicos bajo los siguientes criterios:

Límite Máximo Aceptable (LMA). Es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba del cual el agua pasa a ser rechazable por los consumidores, desde el punto de vista sensorial, pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.

Límite Máximo Permisible (LMP). Es el valor de concentración de cualquier característica del agua, arriba del cual el agua no es adecuada para el consumo humano.

CUADRO 3.6 NORMAS DE CALIDAD PARA AGUA POTABLE ESTABLECIDAS POR EL ICAITI.

ICAITI	LMA**	LMP***
COLOR *	5.0	50.0
OLOR	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE
pH, UNIDADES	7.0 a 8.5	6.5 a 9.2
RESIDUOS TOTALES, mg/L	500.0	1500.0
TEMPERATURA °C	18.0 A 20°c	NO MAYOR DE 34.0°c
SABOR	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE
TURBIEDAD, UNIDADES JACK-SON	5.0	25.0
BORO (B), mg/L	-	1.000
CALCIO (Ca), mg/L	75	200
CLORUROS (Cl ⁻)mg/L	200	600
COBRE (Cu ⁺⁺), mg/L	0.05	1.500
DUREZA TOTAL (CaCO ₃),mg/L	100	500
FLUORURO (F ⁻)(27°C a 32°C), mg/L	-	1.700
HIERRO TOTAL (Fe) mg/L	0.100	1.000
MAGNESIO (Mg) mg/L	50	150
MANGANESO (Mn) mg/L	0.05	0.500
SULFATOS (SO ₄ ⁻) mg/L	200	400
ZINC (Zn), mg/L)	5	15

* Unidades de color en la escala Platino - Cobalto.

** LMA: Límite Máximo Aceptable.

*** LMP: Límite Máximo Permisible.

(ICAITI, 1985).

3.1.4 VALORES GUIAS RECOMENDADOS POR EL MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL DE EL SALVADOR.

Debido a que no es remoto que muchas fuentes de agua natural presenten concentraciones arriba de los valores guía recomendados por la OPS, causados probablemente por algún tipo de contaminación industrial ó doméstica; cada país establece valores límites de concentración que tienen como base el prevenir la intoxicación o envenenamiento del organismo humano.

El Ministerio de Salud pública y Asistencia Social de El Salvador establece los valores límites, para elementos inorgánicos, bajo los cuales el agua se considera potable.

Dichos valores se encuentran resumidos en el Cuadro 3.7

CUADRO 3.7 VALORES GUIAS PARA ELEMENTOS INORGANICOS ESTABLECIDOS POR EL MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL DE EL SALVADOR BAJO LOS CUALES EL AGUA SE CONSIDERA POTABLE.

DETERMINACION FISICOQUIMICA	NORMA
pH	6.5 a 9.2
Turbiedad (Unidades Jackson)	No más de 10
Color Real (Unidades Apha)	No más de 20
Sólidos disueltos totales	No más de 560 ppm (560-100 ppm)
Calcio (Ca)	No más de 75 ppm
Magnesio (Mg)	No más de 125 ppm
Hierro (Fe) Total	No más de 0.3 ppm
Manganeso (Mn) Total	No más de 0.05 ppm
Hierro + Manganeso	No más de 0.3 ppm
Sulfatos (SO ₄ ⁻)	No más de 250 ppm
Cloruros (Cl ⁻)	No más de 250 ppm
Fluoruros (F ⁻)	No más de 1.4 ppm (27 a 32°C)
Nitratos (NO ₃ ⁻)	No más de 44.3 ppm

FUENTE: Calderón y Cruz Monge, (1994)
 "Normas de Calidad de Agua y Control de Vertidos"
 Editado por OPS, El Salvador.

3.2 CALIDAD BACTERIOLOGICA DEL AGUA (Repetto, 1993).

En los sistemas de abastecimientos de agua es importante hacer un estudio bacteriológico completo, con recuento de colonias microbianas en medios no selectivos y búsqueda de estreptococos fecales, así como bacterias coliformes y de Escherichia coli. En circunstancias especiales pueden estar indicados otros análisis como, por ejemplo, los necesarios para identificar bacterias patógenas.

3.2.1 ORGANISMOS INDICADORES DE CONTAMINACION.

El mayor peligro que puede presentarse en el agua de consumo está en la posibilidad de que recientemente se haya contaminado por aguas residuales o por excretas humanas, o incluso por excretas de origen animal. Si la contaminación ha sido lo suficientemente reciente y a ella han contribuido enfermos o portadores de bacterias de enfermedades infecciosas como las infecciones intestinales o la disentería, esos organismos patógenos pueden hallarse vivos en el agua, y el consumo de ésta provocar nuevos casos de enfermedad.

Cuando en las excretas o en las aguas residuales hay bacterias patógenas, su número es casi siempre muy inferior al de los microorganismos fecales normales, que son más fáciles de reconocer en el agua, de manera que de la carencia de estos últimos en la muestra puede inferirse la ausencia de las bacterias patógenas; por eso, el empleo de las bacterias fecales normales como indicadores de la contaminación fecal aporta un margen de seguridad.

Los microorganismos que se usan más corrientemente como indicadores de la contaminación son Escherichia coli y todo el grupo coliforme. El origen fecal de Escherichia coli no ofrece duda; pero, en cambio, se ha discutido mucho la significación precisa de la presencia en el agua de los demás miembros del grupo coliforme. Todas las bacterias coliformes pueden tener origen fecal y, por consiguiente, a su presencia en el agua se le dará siempre la peor interpretación posible; así, pues, desde un punto de vista práctico se partirá del principio de que todos ellos son de origen fecal a menos que pueda demostrarse una procedencia distinta. Todas las bacterias del grupo coliforme son ajenos al agua y se considerará que su presencia en ésta indica, al menos, una contaminación en su sentido más amplio.

3.2.2 CONTENIDO TOTAL DE MICROORGANISMOS.

En el análisis bacteriológico del agua se recurre con bastante frecuencia al recuento de colonias en agar ordinario a 37°C y a 20°C. El recuento de colonias por sí solo no permite determinar bien una contaminación fecal porque se extiende a las bacterias de todos los tipos que proliferan a esas temperaturas, pero una serie de recuentos practicada, por ejemplo, en muestras de un pozo profundo o de un manantial tiene el interés de acusar un aumento repentino en el número de bacterias, que a veces es el primer indicio de una contaminación.

Un solo recuento de colonias rara vez es útil y, en el caso de aguas de superficie sin tratar, incluso una serie de recuentos de colonias tiene escaso interés por las grandes variaciones que pueden observarse, debidas, por ejemplo, a cambios de condiciones climáticas o la diversidad de uso del agua.

3.2.3 BACTERIAS COLIFORMES TOTALES

Este parámetro muestra la cantidad de bacterias coliformes totales presentes, en los cuales están incluidos los Bacterium coli, llamados también Escherichia coli. Esta bacteria tiene la forma de un bastón, y de aproximadamente 2 micras y tiene un diámetro de una micra. Su presencia es debida, en el caso de aguas superficiales, a la llegada de aguas negras y, en el caso de aguas subterráneas, a infiltración de las mismas a través del suelo, y a infiltración de líquido percolado de basureros y fosas sépticas.

Su presencia indica también una contaminación muy reciente o efectuada en el acto, por lo que se debe proceder inmediatamente a una desinfección del agua.

Existen dos tipos de pruebas: la primera se basa en la capacidad de Escherichia coli de fermentar el caldo lactosado. Según las técnicas utilizadas, el resultado estará expresado en NMP/100 ml (número más probable) o CFM/100 ml (Conteo por Filtración en Membrana). El primero es un número obtenido estadísticamente sobre una serie de ensayos y el segundo, con la técnica de filtros de membranas. Ambas representan los números de coliformes en 100 ml de muestra, la segunda prueba es para la confirmación de la primera y es efectuada en un medio de cultivo sólido. Con este segundo análisis normalmente se pueden distinguir varios tipos de coliformes, tanto de origen ambiental como de origen fecal o a la diversidad del uso del agua.

3.2.4 BACTERIAS COLIFORMES FECALES.

Están siempre presentes en las heces y, por tanto, constituyen un análisis de confirmación de contaminación en aguas, en las que habiéndose encontrado coliformes totales, no se consigue confirmar la presencia de Escherichia coli. En efecto, si se encuentran estos microorganismos, significa que el agua está, sin lugar a dudas, en contacto con materias fecales en el momento de la toma de la muestra porque estos organismos son poco resistentes en el agua. Esto implica que si la contaminación termina no se conseguirá individualizarlos después de poco tiempo.

La formación de gas en el caldo lactosado no indica necesariamente la presencia de bacterias coliformes, por que pueden estar presentes otras bacterias que hayan fermentado la lactosa, si se pasa una parte del medio de los tubos con caldo lactosado en que se han formado gas al caldo biliar con verde bilis brillante, y cualquier gas que aparezca en los tubos será una indicación de que la muestra contiene microorganismos del grupo coliforme.

En la técnica de el número más probable se hace inoculación en

caldo verde bilis brillante o caldo Escherichia coli, se incuba durante 24 a 48 horas a temperatura de $44.0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5$, el resultado se expresa en número de coliformes fecales en 100 ml . El agua de uso potable debe tener ausencia de coliformes fecales, siendo consentido un contenido máximo de 1 bacteria por 100 ml.

CAPITULO IV

TEORIA DE FILTRACION LENTA EN LECHO DE ARENA

El empleo de filtros lentos de arena es un excelente método de tratamiento para los abastecimientos de agua en las zonas rurales, pues permite obtener resultados satisfactorios y su funcionamiento y conservación no exigen una preparación especializada. Sin embargo, la turbidez no debe exceder de ciertos límites (no mayor de 10 UNT), (Wagner y Lanoix, 1961).

El filtro de arena doméstico, de no manejarse con pericia, no es muy eficaz contra las bacterias; sin embargo, retiene los quistes, huevos, cercarias y organismos análogos relativamente grandes, así como la mayor parte de partículas gruesas y visibles en suspensión, aunque deja pasar cierta turbidez.

Los filtros de arena se obstruyen a menudo parcialmente con materia orgánica, lo que en ciertas condiciones se traduce en el desarrollo de bacterias en el filtro (Wagner y Lanoix, 1961).

La remoción total de impurezas se lleva a cabo de varias formas (mecanismos de transporte, fijación, purificación), dependiendo de las circunstancias. Entre los factores que se deben tomar en cuenta se encuentran la calidad del agua cruda, la naturaleza y composición del medio filtrante, y las velocidades de filtración así como la duración de los ciclos de los filtros.

Al principio de un ciclo, los filtros de grano fino no estratificados, actúan primordialmente como coladores. Los filtros lentos de arena generalmente acumulan la mayor parte de las impurezas en la superficie de la arena y en la capa superior (Fair y Okun, 1979).

4.1 PRINCIPIO DE FILTRACION LENTA EN LECHO DE ARENA

La filtración lenta es un proceso de purificación del agua que consiste en hacerla pasar a través del lecho poroso de un medio filtrante. Durante este paso, la calidad del agua se mejora considerablemente por reducción del número de microorganismos (bacterias, virus, quistes), eliminación de materia en suspensión y materia coloidal, y disminución de la turbidez, (American Water Works Associaton , A.W.W.A. 1988).

Los filtros lentos trabajan por gravedad debido a una carga hidrostática. El medio filtrante es un lecho de partículas finas por donde pasa el agua, y quedan retenidas las bacterias, por el efecto de adherencia de éstos a las partículas sólidas que encuentran a su paso, creando de esa manera una capa mucho más fina, la que se encarga de retener los nuevos microorganismos que llegan al lecho (CEPIS, 1978).

En principio, el material poroso del lecho filtrante puede ser cualquier material estable, pero en el campo de abastecimiento de agua potable de uso doméstico, la práctica normal es usar lechos de material granular; en particular, se usa arena por ser barata, inerte, durable, ampliamente disponible y por dar excelentes resultados (A.W.W.A., 1988).

Todo medio filtrante debe poseer las características siguientes (McCabe y Smith, 1981):

- a) Retener los sólidos que han de filtrarse, dando un filtrado suficientemente claro.
- b) No debe obstruirse o cegarse fácilmente.
- c) Ser químicamente inerte y tener suficiente consistencia física para resistir las condiciones del proceso.

- d) Permitir la descarga limpia y completa de la torta formada.
- e) No tener costos elevados.

4.2 FUNCIONAMIENTO DEL FILTRO LENTO DE LECHO DE ARENA

El filtro lento actúa en cierta forma como diminutas cajas de sedimentación y por la baja velocidad con que pasa el agua a través de los granos del lecho filtrante y la pequeña dimensión de los poros, las partículas van siendo atraídas hacia alrededor de los granos, formándose además entre los espacios libres una película gelatinosa que es la que realmente retiene las sustancias en suspensión; a medida que el tiempo va pasando, los granos de arena se van recubriendo de una película formada por extensos cultivos microbiológicos derivados en primer lugar del agua alimentada, que no sólo se encuentran en la superficie, sino que van bajando cubriendo los poros de los granos (CEPIS, 1978).

Esta película gelatinosa y delgada se denomina de varias formas: capa, película o membrana biológica, capa sucia o Schmutzdecke (*), zooglea y es en ella donde se llevan a cabo los procesos biológicos que mejoran la calidad bacteriológica del agua sin tratamiento. La actividad biológica es tan intensa que es capaz de modificar ciertas formas de la materia orgánica, eliminando en cierta proporción hasta el color del agua y sabor (CEPIS, 1978).

La película retiene materia en suspensión de las aguas, y los microorganismos que la conforman se alimentan de todas las impurezas que quedan atrapadas, desdoblando de esta forma la mate-

* Schmutzdecke, proviene del idioma Alemán, Schmutz = capa;
decke = sucia

ria orgánica degradable, incluyendo virus y bacterias de origen fecal, los cuales son descompuestos hasta anhídrido carbónico, agua y sales inorgánicas inócuas. Esta actividad disminuye al aumentar la profundidad del lecho, conforme se purifica el agua y ésta contiene menos materia orgánica y nutrientes. A mayor profundidad dentro del lecho filtrante, los productos de los procesos biológicos continúan eliminándose por procesos físicos (adsorción) y acción química (oxidación). Todos estos mecanismos de transporte, fijación y purificación se llevan a cabo en el filtro siempre que el agua tenga un tiempo de residencia o retención suficiente en el lecho filtrante (CEPIS, 1978).

Para que se forme la película biológica, un filtro lento debe trabajar varios días, antes de que pueda utilizarse el agua filtrada, por lo general el tiempo es de 10 a 20 días si el filtro es nuevo y 1 a 2 días para los que están en uso. El tiempo necesario para que se forme la película biológica se le denomina maduración. Hasta que un filtro se madure, puede proporcionar agua de buena calidad (CEPIS, 1978).

4.3 FACTORES QUE INCIDEN EN LA PRODUCTIVIDAD DE LOS FILTROS LENTOS DE LECHO DE ARENA.

El efecto de los procesos de purificación sobre la calidad del agua depende de muchos factores, tales como la calidad del agua cruda, la velocidad de filtración, la temperatura y el contenido de oxígeno del agua. En condiciones normales de funcionamiento, el rendimiento promedio de filtros lentos de lecho de arena, en lo que se refiere a la eliminación de ciertas impurezas, se resume en el Cuadro 4.1.

CUADRO 4.1 PRODUCTIVIDAD DE LOS FILTROS LENTOS DE LECHO DE ARENA EN CONDICIONES NORMALES DE FUNCIONAMIENTO.

PARAMETRO	EFEECTO PURIFICADOR
Materia Orgánica	Los filtros lentos de arena producen un efluente claro, virtualmente libre de materia orgánica.
Bacterias	Puede eliminarse entre el 99% y el 99.99 % de bacterias patógenas; las cercarias de esquistosoma, los quistes y huevos son eliminados aún en mayor grado. <u>Escherichia coli</u> se reduce entre 99% y 99.9%
Virus	En un filtro lento de arena ya maduro los virus se eliminan en forma virtualmente total.
Color	El color se reduce en forma significativa.
Turbiedad	Puede tolerarse en el agua cruda turbiedades de 100-200 UNT (*) sólo por unos pocos días; turbiedades de más de 50 UNT son aceptables sólo por unas pocas semanas; de preferencia, la turbiedad del agua cruda debe ser menor de 10 UNT; para un filtro diseñado y operado con propiedad, la turbiedad del efluente será menor de 1 UNT.

* Unidades de Turbidez Nefelométrica
Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 1978

Las algas pueden aportar una acción positiva al rendimiento de los filtros lentos de arena. Son capaces de fabricar material celular a partir de simples compuestos como agua, anhídrido carbónico, nitratos y fosfatos, produciendo oxígeno, el que a su vez es beneficioso para otros procesos bioquímicos. También pueden consumir materia orgánica y convertirla en material celular biodegradable; su presencia puede mejorar la calidad del schmutzdecke. Por otro lado, un contenido muy alto de algas en el agua sobrenadante puede destruir el adecuado funcionamiento del filtro debido a obstrucciones o a la aparición de condiciones anaeróbicas cuando mueren grandes cantidades de algas, la extracción periódica de algas, o el cubrir los filtros pueden ser buenos métodos para solucionar estos problemas.

Ciertos tipos de algas tienen un efecto perjudicial sobre el rendimiento del filtro, ya sea reduciendo por ejemplo el período de su funcionamiento o produciendo una variación diaria en el consumo de oxígeno y por lo tanto en el contenido del oxígeno del efluente. Esto se explica por el hecho de que durante el día las algas producen más oxígeno del que consumen, pero durante la noche ocurre lo contrario, por lo que, el contenido de oxígeno alcanzará su valor mínimo al amanecer, mientras que su valor máximo ocurrirá al final de la tarde.

4.4 VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL FILTRO LENTO DE LECHO DE ARENA.

4.4.1 VENTAJAS DEL FILTRO LENTO DE LECHO DE ARENA.

El uso del filtro de arena de goteo lento se presenta como una alternativa de solución al problema del consumo de agua contaminada, ya que existe un número de ventajas especiales que permiten su aplicación, entre ellas podemos mencionar:

- a) La sencillez del diseño, construcción y operación que permite la aplicación de materiales y capacidades localmente disponibles, sólo se requieren tuberías y dispositivos comunes y no se necesita de equipo o instrumentación especial.
- b) Si se dispone de suficiente material para el lecho filtrante, el costo de la construcción es relativamente bajo.
- c) Fuera de la desinfección posterior del efluente para seguridad, hasta donde sea conveniente no se necesitan compuestos químicos.
- d) La operación y mantenimiento pueden ser llevados a cabo por mano de obra no especializada.

- e) Pueden aceptarse las fluctuaciones, siempre que la turbidez no se torne excesiva para un largo período.
- f) El filtro necesita poco mantenimiento, por lo general se limpia el visor del tanque de alimentación cada cierto período.

4.4.2 LIMITACIONES DEL FILTRO LENTO DE LECHO DE ARENA.

- a) La turbidez de algunas aguas superficiales puede limitar el rendimiento de los filtros lentos de arena, por lo que deben realizarse con frecuencia análisis al agua alimentada para aplicar algún pretratamiento, ya sea físico como la sedimentación, ó químico como la coagulación, o ambos.
- b) El mantenimiento y control en la operación del filtro por parte de los usuarios influyen en su rendimiento.
- c) Los cambios en la calidad del agua cruda pueden trastornar el rendimiento de los filtros; por ejemplo, un alto contenido de turbidez durante la estación lluviosa, o luego de haber sido dragado el pozo por la escasez de agua.
- d) Los análisis microbiológicos necesarios para determinar la calidad del agua producida por el filtro.

CAPITULO V DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL FILTRO

Antes de la construcción de la unidad de filtración se establecen los parámetros de diseño que incluyen altura de lecho filtrante, altura de agua sobrenadante, diámetro del tubo elegido como carcasa, coeficiente de uniformidad y diámetro efectivo del lecho de arena, altura de capa soporte de grava, el diámetro medio de partícula del lecho de arena y la velocidad de filtración. Se comparan las presiones que interactúan en el punto de cierre para comprobar que el sistema de control de flujo funciona adecuadamente, además se establecen los criterios de selección de materiales de construcción y describen los componentes del filtro.

5.1 DEFINICION DE PARAMETROS DE DISEÑO

Para los parámetros de diseño se toman en consideración las recomendaciones del Capítulo I en lo que concierne a la altura del lecho filtrante, la altura de la cabeza hidrostática y la altura de la capa soporte (Cuadro 5.1). Mientras que los demás valores se procuran que estén dentro de los límites de filtración lenta recomendados por CEPIS (1978).

Se ensaya con un tubo de PVC de 0.152 m (6 pulgadas de diámetro nominal) para obtener un mayor caudal de agua filtrada en comparación del obtenido por Hernandez y Mendoza (1988).

Los parámetros de diseño se resumen en el Cuadro 5.2.

CUADRO 5.1 PARAMETROS DE DISEÑO PARA FILTRACION LENTA.

PARAMETRO	VALOR
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	2 - 5
DIAMETRO EFECTIVO	0.15 - 0.35, mm
VELOCIDAD DE FILTRACION	0.1 - 0.2, m/h

FUENTE: FILTRACION LENTA DE ARENA PARA ABASTECIMIENTO PUBLICO DE AGUA EN PAISES EN DESARROLLO, CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE, No 11.44 (1978).

CUADRO 5.2 PARAMETROS DE DISEÑO USADOS EN LA CONSTRUCCION DE LOS FILTROS LENTOS DE LECHO DE ARENA INSTALADOS EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA DEL MUNICIPIO DE APOPA

PARAMETRO	VALOR
Longitud de la columna de agua y del lecho filtrante	1.1 m <i>1.076m</i>
Diámetro nominal del tubo, (D_2)	0.152 m (6.0 plg) <i>7.64</i>
Altura del Agua sobrenadante, (H_2)	0.500 m <i>0.8m</i>
Altura del lecho filtrante, (H_1)	0.600 m <i>0.46</i>
Altura de la capa soporte, (Grava)	0.070 m <i>0.112</i>
Altura de filtro	1.400 m <i>2.24m</i>
Coefficiente de uniformidad, (C_u)	2.984
Diámetro efectivo, (D_e)	0.106 mm
Diámetro medio de partícula del lecho de arena (D_p)	0.126 mm <i>0.202</i>
Velocidad de filtración recomendada	0.2 m/h <i>0.32 m/h</i>

5.1.1 CALCULO DE LA VELOCIDAD TEORICA DE FILTRACION EN EL MOMENTO DE INSTALACION DEL FILTRO.

Para el cálculo de la velocidad de filtración en el momento de la instalación del filtro se usa la ecuación 5.1 (Valiente, 1990), ésta ecuación relaciona la velocidad con la caída de presión que sufre un fluido al pasar a través de un lecho empacado que tiene un diámetro D_p y una porosidad ϵ en el lecho.

La densidad del agua es función de la cantidad de sólidos totales contenidos y estos se ven afectados por los cambios de turbidez que ocurren a lo largo del período de operación, pero dicha variación es despreciable para cálculos de ingeniería, por lo que se considera como constante e igual al de el agua pura a la temperatura de 28°C.

$$\frac{\Delta p}{\rho} = \frac{f_p (1-\epsilon) H_1 u^2}{\epsilon^3 D_p g_c} \quad \text{Ec. 5.1}$$

Donde:

f_p : Factor de fricción para partículas, que está determinado por el número de Reynolds (N_R); así:

- a) $N_R < 1$ $f_p = 150/N_R$ (flujo laminar).
- b) $N_R > 10000$ $f_p = 150/N_R + 1.75$ (flujo turbulento)
- c) $1 < N_R < 10000$, $f_p = 1.75$ (Zona de transición)

El número de Reynolds esta definido matemáticamente por la ecuación 5.2.

$$N_R = \frac{D_p u \rho}{(1-\epsilon) \mu} \quad \text{Ec. 5.2}$$

Donde:

N_R : Número de Reynolds, definido por la ecuación 5.2.

- ϵ : Porosidad, (Ver sección 5.2.5)
 ρ : Densidad del agua, Kg/m³ (T = 28°C)
 g_c : 1 (kg-m)/(N-s²)
 g : Gravedad standard, m/s²
 D_p : Diámetro de la partícula, m (Sección 5.2.4)
 μ : Viscosidad del agua, Kg/m-s (T = 28°C)
 ΔP : Pérdida de presión debida a la fricción y a la carga hidrostática
 u : velocidad del agua filtrada, m/s
 H_1 : Altura de lecho de arena, m
 H_2 : Altura sobrenadante de agua en el filtro, m.

La caída de presión se determina por la ecuación 5.3.

$$\Delta P = H_1 \rho g + H_2 \rho g \quad \text{Ec. 5.3}$$

Sustituyendo los valores correspondientes en la Ec. 5.3 se obtiene:

$$\begin{aligned} \Delta P &= (0.50 \text{ m} + 0.6 \text{ m}) * 996.514 \text{ kg/m}^3 * 9.81 \text{ m/s}^2 \\ \Delta P &= 10753.383 \text{ N/m}^2 = 1096.1654 \text{ Kgf/m}^2 \end{aligned}$$

Para conocer la velocidad u , de la ecuación 5.1 se necesita establecer el valor de f_p que para este caso se encuentra determinado por el número de Reynolds para flujo laminar.

Sustituyendo la ecuación 5.2 y la ecuación de f_p en la ecuación 5.1 resulta :

$$u = \frac{(\Delta P) D_p^2 \epsilon^3 g_c}{150 (1-\epsilon)^2 \mu H_1} \quad \text{Ec. 5.4}$$

Evaluando la ecuación 5.4 con los siguientes valores

- ϵ : 0.415 (Ver sección 5.2.5)
 ρ : Densidad del agua, 996 Kg/m³ (De tablas de vapor a T=28°C)

$D_p: 1.259 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ (Sección 5.2.4)

$\mu: 8.36 \cdot 10^{-4} \text{ Kg/m-s}$ ($T = 28^\circ\text{C}$)

$P: 10753.383 \text{ N/m}^2$

$H_1: 0.60 \text{ m}$

$H_2: 0.50 \text{ m}$

La velocidad estimada no incluye el efecto de la capa de 7 cm de grava por considerarse despreciable con respecto al efecto de los 60 cm de la capa de arena.

Luego de sustituir y evaluar se tiene:

$$u = 4.74 \times 10^{-4} \text{ m/s} = 1.706 \text{ m/h}$$

Se puede observar que el valor obtenido, no pertenece al rango de operación de filtración lenta (0.1 - 0.2 m/h) por lo tanto la unidad de filtración en el momento de instalación no operará como un filtro lento.

5.1.2 CALCULOS DE LAS FUERZAS EN EL SISTEMA DE CONTROL DE LA ALIMENTACION DEL AGUA AL FILTRO.

Aplicando el Principio de Arquímedes y el Principio de Pascal, se calcularán las presiones que interactúan en el punto de cierre del sistema de control de alimentación. La presión descendente es la suma de la fuerza P , de la columna de agua sobre dicho punto más el peso total, W , del sistema de cierre; la presión ascendente es causada por el empuje E del volumen de agua desplazado por el flotador en el momento de cierre.

En la figura 5.1a se esquematizan los componentes que intervienen en el sistema de cierre y en la figura 5.1b el diagrama de cuerpo libre de las fuerzas que interactúan.

Realizando el análisis de fuerzas, según figura 5.1b tenemos.

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\Sigma F_y = E - P - W$$

Donde:

P = Fuerza ejercida por la presión hidrostática de la columna de agua sobre el punto de cierre.

W = Peso total del sistema de cierre.

E = Empuje.

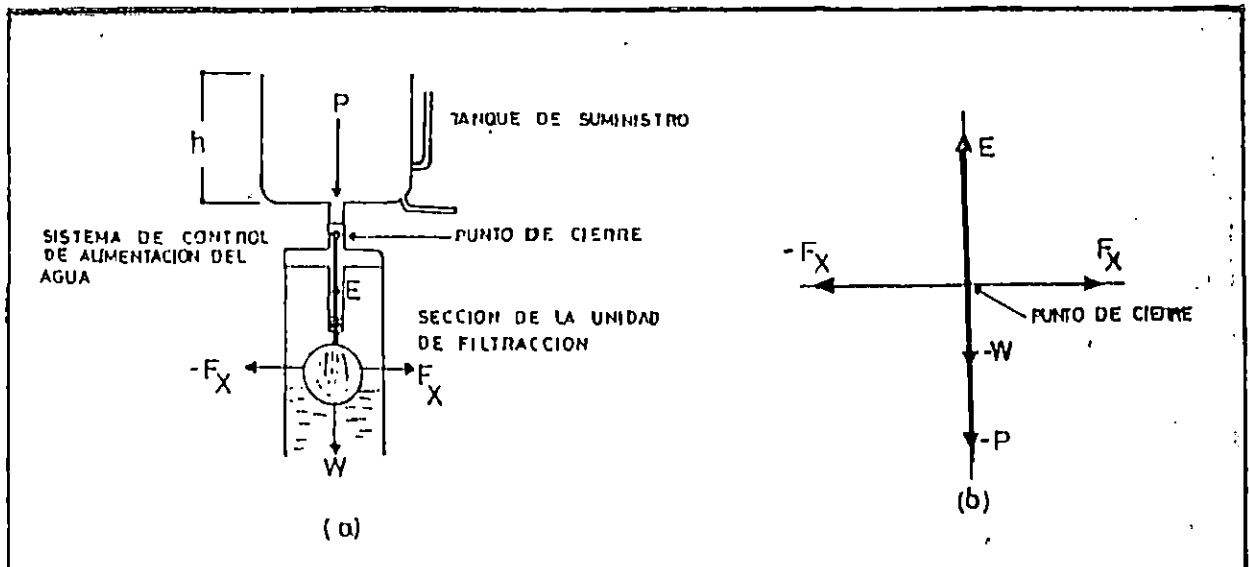


FIGURA 5.1 (a) REPRESENTACION DE FUERZAS EN PUNTO DE CIERRE DEL SISTEMA DE ALIMENTACION AL FILTRO DE ARENA DE GOTEO LENTO; (b) DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE EN EL PUNTO DE CIERRE.

Para que el sistema de cierre funcione, la presión ascendente, que en lo sucesivo se llamará presión de cierre, se simbolizará por P1, debe de ser mayor o igual a la presión descendente(PD).

a) **Calculo de la presión descendente.** Incluye la presión hidrostática de la columna de agua sobre el punto de cierre más la presión del peso total de los componentes del sistema de control de alimentación en el área de cierre.

a.1) **Calculo de la presión hidrostática (PH).** Es la presión de la columna de agua sobre el punto de cierre.

Matemáticamente es igual a:

$$PH = \frac{P}{A_c}$$

Donde

PH : Presión hidrostática sobre el punto de cierre.

P : Peso de la columna de agua sobre el punto de cierre.

Ac : Area de cierre ($5.03 \times 10^{-5} \text{ m}^2$, medido directamente).

También la presión hidrostática es igual a:

$$PH = h g \rho$$

Ec. 5.5

Donde

h : Altura de agua sobre el punto de cierre.

h : 0.945 m (Anexo B.1).

Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación 5.5

$$PH = 0.945 \text{ m} * 996.14 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$PH = 9234.66 \frac{N}{m^2} = 193.42 \frac{lbf}{pie^2} = 1.34 \frac{lbf}{plg^2}$$

- a.2) Cálculo de la presión ejercida por los componentes del sistema de control de alimentación (PC). El peso total, W , del sistema de control de alimentación ejerce una presión descendente sobre el área de cierre y contribuye a la presión descendente total (PD).

Cálculo de peso de material (W). Para encontrar el peso del material (W) se suman los pesos de los componentes indicados en la figura 5.2

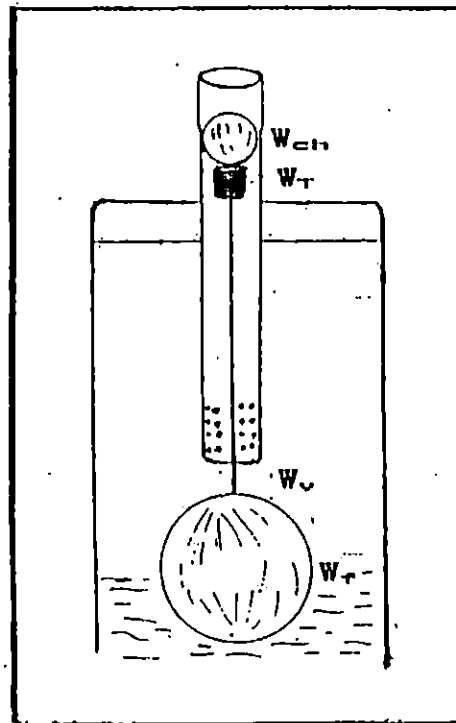


FIGURA 5.2 REPRESENTACION DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL DE ALIMENTACION AL FILTRO DE ARENA DE GOTEO LENTO

Resulta la siguiente ecuación:

$$W = W_{ch} + W_v + W_f + W_T \quad \text{Ec. 5.6}$$

Donde:

W_{ch} = Peso de la chibola de vidrio

W_v = Peso de la varilla

W_f = Peso del flotador

W_T = Peso del tapón de hule

W = Peso total

En los laboratorios de Ingeniería Química de la Universidad de El Salvador se midió la masa del sistema completo, 0.175 Kg. y su equivalente en peso es:

$$W = 0.175\text{Kg} * 9.81\text{m/s}^2.$$

$$W = 1.717 \text{ Newton}$$

Simbolizando la presión descendente del peso de los componentes como PC tenemos:

$$PC = \frac{W}{A_c} = \frac{1.717\text{N}}{5.03 \times 10^{-5} \text{m}^2} = 34135.19 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Por lo tanto la presión descendente total que la simbolizaremos como PD es igual a:

$$PD = PH + PC = 9234.66 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} + 34135.19 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 43369.85 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

- b) Cálculo de la presión ascendente. Es la presión en el área de cierre por el empuje del volumen desplazado por la fracción de flotador sumergido.

El empuje es evaluado mediante la siguiente ecuación:

$$E = V \rho g \quad \text{Ec. 5.7}$$

Donde:

E = Empuje.

V = volumen de agua desplazado; igual al volumen del segmento sumergido del flotador en el agua sobrenadante del filtro.

Para encontrar el volumen del líquido desplazado (V), se consideró que la forma geométrica del flotador es de una esfera y usando la Tabla 1-20 (Anexo G) del manual del Ingeniero Químico (Perry and Chilton, 1983) se calcula la relación del segmento sumergido a diámetro de la esfera:

$$\frac{h_p}{D} = \frac{\text{Segmento de diámetro sumergido, cm}}{\text{Diámetro de la esfera, cm}}$$

Con este parámetro se lee de la tabla la relación de volumen de segmento sumergido a volumen de la esfera:

$$\frac{V}{V_{\text{Esfera}}} = \frac{V_{\text{de Segmento Sumergido}}}{V_{\text{de la Esfera}}}$$

De aquí se despeja el volumen de segmento sumergido.

b.1) Se mide la longitud del sistema de control de cierre del tanque de alimentación cuando este ha cerrado el paso del agua (h_1) como se indica en la figura 5.3.

b.2) Usando el principio de manometría se mide el nivel de agua dentro del filtro, H en la figura 5.3, la resta de la longitud de la carcaza, H_r en la figura 5.3, menos la altura de agua dentro del filtro (H) es igual a la longitud del espacio libre dentro del filtro, h_2 en la Figura 5.3.

b.3) Para calcular la porción sumergida del flotador, h_D bajo el nivel de agua dentro del filtro, se resta la longitud libre, h_2 de la longitud total del sistema de control, h_1 , figura 5.4.

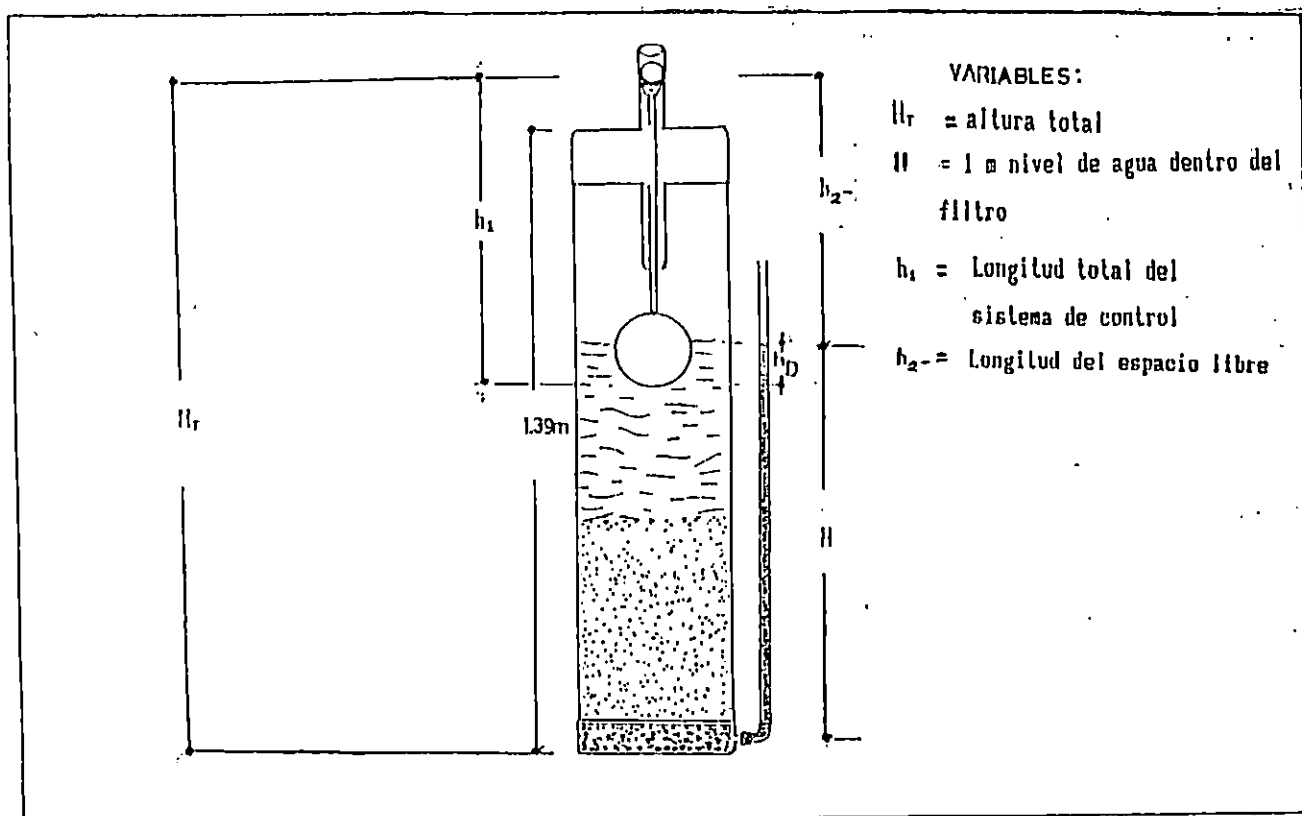


FIGURA 5.3 NIVEL HIDROSTATICO DENTRO DEL FILTRO CUANDO EL GRIFO DE SALIDA DE AGUA ESTA CERRADO Y EL SISTEMA DE CONTROL DE ALIMENTACION NO PERMITE EL PASO DE AGUA AL FILTRO.

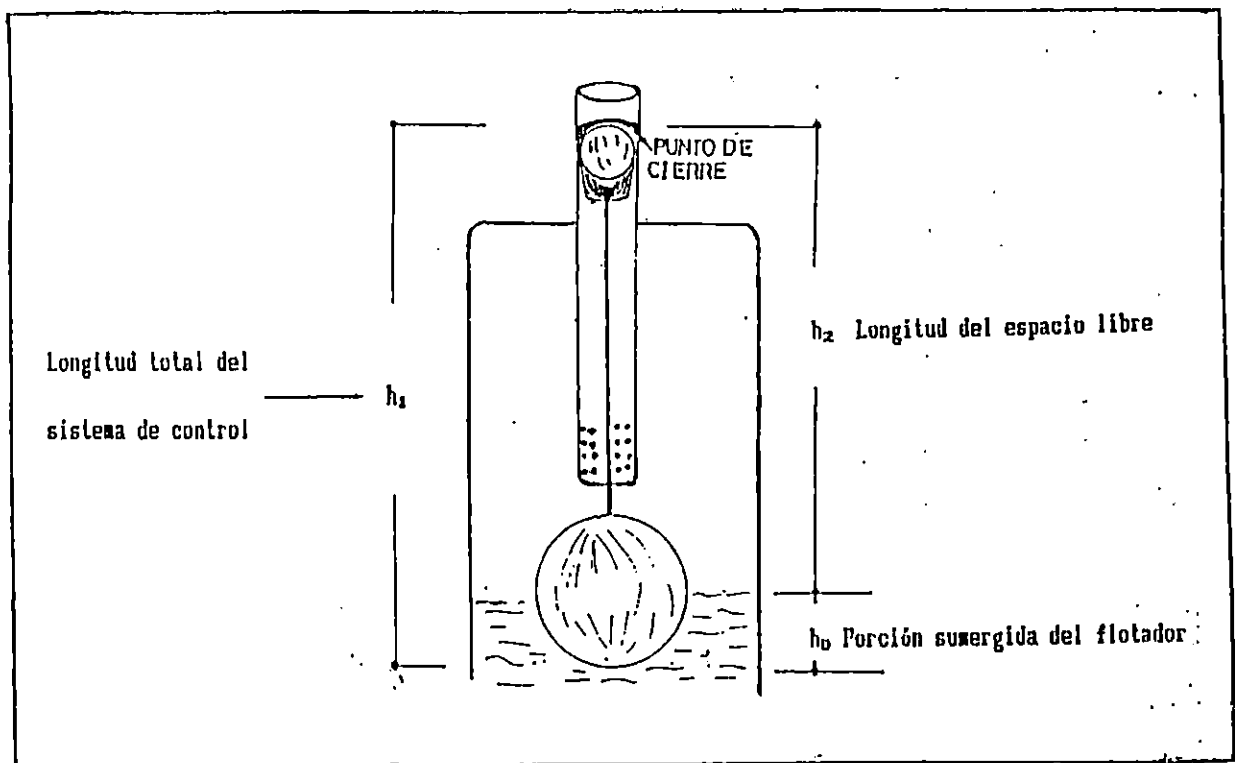


FIGURA 5.4 REPRESENTACION DEL SISTEMA DE CONTROL DE ALIMENTACION DE AGUA AL FILTRO CON PARTE DEL FLOTADOR SUMERGIDO BAJO EL NIVEL DE AGUA.

De la figura 5.4, se deduce la ecuación 5.8, la cual es utilizada para calcular h_D que es la longitud sumergida del flotador dentro del agua del filtro.

$$h_D = h_1 - h_2 \quad 5.8$$

Sustituyendo en la ecuación 5.8 los valores medidos en la unidad de filtración.

$$h_D = 43.3 \text{ cm} - 39.1 \text{ cm}$$

$$h_D = 4.2 \text{ cm} = 0.042 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$\frac{h_D}{D} = \frac{4.2 \text{ cm}}{12.7 \text{ cm}} = 0.33$$

De la tabla 6.1, Anexo G, para la relación $h_D/D = 0.33$ se obtiene:

$$\frac{V}{V_{Esfera}} = \frac{V_{\text{de Segmento Sumergido}}}{V_{\text{de la Esfera}}} = 0.254826 \quad \text{Ec. 5.9}$$

El volumen de la esfera está dado por la ecuación:

$$V_{Esfera} = \frac{4\pi r^3}{3}$$

Evaluando para $r = 6.35 \text{ cm}$

$$V_{Esfera} = 1,072.53 \text{ cm}^3 \quad \text{Ec. 5.10}$$

Despejando el volumen del segmento sumergido de la ecuación 5.9

$$V = 1,072.53 \text{ cm}^3 * 0.254826$$

$$V = 273.31 \text{ cm}^3$$

Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación 5.7 se evalúa el empuje.

$$E = 273.308 \text{ cm}^3 * 0.996 \frac{\text{gI}}{\text{cm}^3} * 981 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} = 267042.687 \frac{\text{gI} \cdot \text{cm}}{\text{s}^2}$$

$$E = 2.681 \text{ Newton}$$

Se simboliza la presión ascendente o de cierre como P1, tenemos:

$$P1 = \frac{\text{Empuje}}{\text{Area de cierre}}$$

$$P1 = \frac{2.67 \text{ N}}{5.03 \times 10^{-5} \text{ m}^2} = 53081.51 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Un análisis de fuerzas como se muestra en la figura 5.5, se deduce que para que el sistema de cierre funcione $P1 \geq PD$, lo cual se cumple al comparar los resultados teóricos obtenidos, ya que:

$$PD = 43639.85 \text{ N/m}^2 \text{ (presión descendente).}$$

$$P1 = 53081.51 \text{ N/m}^2 \text{ (presión de cierre).}$$

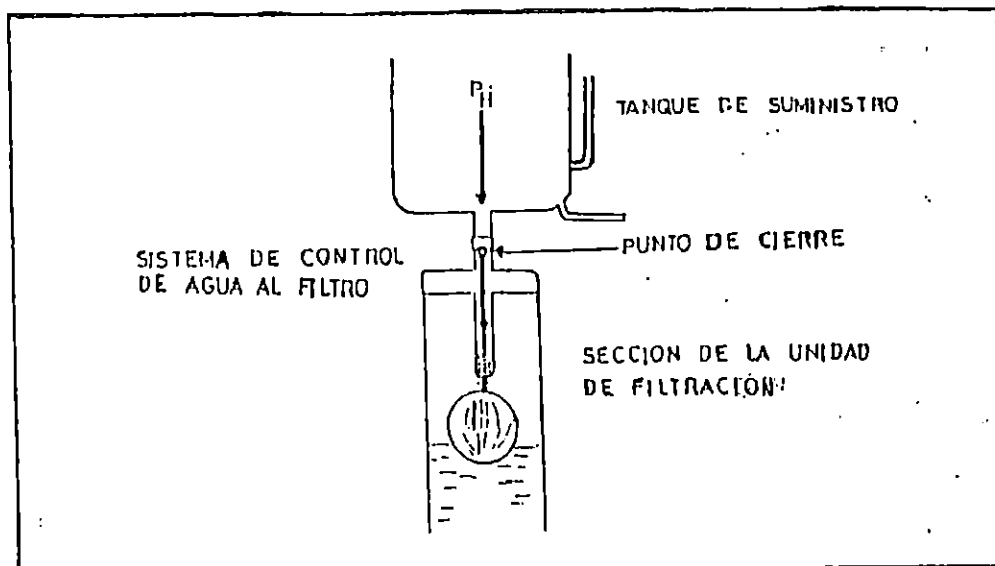


FIGURA 5.5 REPRESENTACION DE LAS PRESIONES QUE INTERACTUAN EN EL PUNTO DE CIERRE DE LOS FILTROS DE ARENA DE GOTEO LENTO INSTALADOS EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA.

5.2 CRITERIO DE DISEÑO MECANICO E HIDRAULICO

La construcción del filtro se lleva a cabo en base a los parámetros presentados en el Cuadro 5.2 (Sección 5.1) y después de una preparación adecuada del medio filtrante. Se considero el aspecto económico, la existencia en el mercado de los materiales, la facilidad en la manipulación de estos materiales y el uso de herramientas y equipos sencillos en el momento de la construcción. Esto se resume en los aspectos siguientes:

- a) Se parte de los parámetros de construcción para el modelo propuesto en el trabajo de graduación titulado "Diseño y

Construcción de un Filtro de Agua para uso Domiciliar en Areas Rurales" (Hernández y Mendoza, 1988), y de las recomendaciones del anteproyecto de Trabajo de Graduación "Construcción de un Filtro Lento Bacteriológico para uso Domiciliar" (Berríos et al, 1991) de los que se establecen los parámetros siguientes:

- a.1) Utilizar un tubo de PVC de 0.152 m de diámetro nominal y 1.39 m de longitud con el propósito de lograr un mayor caudal de agua filtrada.
- a.2) Agregar una pieza al filtro que permita limpiar la capa superior del lecho filtrante cuando disminuya considerablemente la productividad sin necesidad de seccionarlo.
- a.3) Adaptar un sistema de control para mantener la carga hidrostática de 0.5 m, evitando que el agua se derrame.
- b) El material utilizado para lecho filtrante sea durable, de fácil adquisición por su abundancia y bajo costo, disponibilidad en el mercado o en el lugar de instalación del filtro; como sucede con la grava y la arena.
- c) El modelo de filtro construido debe permitir simples procedimientos de operación y mantenimiento que puedan ser realizados por los usuarios.

5.2.1. PREPARACION DEL MEDIO FILTRANTE. (ARENA)

La preparación del medio filtrante se realizó mediante el siguiente procedimiento.

Teniendo a disposición medio metro cúbico de arena se procede de

la siguiente manera:

- a) Tamizar en una malla número 30 (zaranda comercial), para eliminar el material grueso.
- b) Lavar abundantemente hasta que el agua de lavado salga transparente, para eliminar polvo y arcilla.
- c) Aplicar tratamiento químico, lavando la arena con una solución diluida de lejía comercial (la lejía comercial tiene una concentración de 5.25 % de Hipoclorito de sodio). Dicha solución se prepara diluyendo media taza de lejía comercial con 10 litros de agua para obtener una concentración aproximada de 0.07% de Hipoclorito de sodio.
- d) Exponer la arena al sol en una capa de espesor pequeña por un período de dos días en un lugar protegido del polvo, en una terraza, en el techo de la casa, en un terreno de cemento limpio o en una plataforma de madera, se recomienda tapar la arena del polvo de los alrededores usando plástico transparente.

En áreas rurales en las cuales no se cuenta con las condiciones necesarias para preparar adecuadamente el lecho de arena se recomienda que luego de lavarla, ésta se someta a calentamiento sobre la superficie de cocinas artesanales, distribuyéndose la arena en capas delgadas por un lapso no menor de media hora.

5.2.2 GRANULOMETRIA DE LECHO DE ARENA.

De la arena preparada, como se describe en la Sección 5.2.1, se tomó una muestra para realizar análisis de tamizado, cuyos resultados se presentan en el Cuadro 5.3.

CUADRO 5.3 ANALISIS DE TAMIZADO DE LA ARENA UTILIZADA COMO MEDIO FILTRANTE EN LOS FILTROS INSTALADOS EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR.

MALLAS U.S. ESTANDAR	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (mm)	PESO RETENIDO PARCIAL RETENIDO (g)	FRACCION PARCIAL RETENIDA	FRACCION ACUMULATIVA "menor que"	% QUE PASA LA MALLA
30	0.5944	1.6	0.0107	0.989	1.07
40	0.4191	29.8	0.1985	0.7905	19.855
50	0.2972	34.9	0.2325	0.558	23.256
60	0.2489	23.4	0.1559	0.4021	15.594
80	0.1778	22.5	0.1499	0.2522	14.995
100	0.14986	12.8	0.085	0.1672	8.503
Bandeja		25.1	0.1672	0	16.73
SUMA		150.1	0.9997		99.6

Se observa del Cuadro 5.3 que la información concerniente a las partículas finas depositadas en la bandeja no se completa por lo cual es necesario realizar cálculos posteriores al análisis de tamizado, estos se muestran en la sección 5.2.4.

CUADRO 5.4 ANALISIS DE TAMIZADO DE GRAVA No 2 USADA COMO CAPA SOPORTE EN LOS FILTROS INSTALADOS EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR.

TAMANO DE LA MALLA		
ABERTURA QUE PASA (mm)	ABERTURA EN LA QUE QUEDA RETENIDO (mm)	PESO (g)
38.1	25.4	122
25.4	19.0	2917
19.0	12.7	5158
12.7	9.5	1027
9.5	malla No. 4	370
- malla No. 4	-	25
TOTAL		9619

De los resultados del Análisis de Tamizado de Grava se eligió la fracción de 12.7 mm de diámetro para usar en la capa soporte

(Cuadro 5.4). Corresponde únicamente a la tercera capa, debido a que las anteriores son partículas muy finas.

5.2.3. CALCULO DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y DIAMETRO DE PARTICULA PARA LA ARENA.

Diámetro efectivo (De): Es el diámetro de corte o tamaño del grano (mm) tal que el 10% sean menores y el 90% mayores que el mismo (HILLEBOE,1993).

Coefficiente de uniformidad (C_u): Es el cociente que resulta de dividir el diámetro de las partículas que separan el 60% más fino entre el diámetro que separa el 10% más fino, este último es el diámetro efectivo definido en el parrafo anterior (HILLEBOE,1993), Matemáticamente el coeficiente de uniformidad es:

$$C_u = D1/De$$

Donde De : Diámetro efectivo.

D1 : Diámetro de corte que separa el %60 más fino.

Para obtener el diámetro efectivo y el coeficiente de uniformidad, es necesario obtener la curva que relacione la fracción acumulada "menor que" (o fracción acumulada "mayor que") contra diámetro de partícula medio de cada fracción correspondiente para lo cual se correlacionan los datos del Cuadro 5.3.

Usando un Programa de Computadora se llegó a determinar que el ajuste a los datos corresponde a la curva cuyo coeficiente de regresión es de 0.999522 y está definida por la ecuación:

$$y = a + bx + cx\sqrt{x} + dx^3 \quad \text{Ec. 5.11}$$

Donde: y : Diámetro de partícula

x : Porcentaje acumulado menor que

Cuyos valores de las constantes son: (figura 5.6)

$$a = 0.020804 \quad b = 0.01234$$

$$c = -0.001225 \quad d = 5.7654 \cdot 10^{-7}$$

Evaluando la Ec. 5.11 para 60% y 10%.

$$D_e = 0.10604 \text{ mm, para } x=10\%$$

$$D_1 = 0.3164 \text{ para } X=60\%$$

Luego:

$$C_u = D_1/D_e$$

$$C_u = 0.3164/0.10604 = 2.98$$

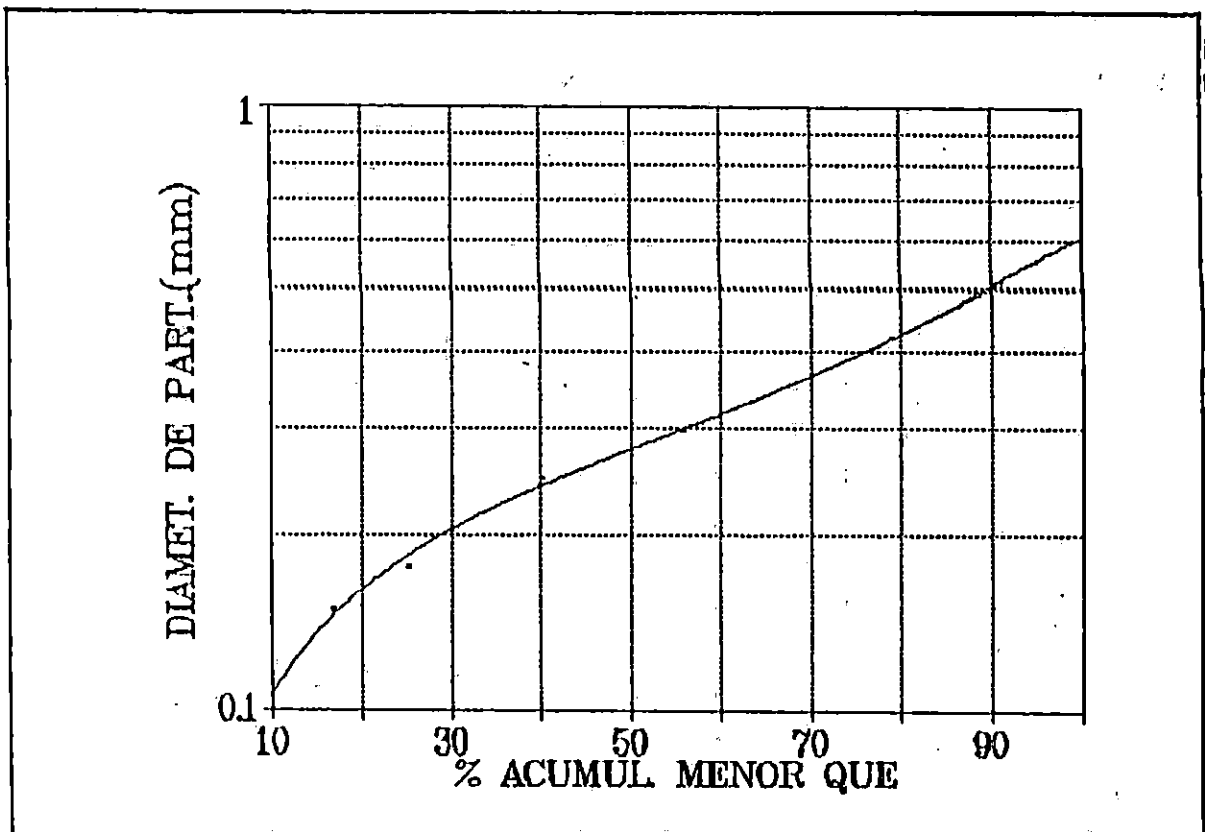


FIGURA 5.6 FUNCION MATEMATICA CORRESPONDIENTE AL ANALISIS DE TAMIZADO DE LA ARENA USADA COMO MEDIO FILTRANTE EN LOS FILTROS INSTALADOS EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR. (Diámetro de partícula vs %acumulado menor que)

5.2.4 CALCULO DEL DIAMETRO DE PARTICULA PROMEDIO EN FUNCION DE LA SUPERFICIE DEL LECHO.

Para un sistema de partículas de forma heterogénea y una amplia gama de tamaños, el diámetro de partícula de dicho sistema está en función tanto de su forma como de la distribución de tamaños de las partículas que componen el sistema en cuestión y es calculado mediante la Ec. 5.12 (FOUST, 1990).

$$D_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i / D_{p,i})}{\sum_{i=1}^n (x_i / D_{p,i}^3)}} \quad \text{Ec. 5.12}$$

DONDE:

x_i = Fracción retenida en la malla "i"

$D_{p,i}$ = Diámetro promedio entre la abertura de la malla "i" y la malla "i-1"; es decir el promedio de la abertura de la malla en la que queda retenida la fracción "i" y la anterior que pasó (ver Cuadro 5.5).

D_p = Diámetro medio de partículas del lecho de arena.

Para la determinación del diámetro de partícula promedio de la fracción contenida en la bandeja (Cuadro 5.5), se correlacionan los datos ($D_{p,i}$ vrs. x_i) en escala logarítmica con el objeto de hacer una extrapolación en la zona de partículas finas (tendencia lineal). Dicha correlación se puede observar en la figura 5.7, de donde se obtiene la ecuación 5.13.

CUADRO 5.5 DIAMETRO PROMEDIO PARA CADA FRACCION X_i DEL LECHO DE ARENA USADO EN LOS FILTROS LENTOS INSTALADOS EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR.

"TYLER" Nº de malla	Diámetro medio de las partículas D_{pi} (mm)	Fracciones en peso, X_i
-20+28	0.711	0.0107
-28+35	0.503	0.1985
-35+48	0.356	0.2325
-48+60	0.273	0.1559
-60+80	0.213	0.1499
-80+100	0.1639	0.085
-100	-	0.1672

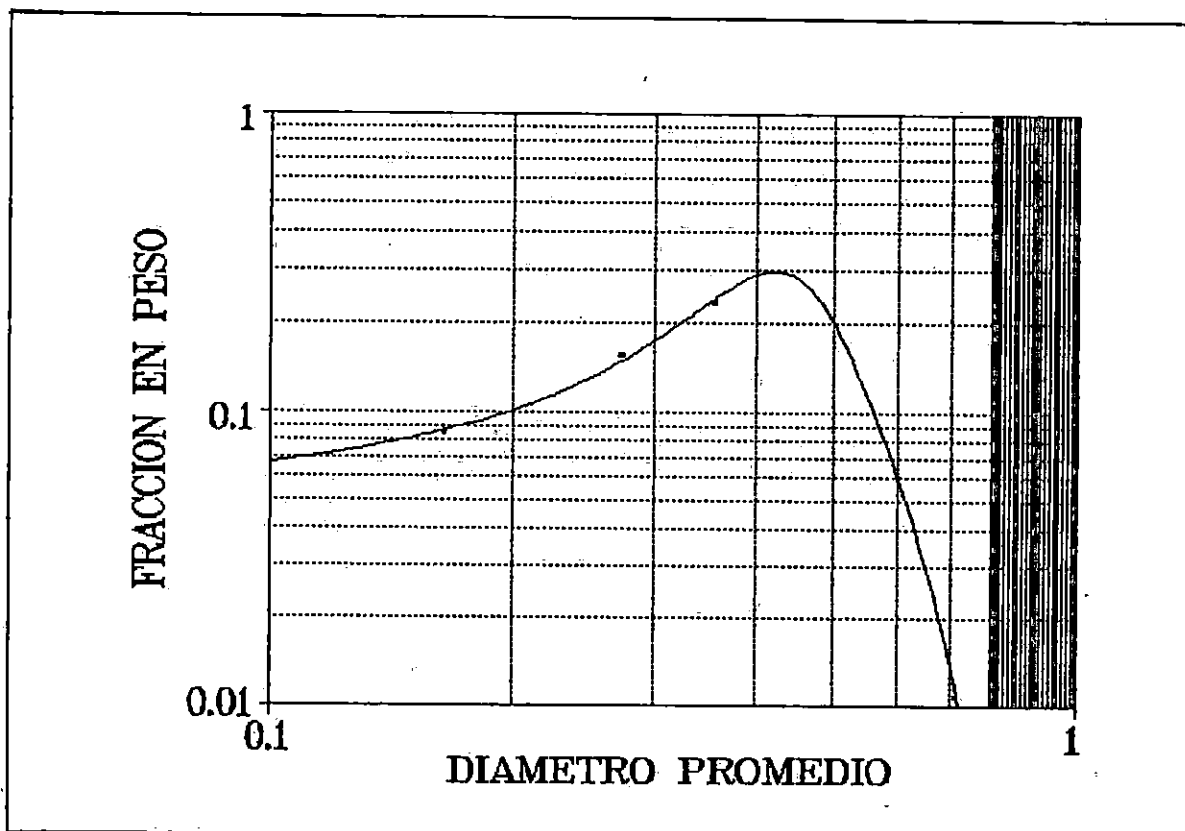


FIGURA 5.7 ANALISIS DE TAMIZADO DIFERENCIAL DEL LECHO DE ARENA DE LOS FILTROS LENTOS INSTALADOS EN LA COMUNIDAD LA PINERA DEL MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR.

La figura 5.7, corresponde a los datos tabulados en el Cuadro 5.5 cuyo coeficiente de regresión es de 0.998121 y puede evaluarse mediante la ecuación 5.13

$$y = \frac{a + cx}{1 + bx + dx^2} \quad \text{Ec. 5.13}$$

Donde:

- y = Fracción en peso retenido
 x = Diámetro promedio de la fracción retenida
 a = 0.048376868 b = -4.1688667
 c = -0.061796734 d = 4.6847317

Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación 5.13 para extrapolar el diámetro promedio de malla de las partículas finas. Los resultados se presentan en el Cuadro 5.6.

CUADRO 5.6 EXTRAPOLACION DEL DIAMETRO DE PARTICULA PROMEDIO DE LA FRACCION CONTENIDA EN LA BANDEJA.

mallá	Dp,i mm	Xi
-100+150	0.1260	0.07392
-150+200	0.089	0.06437
-200+270	0.063	0.02891
	Total	0.16720

Los valores para determinar el diámetro de partícula medio superficie volumen, según ecuación 5.12 se resumen en el cuadro 5.7.

CUADRO 5.7 RESUMEN DE LOS CALCULOS PARA EVALUAR EL DIAMETRO MEDIO CON LA ECUACION 5.12.

X_i	$D_{p,i}$ mm	$X_i/(D_{p,i})$	$X_i/(D_{p,i})^3$
0.0107	0.711	0.01505	0.02977
0.1985	0.503	0.39463	1.5598
0.2325	0.356	0.65309	5.15315
0.1559	0.273	0.57106	7.66228
0.1499	0.213	0.7036	15.51182
0.085	0.1639	0.51861	19.30554
0.07392	0.1260	0.58666	36.95305
0.64370	0.089	0.72326	91.30897
0.02891	0.063	0.45888	115.61826
	SUMA	4.6248	293.1025

Finalmente aplicando la ecuación 5.12 para encontrar el valor del diámetro de partícula del medio filtrante se tiene:

$$D_p = \sqrt{\frac{0.01505 + 0.39463 + 0.65309 + 0.57106 + \dots}{0.02977 + 1.5598 + 5.15315 + 7.66228 + \dots}}$$

$$D_p = \frac{4.6248}{293.1025}$$

Por lo tanto el diámetro medio superficie volumen es:

$$D_p = 0.126 \text{ mm}$$

5.2.5 CALCULO DE LA POROSIDAD.

En el proceso de filtración se dá la formación de una película gelatinosa de microorganismos responsables del proceso del mejoramiento de la calidad del agua, dicha película se forma en la capa filtrante de arena sin afectar la capa soporte de grava por lo cual la porosidad del lecho filtrante varia en el periodo de funcionamiento de los filtros tal como se puede observar en el cuadro 6.4 y 6.5.

A continuación se detalla la metodología seguida para determinar la porosidad en el momento de instalación de los filtros y cuyo valor es necesario en los calculos de la estimación de la velocidad inicial de operación de los filtros (Sección 5.1.1).

La porosidad del lecho filtrante es el cociente entre el espacio vacío al volumen total, matemáticamente.

$$\text{Porosidad} = \frac{\text{Espacio vacío}}{\text{Espacio total}}$$

Si el espacio vacío es sustituido por un volumen de agua conocido se puede calcular la porosidad experimentalmente.

Procedimiento para la obtención de la porosidad:

- a) Medir 100 ml de arena en una probeta de 100 ml.
- b) Trasladar la arena a un Beaker de 250 ml.
- c) Adicionar poco a poco volúmenes conocidos de agua hasta alcanzar el nivel de la arena; entonces, todos los espacios vacíos han sido réemplazados por el agua adicionada.

d) Calcular la porosidad utilizando la relación:

$$\text{Porosidad} = \frac{\text{Volumen de agua adicionada}}{\text{Volumen total}}$$

Los resultados experimentales fueron:

POROSIDAD = 41.5 ml/100 ml

POROSIDAD = 0.415

5.3 SELECCION DE MATERIALES DE CONSTRUCCION PARA LOS FILTROS

Para seleccionar los materiales se toma en cuenta que éstos se encuentren disponibles en el mercado, que la transformación final para obtener las piezas sea realizada con herramientas no sofisticadas (sierra manual, cinta métrica, lima, etc.) y equipo de fácil manejo (taladro manual, etc.) en base a estos criterios los materiales seleccionados son:

a) Cloruro de Polivinilo, conocido mundialmente por sus iniciales en inglés PVC (Poly Vinyl Chloride), comprende una familia de resinas termoplásticas de excelentes cualidades fisicoquímicas. El PVC es liviano, fuerte, resistente a la corrosión y a la abrasión, no tóxico y de vida útil larga. Los tubos de PVC son conocidos por sus excelentes características y ventajas entre las cuales podemos mencionar:

a.1) Resistencia mecánica. Poseen una elevada resistencia a la tensión y compresión, pero son suficientemente flexibles para soportar desplazamientos hacia las paredes.

a.2) Corrosión. Resisten eficientemente la corrosión causada por ácidos, álcalis, sales, etc, por lo que son altamente recomendables para el transporte de soluciones químicas, gases y materiales corrosivos.

a.3) Capacidad de conducción. Gracias al acabado liso de la superficie interior minimizan las pérdidas de carga por fricción, permitiendo diseños económicos.

a.4) Características sanitarias. No producen olores ni sabores en los líquidos y son adecuados para el transporte de líquidos para consumo humano por sus características no tóxicas.

a.5) Peso. Son livianos, su peso específico (1.43) es aproximadamente la quinta parte de los tubos metálicos, lo cual redundará en facilidad de transporte e instalación.

b) Arena como medio filtrante. Se utiliza malla N° 30 (zaranda para afinado) por encontrarse disponible en el mercado y proporcionar los requerimientos de tamaño de grano (Cuadro 5.2).

c) Accesorios como el flotador plástico (polietileno de alta densidad) de cinco pulgadas de diámetro nominal, la varilla metálica, la canica de vidrio y el tubo de media pulgada de PVC, que componen el dispositivo de control de alimentación de agua al filtro se encuentran disponibles en el mercado.

d) Licra (Elastómero expandible), pieza conocida como spandex que separa la arena de la grava por poseer excelentes propiedades de resistencia y durabilidad contra la presión ejercida por el lecho de arena y la carga hidrostática; así como por la acción del paso del agua a través de ella.

e) Las piezas que sirven para cerrar el filtro (tapaderas de PVC de 6 pulgadas) tanto en la parte superior como en la base, pueden encontrarse ya construidas en el mercado.

- f) Bidón plástico (polietileno de alta densidad) para alimentar el agua al filtro, por no corroerse y soportar las temperaturas del medio sin dañarse.
- g) Manguera plástica transparente (poliestireno), útil para controlar el nivel del agua en el tanque de suministro de agua.

5.4 ELEMENTOS BASICOS DEL FILTRO LENTO DE LECHO DE ARENA

La unidad de filtración construida, consta de:

- a) Tanque de suministro de agua, que alimenta al filtro.
- b) Sistema de control de alimentación de agua al filtro, para mantener una carga hidrostática de 50 cm de H₂O.
- c) Cuerpo del filtro, es la parte central de la unidad (Anexo B.1); dentro de él se encuentra la capa soporte (0.07m) y el lecho de arena (0.6 m) donde se desarrolla la capa microbiológica, encargada de mejorar la calidad bacteriológica del agua.
- d) Capa de agua sobrenadante.
El la columna de agua sobre el lecho filtrante la cual proporciona una carga suficiente para hacer que el agua cruda pase a través del lecho del medio filtrante, originando además un tiempo de retención del agua cruda.

Estos elementos constituyentes de la unidad de filtración son descritos a continuación:

5.4.1 TANQUE DE SUMINISTRO DE AGUA AL FILTRO DE ARENA DE GOTEO LENTO.

Está constituido por un barril plástico (Polietileno de alta densidad) con capacidad de 15 galones, al cual se le adapta un visor para observar el nivel del agua dentro del tanque (Ver Sección I de Figura 5.8).

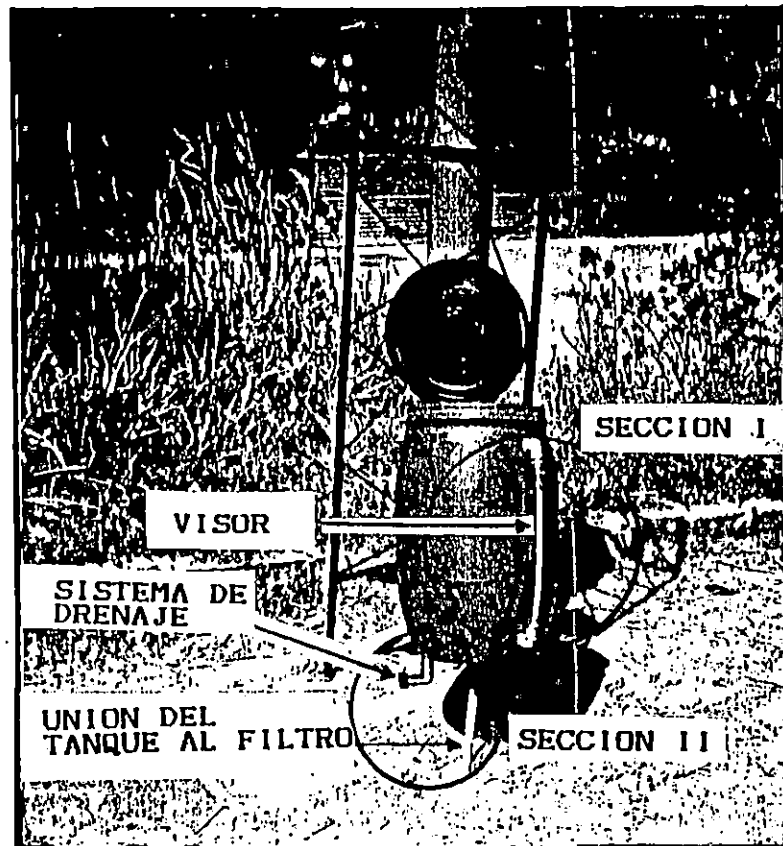


FIGURA 5.8 TANQUE DE SUMINISTRO DE AGUA AL FILTRO DE ARENA DE GOTEO LENTO. VISTA DEL VISOR PARA CONTROL DEL NIVEL DE AGUA Y EL SISTEMA DE DRENAJE INSTALADO EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR.

El tanque se une con la carcasa del filtro por medio de un tubo de PVC de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro nominal y 32 cm de longitud, ubicado en la parte inferior externa (Ver sección II, Figura

5.8). Existe una manguera transparente de 15 cm de longitud insertada en la parte interna del tanque, cuya función es evitar que sedimentos sean arrastrados hacia el filtro.

El tanque dispone de un medio de drenaje para eliminar las partículas sedimentadas que se encuentra a un costado de la parte inferior externa del tanque (Ver sección II, Figura 5.8).

5.4.2 SISTEMA DE ALIMENTACION DE AGUA AL FILTRO DE ARENA DE GOTEO LENTO.

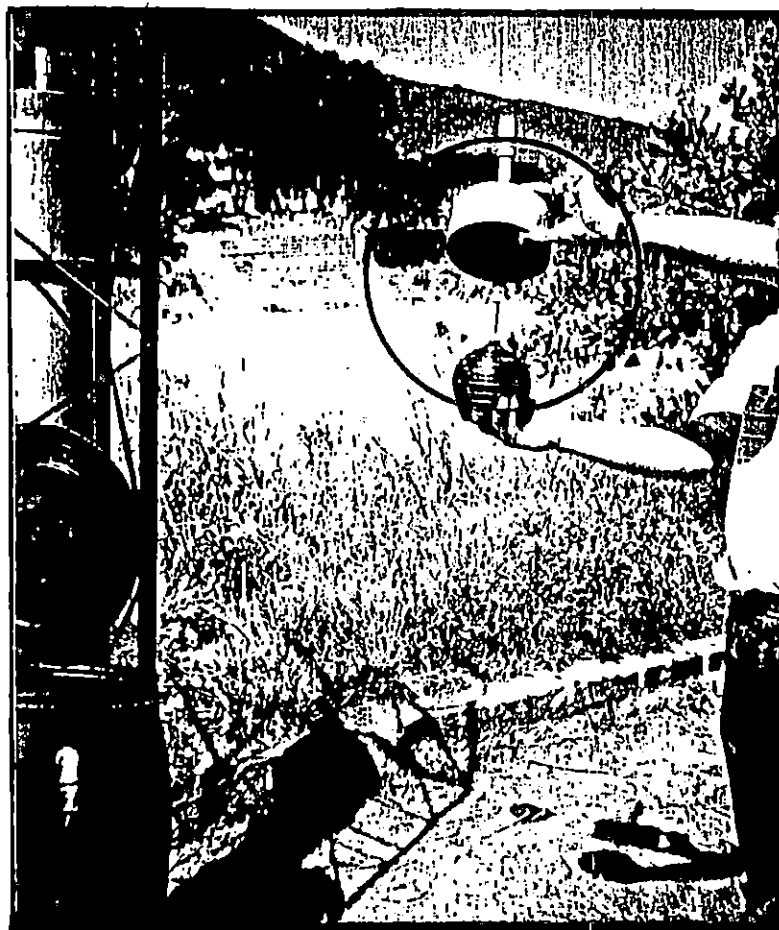


FIGURA 5.9 SISTEMA DE ALIMENTACION DE AGUA AL FILTRO DE ARENA DE GOTEO LENTO INSTALADO EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA , SAN SALVADOR

Está constituido por un flotador esférico de 5 pulgadas de diámetro, varilla metálica de 29.5 cm de longitud, tapón liso de PVC de ½ pulgada, tapón de hule para tubo de abasto, tubo de PVC de ½ pulgada de diámetro nominal y 25 cm de largo, adaptador macho de PVC de ½ pulgada, canica de vidrio de 11.5 mm de diámetro y una camisa de PVC de ½ pulgada de diámetro nominal roscada en un extremo (Anexo B.2).

5.4.3 CUERPO DEL FILTRO DE ARENA DE GOTEO LENTO Y ESTRUCTURA DE APOYO.

El cuerpo del filtro es un tubo de 6 pulgadas de diámetro nominal y de 139 cm de longitud, en el fondo del tubo se coloca una tapadera de PVC de 6 pulgadas de diámetro nominal perforada en uno de sus bordes con un orificio de ½ pulgada en donde se coloca un grifo de PVC de ½ pulgada de diámetro nominal, sobre la tapadera, y dentro del tubo, se colocan dos capas de diferente espesor, una de grava de 7 cm y otra de arena de 60 cm, separadas por un dispositivo constituido por dos anillos concéntricos de PVC que sujetan una pieza de licra cuya función es evitar la fuga de partículas finas de arena por el grifo. La capa de arena incluye una canasta de 10 cm de altura para facilitar la remoción de la zooglea formada cuando ha disminuido su actividad microbiológica, es decir cuando su capacidad de retener bacterias coliformes, fecales y totales, decrece en forma considerable, lo que provoca que el filtro pierda su eficiencia.

El cuerpo del filtro y los demás elementos están sostenidos por una estructura metálica construida de varillas angulares de 1 pulgada por 1 pulgada y varillas corrugadas de 3/8 de pulgada como se muestra en la Figura 5.10.

El costo total de la unidad de filtración (Anexo D) puede va-

riar, dependiendo del material utilizado en la estructura de apoyo.

Las partes constituyentes del cuerpo del filtro pueden observarse también en el Anexo B.1

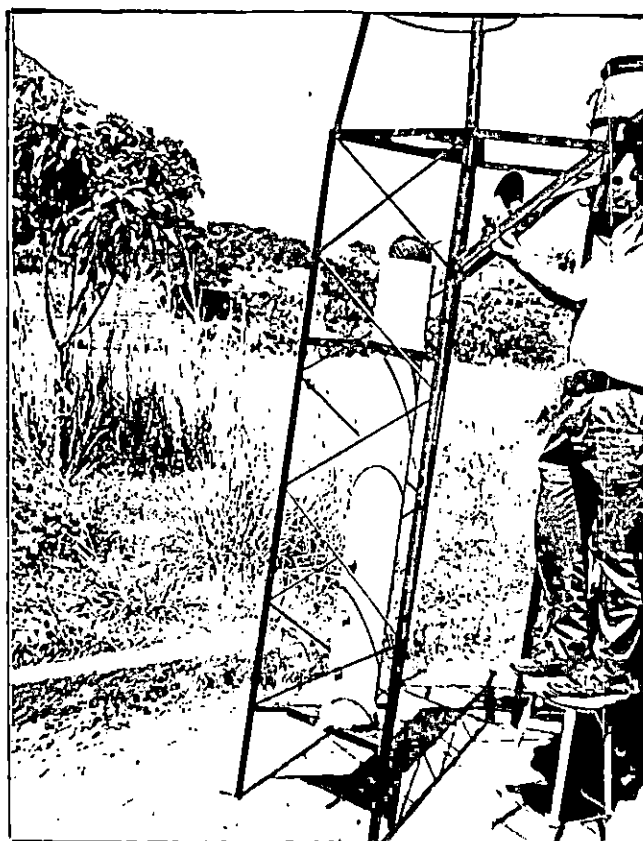


FIGURA 5.10 CUERPO DEL FILTRO DE ARENA DE GOTEADO LENTO Y ESTRUCTURA DE APOYO DEL FILTRO INSTALADO EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR.

5.4.4 CAPA DE AGUA SOBRENADANTE.

La capa de agua sobrenadante sirve para dos propósitos: proporcionar una carga de agua suficiente para hacer que el agua cru-

da pase a través del lecho filtrante y originar un tiempo de retención del agua cruda a ser tratada, período durante el cual las partículas pueden asentarse y aglomerarse. Si el agua cruda tiene un contenido relativamente alto de materia en suspensión, se debe instalar una unidad de pretratamiento para prevenir la rápida obstrucción del filtro (CEPIS, 1978).

5.4.5 LECHO FILTRANTE.

El medio filtrante está constituido por arena ya que cumple con ser inerte y durable; debe estar excenta de arcilla y de preferencia libre de materia orgánica.

NOMENCLATURA

- A_c = Area transversal en el punto de cierre.
 C_u = Coeficiente de uniformidad, 2.98.
 D = Diametro del flotador esférico, 12.7 cm.
 D_1 = Diámetro de corte que separa el %60 más fino, 0.32 para $X = 60\%$ (Sección 5.2.3).
 D_e = Diámetro efectivo, 0.1522 mm.
 D_p = Diámetro medio de las partículas del lecho, m.
 $D_p = 1.26 \cdot 10^{-4}$ m (Sección 5.2.4).
 D_2 = Diámetro nominal de la carcasa del filtro, 0.152 m.
 E = Empuje, 2.68 N.
 f_p = Factor de fricción, 1239.12.
 g = Gravedad, 9.8 m/s².
 g_c = Factor de conversión.
 $g_c = (Kg-m)/(N-s^2) = 32.17(Lb-pie)/(Lbf-s^2)$.
 $= 9.8 (Kg-m)/(Kgf-s^2)$.
 h = Altura de agua sobre el punto de cierre, 0.945 m.
 h_b = Longitud del flotador sumergido abajo del nivel de agua dentro del filtro, m.
 H = Altura de agua total dentro del filtro, 1 m.
 h_1 = Longitud total del sistema de control de cierre del tanque de alimentación, 43.3 cm.
 h_2 = Longitud de espacio libre dentro del filtro, 39.1 cm.
 h_D = Longitud de flotador sumergido en el agua dentro del filtro, 0.042 m.
 H_1 = Altura de lecho de arena, m.
 $H_1 = 0.60$ m.
 H_2 = Altura de agua sobrenadante de agua en el filtro, m.
 $H_2 = 0.50$ m.
 N_R = Número de Reynolds, adimensional.

Nota: La nomenclatura usada en el Capítulo V es la misma que se usa en el Capítulo VI

NOMENCLATURA

- P = Fuerza ejercida por la presión hidrostática de la columna de agua sobre el punto de cierre, N.
 P_H = Presión hidrostática, 9234.66 N/m².
 ΔP = Caída de presión.
 ΔP = 10753.38 N/m².
 P_1 = Presión ascendente de cierre, 19172.99 N/m².
 P_D = Presión descendente, compuesta por la presión hidrostática más la presión causada por el peso del sistema de control de alimentación en el área de cierre.
 P_C = Presión causada por el peso del sistema de control de alimentación en el área de cierre.
 r_c = Radio del área de cierre, 0.4 cm.
 u = Velocidad en el filtro, m/s, (Ecuación 5.1).
 V = Volumen de agua desplazado por el flotador en el momento de cierre del sistema de alimentación, 273.31 cm³.
 W = Peso total del sistema de cierre, 1.72 N.
 W_{ch} = Peso de la chibola, N.
 W_v = Peso de la varilla, N.
 W_f = Peso del flotador, N.
 W_T = Peso del tapón de hule, N.
 ϵ = Porosidad, Adimensional.
 ϵ = 0.415 (Ver sección 5.2.5).
 ρ = Densidad del agua, 996.14 Kg/m³ (Tablas de vapor a 28°C).
 μ = Viscosidad del agua, Kg/m-s (T = 28°C).
 μ = 8.36*10⁻⁴ Kg/m-s (T = 28°C).

Nota: La nomenclatura usada en el Capítulo V es la misma que se usa en el Capítulo VI

CAPITULO VI
PRUEBAS Y RESULTADOS DE OPERACION DEL FILTRO

6.1 PRUEBAS HIDRAULICAS

Con el propósito de determinar la velocidad del agua a la salida del filtro construido para ser instalado en la comunidad "La Pí-nera", se procede a medir los caudales obtenidos en un período de operacidiario de 2 a 6 horas que son presentados en el Cuadro 6.1 y se calculan las pérdidas de carga a través del lecho fil-trante por medio de la ecuación 6.5 que resulta de aplicar el teorema de Bernoulli a la representación esquemática del filtro.

Los procedimientos correspondientes para tales cálculos se de-tallan a continuación:

- A) Aplicando el teorema de Bernoulli a la representación esquemática de la carcaza del filtro sin arena.

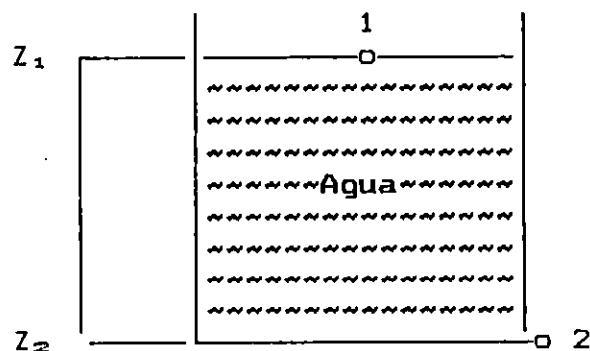


FIGURA 6.1 REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LA CARCAZA DEL FILTRO SIN ARENA.

El punto 1 corresponde al nivel superior de agua dentro de la carcaza del filtro sin arena, el punto 2 es la salida del agua.

Aplicando Bernoulli entre los puntos 1 y 2

$$\frac{Z_1 g}{g_c} + \frac{P_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2g_c} = \frac{Z_2 g}{g_c} + \frac{P_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2g_c} \quad \text{Ec. 6.1}$$

Donde:

P_1 = Presión en el punto 1.

P_2 = Presión en el punto 2.

u_1 = Velocidad del agua en el punto 1.

u_2 = Velocidad del agua en el punto 2.

Z_1 = Altura de la columna de agua hasta el punto 1.

Z_2 = Nivel de referencia, altura igual a cero.

ρ = Densidad del agua.

g = Aceleración gravitacional.

g_c = Factor de conversión dimensional de unidades inglesas.

Debido a que el diámetro de la carcasa (6 pulgadas de diámetro nominal) es más grande que el diámetro del grifo de salida de agua del filtro ($\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro nominal), la velocidad del agua en el punto 1 es mucho menor que la velocidad en el punto 2.

Simplificando la ecuación 6.1 se tiene:

$P_1 = P_2$ = presión atmosférica.

$Z_2 = 0$

$u_1 = 0$ (despreciable con respecto a u_2)

$$\frac{Z_1 g}{g_c} = \frac{u_2^2}{2 g_c} \quad \text{Ec. 6.2}$$

B) Aplicando el teorema de Bernoulli a la representación

del filtro con lecho de arena de 0.6m y grava como capa soporte.

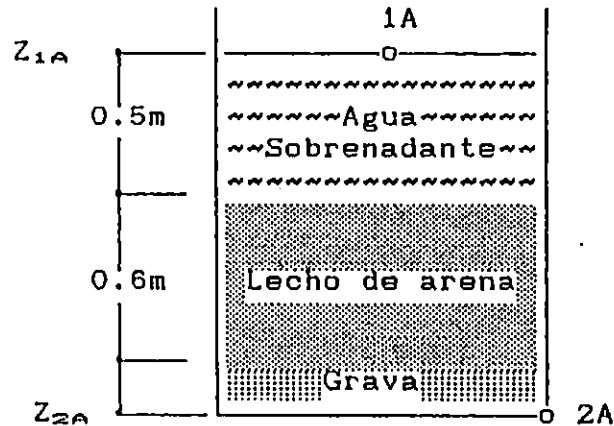


FIGURA 6.2 FILTRO CON LECHO DE ARENA DE 0.6 METROS Y 0.07 METROS DE GRAVA COMO CAPA SOPORTE.

Aplicando Bernoulli en los puntos 1A y 2A

$$\frac{Z_{1A}g}{g_c} + \frac{P_{1A}}{\rho} + \frac{u_{1A}^2}{2g_c} = \frac{Z_{2A}g}{g_c} + \frac{P_{2A}}{\rho} + \frac{u_{2A}^2}{2g_c} + h_f \quad \text{EC. 6.3}$$

El subíndice A indica que se refiere al filtro con lecho de arena de 0.60m y grava como capa soporte.

De igual modo que para el análisis realizado en el literal anterior la velocidad en el punto 1A es despreciable con respecto a la velocidad en el punto 2A.

Simplificando la ecuación 6.3 se tiene:

$$u_1 = 0$$

$$P_{1A} = P_{2A} = \text{Presión atmosférica.}$$

$$Z_{2A} = 0.$$

$$\frac{Z_{1A}g}{g_c} = \frac{u_{2A}^2}{2g_c} + h_f \quad \text{EC. 6.4}$$

Combinando la ecuación 6.2 con la 6.4 y despejando h_f resulta:

$$h_f = \frac{u_2^2}{2g_c} - \frac{u_{2A}^2}{2g_c} \quad \text{Ec. 6.5}$$

6.1.1 CALCULO DE LA PERDIDA DE CARGA DEL FILTRO EN EL MOMENTO DE LA INSTALACION.

Para el cálculo de la pérdida de carga se utiliza la ecuación 6.5 en la cual se sustituyen los valores de velocidad del agua a la salida del filtro obtenidos a lo largo de la etapa experimental (u_{2A}) y el valor de la velocidad de salida en la carcasa del filtro sin arena (u_2).

De los datos obtenidos en el momento de la instalación para el filtro 1 (Cuadro 6.1) se tiene:

$$G_2 = 0.99 \text{ gal/min } (6.25 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s})$$

$$G_{2A} = 0.140 \text{ gal/min } (8.83 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}, \text{ para carrera completa de grifo}).$$

Area transversal de flujo a la salida del filtro, calculada con el diámetro interno de salida del grifo (0.0174625 m),

$$A_2 = 2.39 \times 10^{-4} \text{ m}^2.$$

Area transversal de flujo dentro del filtro, calculada con el diámetro interno (0.1522 m), $A_1 = 1.81 \times 10^{-2} \text{ m}^2$.

La velocidad lineal es igual al cociente entre caudal y área transversal de flujo. Matemáticamente:

$$u = \frac{G}{A} \quad [\text{m/s}] \quad \text{Ec. 6.6}$$

Donde:

G : Caudal de salida, [m³/s]

A : Area transversal de flujo, [m²]

Después de sustituir los valores adecuados en las ecuaciones 6.6 y 6.5 resulta que:

$$h_f = \frac{\left(\frac{6.25 \cdot 10^{-5} \frac{m^3}{s}}{2.39 \cdot 10^{-4} m^2} \right)^2}{2 \cdot 9.8 \frac{m}{s^2}} - \frac{\left(\frac{8.83 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{s}}{2.39 \cdot 10^{-4} m^2} \right)^2}{2 \cdot 9.8 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_f = 0.0034 \text{ metros de agua.}$$

6.1.2 CALCULO DE LA VELOCIDAD EN EL LECHO DE ARENA

Aplicando la ecuación de continuidad entre los puntos 1A y 2A de la figura 6.2 se tiene:

$$m_{1A} = m_{2A}$$

Siendo m = flujo másico que se determina por la siguiente ecuación:

$$m = A \rho v \quad \text{Ec. 6.7}$$

Entonces:

$$A_{1A} u_{1A} \rho_{1A} = A_{2A} u_{2A} \rho_{2A}$$

y tomando en cuenta que:

$$P_{1A} = P_{2A}$$

Resulta:

$$A_{1A}u_{1A} = A_{2A}u_{2A} \quad \text{Ec. 6.8}$$

Despejando u_{1A} y sustituyendo los valores correspondientes de los datos obtenidos en el momento de instalación del filtro 1, Cuadro 6.1, en la ecuación 6.8 se tiene:

$$u_{1A} = A_{2A} \frac{u_{2A}}{A_{1A}} = \frac{2.39 \times 10^{-4} \text{ m}^2 * 3.69 \times 10^{-2} \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1.81 \times 10^{-2}} = 4.87 \times 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$u_{1A} = 1.75 \frac{\text{m}}{\text{h}} = 29.23 \frac{\text{L}}{\text{m}^2\text{-min}}$$

Que representa la velocidad real medida, antes de haber sido instalados los filtros, es de observarse que ésta no es de filtración lenta; pero disminuirá a medida que el filtro madure. La filtración lenta teóricamente se alcanzará cuando el lecho filtrante ha madurado.

Nótese la similitud con la velocidad teórica obtenida previamente mediante la ecuación 5.4 (Sección 5.1.1, pág.43).

La velocidad de filtración lenta recomendada varía entre 0.1 a 0.2 m/h.

En el Cuadro 6.3 se resumen las velocidades en el lecho filtrante obtenidas con los valores medidos durante la etapa experimental por medio de la ecuación 6.8, así como los valores de las pérdidas de carga en el lecho calculadas por la ecuación 6.5.

CUADRO 6.1 CAUDALES EN LA PRUEBAS HIDRAULICAS A LA SALIDA DEL FILTRO 1 POR INSTALAR EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR.

GRIFO	CARCAZA DEL FILTRO SIN ARENA (gal/min)	FILTRO CON ARENA Y GRAVA (gal/min)
Carrera completa	0.996	0.140
1 vuelta	0.934	0.117
1/2 vuelta	0.800	0.116
1/4 vuelta	0.632	0.110

CUADRO 6.2 VELOCIDAD EN EL LECHO Y PERDIDAS DE CARGA ANTES DE INICIAR LA ETAPA EXPERIMENTAL DEL FILTRO 1 POR INSTALAR EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR.

GRIFO	VELOCIDAD EN EL LECHO (u, m/h)	(*)PERDIDAS DE CARGA (m de H ₂ O)
Carrera completa	1.74	0.0034194
1 Vuelta	1.45	0.0034415
1/2 Vuelta	1.44	0.0034421
1/4 Vuelta	1.42	0.0034434

(*) ESTIMADAS MEDIANTE LA ECUACION 6.5.

CUADRO 6.3 VELOCIDAD EN EL LECHO Y PERDIDAS DE CARGA DURANTE LA ETAPA EXPERIMENTAL EN EL FILTRO 1, INSTALADO EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR.

DIAS	VELOCIDAD EN EL LECHO, (u, m/h)	(*)PERDIDAS DE CARGA, (m de H ₂ O)
0	1.699	0.0034238
13	2.0240	0.0033965
19	1.7136	0.0034226
26	1.9800	0.0034004
42	1.0980	0.0034617
83	0.6840	0.0034784
93	0.7956	0.0034747
102	0.5652	0.0034817

(*) ESTIMADAS MEDIANTE LA ECUACION 6.5.

Del Cuadro 6.3 se observa que el filtro no opera en el rango de velocidad lenta (0.1 a 0.2 m/h). Para disminuir la velocidad de filtración se trató de controlar el caudal disminuyéndolo por medio del grifo, lo cual no fue posible por la actitud de los beneficiados, pues preferían mayor caudal en menos tiempo operando el grifo a voluntad de los usuarios.

6.1.3 COMPORTAMIENTO MATEMÁTICO ENTRE LA PERDIDA DE CARGA Y LA VELOCIDAD LINEAL EN EL LECHO DE ARENA.

Para poder predecir las pérdidas de carga para una determinada velocidad en el lecho, se obtiene una relación matemática al correlacionar las velocidades con las pérdidas de carga (Cuadro 6.3). La función matemática, con un coeficiente de correlación de 0.99990, se presenta en la Figura 6.3 y corresponde a la expresión siguiente:

$$h_r = a + b \cdot u \cdot \sqrt{u} + c \cdot \sqrt{u} + d \cdot \exp^{-u} \quad \text{Ec. 6.9}$$

Donde:

u : Velocidad lineal en el lecho filtrante.
 h_r: Pérdida de carga a través del lecho
 a: -0.010326914 b: -0.0012780847
 c: 0.0112573214 d: 0.010326971

De la figura 6.3 se puede observar que las pérdidas de carga están comprendidas para las velocidades de lecho entre 0.5 y 2.2 m/h. Por ejemplo para una velocidad en el lecho de 0.15 m/h el valor correspondiente de las pérdidas de carga se obtiene evaluando la ecuación 6.8 resultando:

$$h_r = 0.0034884 \text{ m de } H_2O$$

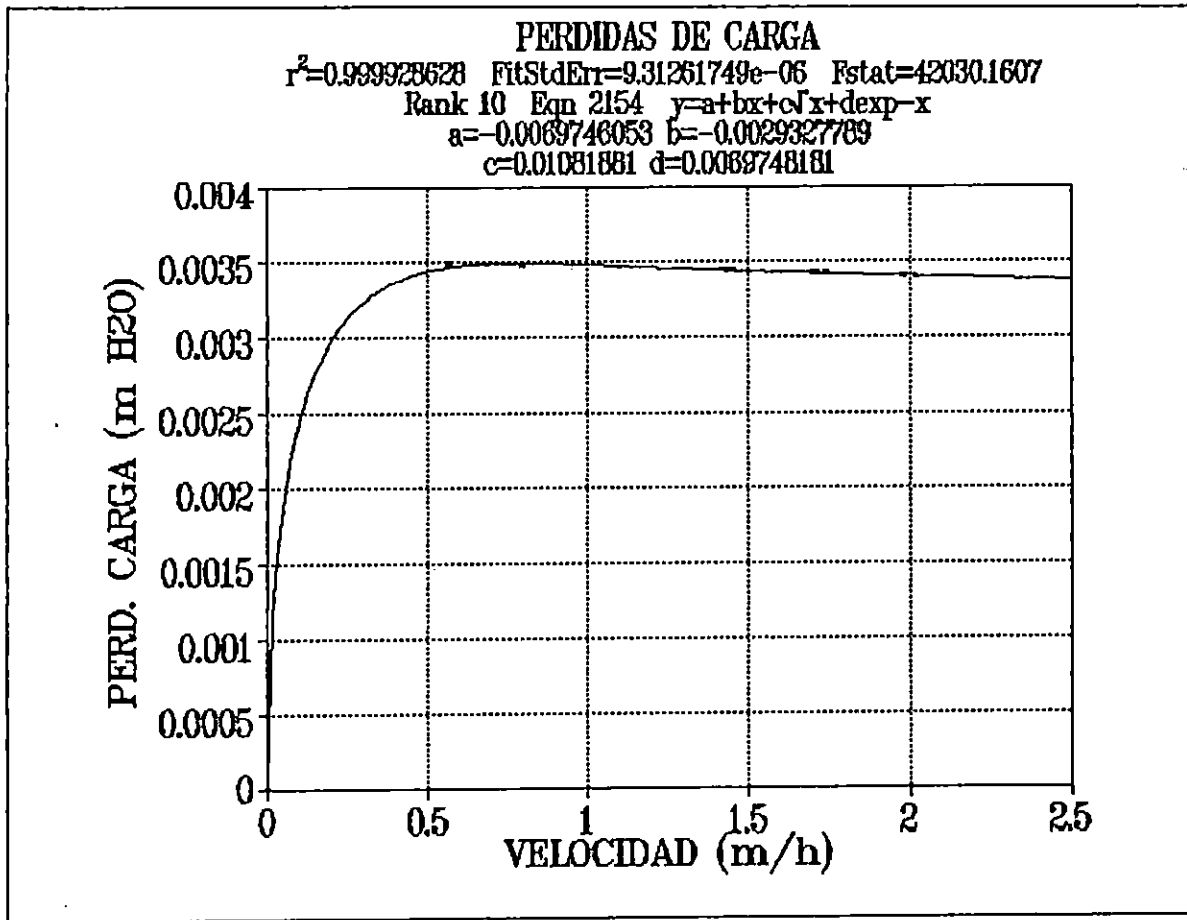


FIGURA 6.3 REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION ENTRE LA VELOCIDAD DE FLUJO Y LAS PERDIDAS DE CARGA EN EL LECHO DEL FILTRO INSTALADO EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR.

6.2. VARIACION DE LA POROSIDAD EN EL FILTRO.

Las variaciones del caudal de agua filtrada son producidas por los cambios de porosidad en el lecho filtrante, pueden ser estimados por medio de la ecuación 6.9, que es obtenida al ordenar adecuadamente la ecuación 5.1, así:

$$\frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2} = \frac{150 \mu H_1 u}{\Delta P D_p^2 g_c} \quad \text{Ec. 6.10}$$

Evaluando la ecuación 6.9 con los valores correspondientes (Sección 5.1) y tomando en cuenta que para cálculos de ingeniería el efecto que produce la variación de turbidez sobre el valor de la densidad y la viscosidad del agua es despreciable, se consideran ambas propiedades como constantes, resultando lo siguiente:

$$\frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2} = \frac{150 * 8.36 * 10^{-4} \frac{Kg}{m \cdot s} * 0.6 m * u}{1096.16 \frac{Kg \cdot F}{m^2} * (1.259 * 10^{-4} m)^2 * 9.8 \frac{Kg \cdot m}{Kg \cdot s^2}}$$

$$\frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2} = 441.87 \frac{m}{s} * u$$

En los Cuadros 6.4 y 6.5 se presenta la variación de la velocidad del agua filtrada producida por los cambios de porosidad, calculados con la ecuación 6.10. Se evalúan los valores de velocidad de agua filtrada obtenidas durante la etapa de experimentación y se calcula la porosidad correspondiente. En las figuras E.1 y E.2 (Anexo E) se presentan las expresiones matemáticas que rigen el comportamiento de los cambios de velocidad con el tiempo de funcionamiento del filtro producidos por los cambios de porosidad en el lecho filtrante.

CUADRO 6.4 VALORES DE POROSIDAD CALCULADOS PARA EL FILTRO 1 INSTALADO EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR, EN LA PRIMERA ETAPA EXPERIMENTAL.

DIAS	VELOCIDAD u (m/h)	VELOCIDAD u*10 ⁴ (m/s)	POROSIDAD (ε)
0	1.69	4.72	0.4150
13	2.01	5.59	0.4157
19	1.71	4.76	0.4008
26	1.98	5.50	0.4142
42	1.09	3.05	0.3607
83	0.68	1.90	0.3208
93	0.79	2.21	0.3332
102	0.56	1.57	0.30

CUADRO 6.5 VALORES DE POROSIDAD CALCULADOS PARA EL FILTRO 2 INSTALADO EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR, EN LA PRIMERA ETAPA EXPERIMENTAL

DIAS	VELOCIDAD u (m/h)	VELOCIDAD u*10 ⁴ (m/s)	POROSIDAD (ε)
0	1.69	4.72	0.415
13	2.05	5.71	0.4177
19	1.32	3.66	0.3768
26	1.27	3.54	0.3739
42	1.65	4.58	0.3972
83	0.27	0.76	0.2520
93	0.69	1.88	0.3199
102	0.16	0.438	0.2163

6.3 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DEL AGUA.

Los análisis físicoquímicos y bacteriológicos sirven para establecer la calidad del agua de pozos y filtros

La etapa experimental se dividió en dos partes. La primera, es un monitoreo de los filtros durante 143 días, realizándose pruebas bacteriológicas para determinar el número más probable (NMP) de bacterias coliformes totales y fecales por 100 ml presentes en el agua filtrada (ver Sección 6.3.3), que concluye con los análisis bacteriológicos y físicoquímicos de filtros y pozos (Cuadros 6.6, 6.7, 6.8 y 6.9) y tipificando las aguas en base a la clasificación de Shchoukarev cuyo detalle se muestra en el Anexo F.

Luego de esta primera etapa se hicieron las modificaciones siguientes:

- a) Al tanque de alimentación de agua al filtro se le adaptó en la parte inferior un accesorio, para eliminación de sedimentos. (drenaje)
- b) Se colocó una manguera que sobresale 15 cm de la boquilla de alimentación de agua al filtro con el propósito de evitar obstrucciones en el sistema de cierre debido al ingreso de sedimentos, partículas de arena ú otro material extraño.
- c) El tamiz separador de arena y grava es una pieza constituida por dos anillos de PVC y licra.

A partir del 24 de Septiembre de 1994 se inició la segunda etapa experimental que consistió en las siguientes pruebas a las aguas de pozos y filtros.

- a) Análisis bacteriológicos.

- b) Análisis de nitratos por ser el componente en las aguas de los pozos uno y dos (según pruebas fisicoquímicas realizadas a los mismos) que sobrepasa al límite permisible y afecta específicamente la salud de los niños.
- c) Análisis de turbidez por ser un parámetro que influye directamente en el proceso de filtración.
- d) PH, calcio y magnesio, por ser variables que afectan el crecimiento de biomasa.
- e) Conductividad eléctrica, para tener una idea de la cantidad de sales disueltas en la filtración.

Los filtros se reinstalaron para realizar la segunda etapa experimental.

Los análisis bacteriológicos posteriores demostraron un mal manejo de los filtros, puesto que el agua filtrada presentaba mayor contaminación que las aguas procedente de los pozos.

Se aplicó tratamiento de limpieza y desinfección a la arena calentándola a 200°C en una estufa durante un día para eliminar los microorganismos presentes, lo cual no se realizó en la primera etapa.

La segunda etapa experimental se reinicia el 15 de octubre de 1994 y se monitorean tres fechas más de funcionamiento.

6.3.1 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DEL AGUA.

En la última fecha de la primera etapa experimental se reali-

análisis fisicoquímico de filtros y pozos (Cuadros 6.6 y 6.7) los cuales reportan problemas de concentración de nitratos fuera de norma, probablemente, al uso de fertilizantes nitrogenados; además, se determina la existencia de altos índices de turbidez en el pozo dos, los cuales aumentan debido al dragado del pozo.

CUADRO 6.6 CALIDAD FISICOQUIMICA DEL AGUA DE POZOS 1 Y 2 UBICADOS EN LA COMUNIDAD RURAL "LA PINERA", MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR. COMPARACION CON LOS VALORES GUIAS PARA AGUA POTABLE ESTABLECIDOS POR EL MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL DE EL SALVADOR.

PARAMETRO	VALORES GUIAS	POZO 1 (**)	POZO 2 (**)
Sólidos totales, ppm	550	225	350
Dureza total (CaCO ₃), ppm	300	78.9	74.8
Magnesio (Mg ⁺²), ppm	125	11.08	7.70
Calcio (Ca ⁺²), ppm	75	13.3	17.25
Hierro (Fe ⁺²), ppm	0.30	0.04	4.17
Manganeso (Mn ⁺²), ppm	0.05	0.86	No detectable
Sodio (Na ⁺), ppm	-	16.7	18.8
Potasio (K ⁺), ppm	-	2.0	1.8
Cloruros (Cl ⁻), ppm	250	6.65	5.76
Sulfatos (SO ₄ ⁻²), ppm	350	3	8.4
Nitratos (NO ₃ ⁻), ppm	44.3	37	52
Alcalinidad (HCO ₃ ⁻), ppm	335	60.5	53.8
Fosfatos (PO ₄ ⁻²), ppm	-	0.39	0.38
Silice (SiO ₂ ⁻²), ppm	-	86.44	86.44
Turbidez, UNT**	5	3.7	96
pH	6.5 - 9.2	6.53	6.53
Temperatura, °C	-	28.5	28.5
Conductividad, µmhos	-	225	240

* Fecha de monitoreo: 7 de Julio de 1994.

** Unidades de turbiedad nefelométricas.

CUADRO 6.7 CALIDAD FISICOQUIMICA DEL AGUA DE FILTROS 1 Y 2 UBI-
CADOS EN LA COMUNIDAD RURAL "LA PINERA", MUNICIPIO
DE APOPA, SAN SALVADOR. COMPARACION CON LOS VALORES
GUIAS DE AGUA POTABLE ESTABLECIDOS POR EL MINISTERIO
DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL DE EL SALVADOR.

COMPONENTE	VALORES GUIAS	FILTRO 1(**)	FILTRO 2(**)
Sólidos totales, ppm	550	225	200
Dureza total (CaCO ₃), ppm	300	80.4	68.2
Magnesio (Mg ⁺²), ppm	125	6.92	7.63
Calcio (Ca ⁺²), ppm	75	20.78	14.74
Hierro (Fe ⁺²), ppm	0.30	0.01	1.10
Manganeso (Mn ⁺²), ppm	0.05	0.06	No detectable
Sodio (Na ⁺), ppm	-	15.4	7.50
Potasio (K ⁺), ppm	-	1.7	0.7
Cloruros (Cl ⁻), ppm	250	6.20	4.87
Sulfatos (SO ₄ ⁻²), ppm	350	1.75	4.0
Nitratos (NO ₃ ⁻), ppm	44.3	35	35
Alcalinidad (HCO ₃ ⁻), ppm	335	64.6	40.0
Fosfatos (PO ₄ ⁻²), ppm	-	0.30	0.22
Silice (SiO ₂ ⁻²), ppm	-	89.02	78.70
Turbidez, UNT **	5	0.65	21.1
pH	6.5 - 9.2	7.20	6.98
Temperatura, °C	-	24.0	23.5
Conductividad, µmhos	-	250	210

* Fecha de monitoreo: 7 de Julio de 1994.

** Unidades de turbiedad nefelométricas.

6.3.2 INTERPRETACION DE RESULTADOS FISICOQUIMICOS.

De los resultados presentados en los Cuadros 6.6 y 6.7 se determina que con respecto a las normas antes mencionadas, algunos parámetros del pozo dos y pozo uno están fuera de las normas de calidad para el agua potable recomendadas por Ministerio de Sa-

lud Pública y Asistencia Social de El Salvador.

Del Cuadro 6.6 se observa que el manganeso en el pozo 1 está arriba de la norma en 0.81 ppm; pero que después de pasar el lecho filtrante de arena el valor es reducido a 0.06 ppm (Cuadro 6.7). La presencia de hierro, nitratos y turbidez en el Pozo 2 es tal que sobrepasa los límites establecidos por las normas en 3.87 ppm, 7.7 ppm y 91 UNT respectivamente. El filtro 2 reduce el contenido de nitratos hasta valores aceptables (35 ppm), no así para el hierro y la turbidez, cuyos valores son reducidos en menor proporción, 1.10 ppm y 21.1 ppm, respectivamente.

Los altos contenidos de nitratos en los pozos se atribuyen a que la zona de instalación de los filtros es utilizada con fines agrícolas, disponiendo de un área de cultivo de 800 manzanas, en las cuales se utilizan fertilizantes nitrogenados, herbicidas e insecticidas, que con las lluvias penetran hasta los mantos acuíferos.

El valor alto de turbidez se debe a que el pozo 2 fue dragado antes de la toma de la muestra. El contenido de hierro presente en el agua del pozo 2, fue afectado debido a que antes a la toma de muestra los usuarios le introdujeron una lámina en el fondo para evitar el acampanamiento. Su posterior corrosión aumentó la contaminación de hierro en la fecha de muestreo. La alta concentración de manganeso es causada, probablemente, por el manto freático de la zona y es un problema que es disminuido aparentemente por el filtro.

De acuerdo a los resultados de los análisis fisicoquímicos obtenidos, el proceso de filtración resulta favorable para la potabilización de agua, aunque no logró hacer llegar todos los parámetros a los valores establecidos por las normas.

En tal sentido el agua del pozo dos se considera no potable, requiriendo un proceso adicional de tratamiento.

6.3.3 ANÁLISIS BACTERIOLOGICO DEL AGUA FILTRADA.

Los análisis bacteriológicos realizados a los filtros durante la primera etapa experimental, demuestran el nivel de contaminación del agua filtrada bajo condiciones de operación dadas. Dichos resultados se observan en los Cuadros 6.8 y 6.9, y en las figuras 6.4 y 6.5.

CUADRO 6.8 NIVEL DE CONTAMINACION BACTERIOLOGICA DEL FILTRO 1 INSTALADO EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR, PARA LA PRIMERA ETAPA EXPERIMENTAL.

DIAS	Fecha	Bacterias Coliformes Totales, (NMP/100 ml)	Bacterias Coliformes Fecales, (NMP/100 ml)	Caudal acumulado teórico, (gal)
1	16-02-94	1,600	920	-
4	19-02-94	920	920	60
12	26-02-94	542	542	180
26	12-03-94	22	17	330
35	21-03-94	278	278	525
42	28-03-94	278	175	630
53	08-04-94	27	17	795
66	21-04-94	109	11	975
78	03-05-94	27	7	1,170
87	12-05-94	27	27	1,305
96	21-05-94	21	20	1,440
103	28-05-94	172	172	1,530
110	04-06-94	172	21	1,600
116	10-06-94	4.5	4.5	1,670
124	18-06-94	14	9	1,730
131	25-06-94	2	2	1,810
143(*)	07-07-94	4	4	1,860

* Se realizó análisis de Escherichia coli el cual es menor de 3 NMP/100ml y bacterias aeróbicas mesófilas igual a 1,460 unidades formadoras de colonias (ufc/ml).

CUADRO 6.9 NIVEL DE CONTAMINACION BACTERIOLOGICA DEL FILTRO 2 INSTALADO EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR, PARA LA PRIMERA ETAPA EXPERIMENTAL.

Días	Fecha	Bacterias Coliformes Totales (NMP/100ml).	Bacterias Coliformes Fecales (NMP/100ml).	Caudal acumulado teórico, (gal)
1	16-02-94	1,600	920	-
4	19-02-94	1,600	278	60
12	26-02-94	920	172	180
26	12-03-94	278	141	390
35	21-03-94	426	212	510
42	28-03-94	348	348	630
53	08-04-94	33	33	795
66	21-04-94	345	63	975
78	03-05-94	49	49	1,170
87	12-05-94	278	221	1,290
96	21-05-94	13	8	1,440
103	28-05-94	5	2	1,545
110	04-06-94	79	22	1,580
116	10-06-94	11	4.5	1,655
124	18-06-94	14	7	1,713
131	25-06-94	4.5	4.5	1,786
143(*)	07-07-94	93	15	1,837

* Se realizó análisis de *Escherichia coli* el cual fue de 9 NMP/100ml y de bacterias aeróbicas mesófilas que dió un resultado de 16,540 ufc/ml (Análisis realizado en laboratorio particular de Microbiología, 7/7/94).

La información presentada en los Cuadros 6.8 y 6.9 con respecto a los galones de agua representan el volumen acumulado teórico de agua filtrada durante la etapa experimental, operando el filtro de 3 a 6 horas al día.

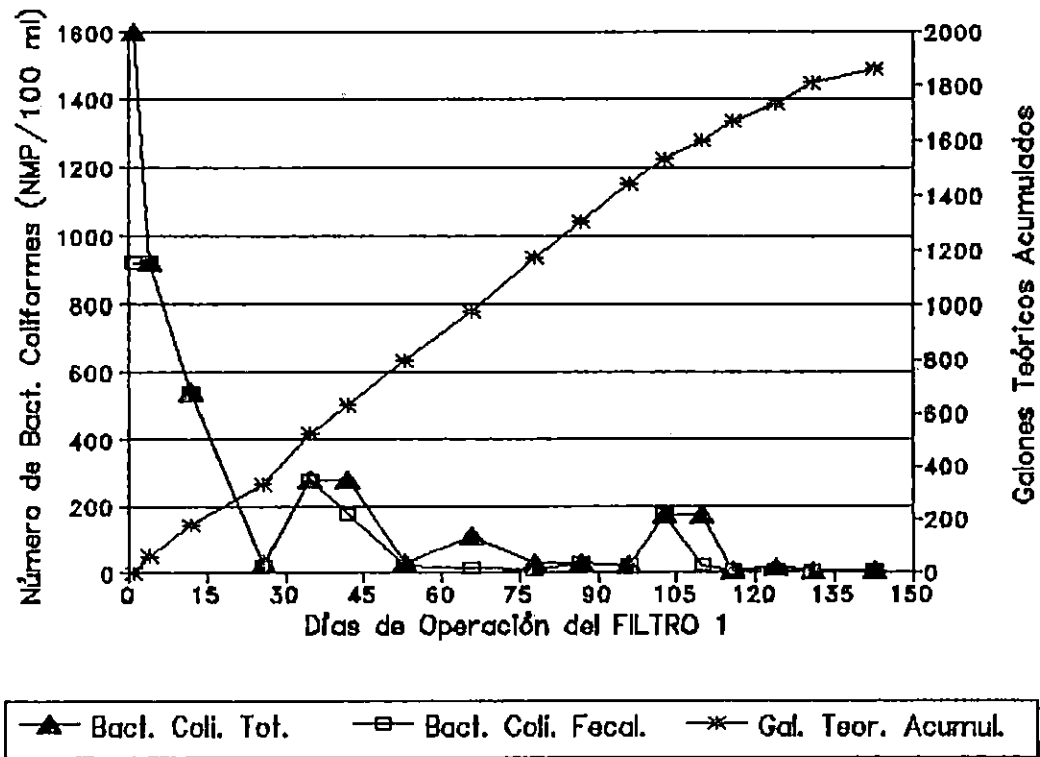


FIGURA 6.4 GRAFICA DE PRESNCA PUNTUAL DE BACTERIAS COLIFORMES TOTALES Y FECALES CONTRA DIAS DE OPERACION Y LOS CAUDALES ACUMULADOS POR EL FILTRO 1 EN LOS DIAS DE OPERACION.

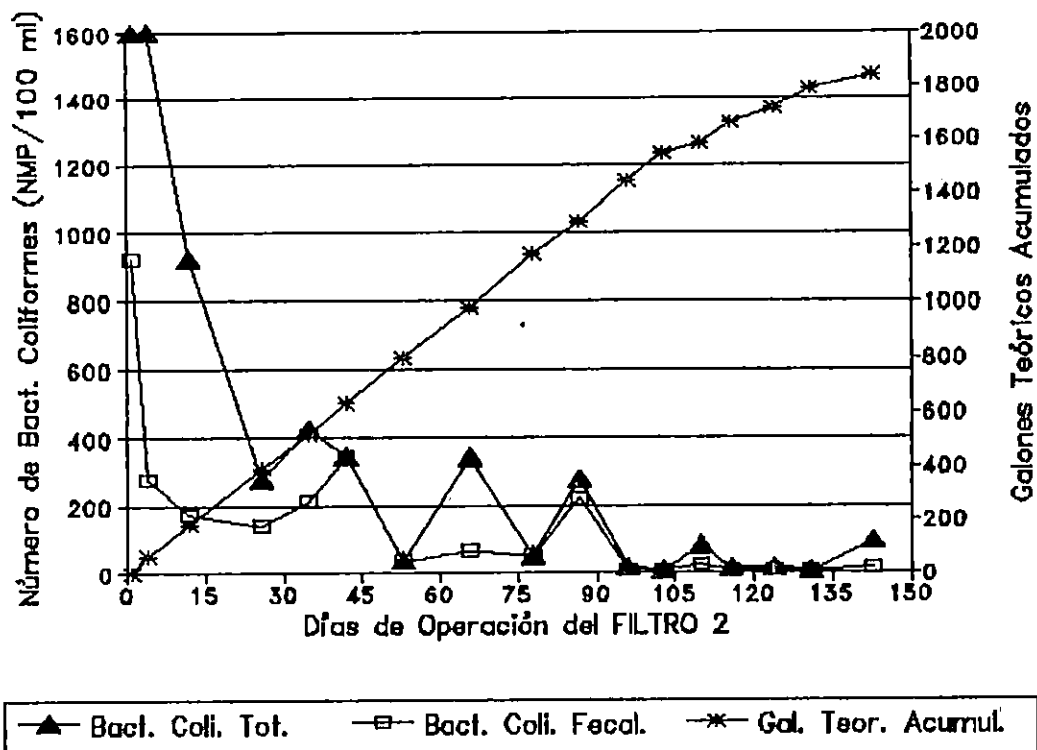


FIGURA 6.5 GRAFICA DE PRESENCIA PUNTUAL DE BACTERIAS COLIFORMES TOTALES Y FECALES CONTRA DIAS DE OPERACION Y LOS CAUDALES ACUMULADOS POR EL FILTRO 2 EN LOS DIAS DE OPERACION.

6.3.4 ANALISIS BACTERIOLOGICO DEL AGUA DE LOS POZOS.

Para establecer una comparación bacteriológica entre la calidad del agua cruda alimentada y el agua filtrada se procedio a muestrear pozos y filtros.

En el cuadro 6.10 se presenta un resumen del nivel de contaminación de los pozos durante todo el periodo de muestreo.

CUADRO 6.10 NIVEL DE CONTAMINACION BACTERIOLOGICA DE POZOS UBICADOS EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR.

FECHA	POZO 1		POZO 2	
	BACTERIAS COLIFORMES TOTALES, NMP/100ml	BACTERIAS COLIFORMES FECALES, NMP/100ml	BACTERIAS COLIFORMES TOTALES, NMP/100ml	BACTERIAS COLIFORMES FECALES, NMP/100ml
19/2/94	920	920	1,600	278
26/6/94	1,600	920	1,600	920
7/7/94 (*)	1,100	150	1,100	1,100
26/7/94	-	-	2,400	2,400
1/8/94	2,400	109	1,600	141
9/8/94	2,400	2,400	920	348
24/9/94	>2,400	1,600	>2,400	>2,400
29/9/94	230	230	940	230
4/10/94	60	60	1,720	1,720
15/10/94	1,300	790	4,260	3,450
19/10/94	9,200	2,780	16,000	16,000
25/10/94	460	240	9,000	4,000

(*) INICIO DE LA SEGUNDA ETAPA EXPERIMENTAL.

CUADRO 6.11 ACONTECIMIENTOS QUE INFLUYERON DURANTE LA PRIMERA ETAPA EXPERIMENTAL EN EL FUNCIONAMIENTO DEL FILTRO 1 INSTALADO EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR.

FECHA	ACONTECIMIENTOS
Antes de: 21/3/94	El filtro se detuvo dos días debido a problemas hidráulicos en el sistema de alimentación de agua del filtro, ocasionados por obstrucción en el punto de cierre del sistema con materia sedimentable y en suspensión.
24/3/94	El sistema de alimentación de agua falla, por lo que se interrumpió el funcionamiento del filtro durante dos días.
21/4/94	Se intentó modificar el filtro regulándole el flujo de agua filtrada, de tal forma que opere el filtro en el rango de velocidad de filtración lenta, pero no pudo lograrse por la forma inadecuada de uso por parte de los beneficiarios, además hubo problemas en el sistema de alimentación de agua ocasionado por obstrucción en el punto de cierre del sistema, por lo cual paró un día. El pozo fue dragado días anteriores a la toma de muestra.
8/5/94	Se dragó el pozo debido a que el nivel de agua era muy bajo.
18/5/94	Se draga nuevamente el pozo. Inicia el invierno y se detecta elevada turbidez en el agua del pozo. El filtro interrumpe su funcionamiento por un día.
1/7/94	Se draga el pozo. El filtro presenta desperfectos en el sistema de alimentación de agua ocasionado por obstrucción con materia sedimentable y en suspensión en el punto de cierre del sistema.
15/7/94	Se draga el pozo.
24/7/94	Se detecta fuga de arena por el efluente.

CUADRO 6.12 ACONTECIMIENTOS QUE INFLUYERON DURANTE LA PRIMERA ETAPA EXPERIMENTAL EN EL FUNCIONAMIENTO DEL FILTRO 2 INSTALADO EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR.

FECHA	ACONTECIMIENTO
15/3/94	El sistema de alimentación agua falla por problemas hidráulicos, ocasionado por obstrucción con materia sedimentable y en suspensión en el punto de cierre, interrumpiéndose el funcionamiento del filtro por un día.
24/3/94	Se draga el pozo.
17/4/94	El sistema de alimentación de agua al filtro falla, interrumpiendo el funcionamiento del filtro por un día.
21/4/94	Se intenta realizar una modificación al filtro consistente en regular el flujo de agua filtrada, de tal forma que opere en el rango de velocidad de filtración lenta, lo cual no se logró por la forma inadecuada de operarlo por parte de los usuarios.
7/5/94	Se draga el pozo. Por haber iniciado el invierno, aumenta la turbidez del agua en el pozo.
1/6/94	Se draga el pozo nuevamente.
1/7/94	Se draga el pozo, y para evitar el acampanamiento los usuarios colocaron una lámina dentro. Aumenta la turbidez.
7/7/94	Se extrae lámina de hierro del pozo.
23/7/94	Se detecta fuga de arena por el efluente.

6.3.5 INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS BACTERIOLOGICOS PARA EL FILTRO 1 EN LA PRIMERA ETAPA EXPERIMENTAL.

Los análisis bacteriológicos realizados al agua procedente del filtro 1 indican un alto contenido de microorganismos (NMP/100 ml) en los primeros días de operación (1600-920) disminuyendo hasta 22, a los 26 días de operación.

Este es el período aproximado en el cual se esperaba que el filtro madurara en flujo continuo.

Debido a fallas ocurridas en el sistema de control del nivel de agua por la elevada turbidez se interrumpió el funcionamiento durante una semana desequilibrándose el proceso, el cual tiende a estabilizarse alcanzando 27 NMP/100ml.

Es de hacer notar como afecta cualquier interrupción en el funcionamiento continuo a la eliminación microbiana.

Durante aproximadamente un mes el sistema funcionó casi constante con 27 NMP/100ml.

Ocurren interrupciones y finalmente se presenta una considerable disminución, alcanzando 2-4 NMP/100 ml.

En la última fecha de muestreo se realizó análisis de Escherichia coli reportándose menos de 3 NMP/100ml.

Los análisis microbiológicos durante todo el período de muestreo (143 días) indican que el agua no es apta para consumo humano, necesitándose una desinfección posterior para garantizar la salud de los usuarios del filtro.

6.3.6 INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS BACTERIOLOGICOS PARA EL FILTRO 2 DURANTE LA PRIMERA ETAPA EXPERIMENTAL.

Los análisis bacteriológicos realizados al agua procedente del filtro dos indican un alto contenido de microorganismos (NMP/100ml) en los primeros días de operación (1600-920) disminuyendo hasta 278, a los 26 días de operación.

Este es el período aproximado en el cual se esperaba que el filtro madurara en flujo continuo.

Debido a fallas ocurridas en el sistema de control del nivel de agua por la elevada turbidez se interrumpió el funcionamiento durante cinco días después de los primeros 26 días de operación. Lo cual produjo desequilibrio en el proceso, el cual tiende a estabilizarse alcanzando 33 NMP/100ml.

Es de hacer notar como afecta cualquier interrupción en el funcionamiento continuo a la eliminación microbiana.

Durante los siguientes 30 días de operación las interrupciones afectarán la eliminación microbiana presentandose una disminución hasta 4.5 NMP/100ml.

En la última fecha de muestreo se realizó análisis de Escherichia coli reportandose de 9 NMP/100ml.

Los análisis microbiológicos durante todo el período de muestreo (143 días) indican que, según los parámetros establecidos, el agua no es apta para consumo humano, necesitándose una desinfección posterior para el cumplimiento de dichas normas.

6.3.7 EVALUACION FISICOQUIMICA Y BACTERIOLOGICA DE LA SEGUNDA ETAPA EXPERIMENTAL.

La segunda etapa experimental tiene como objetivo evaluar el comportamiento de los filtros después de un ciclo de operación, en el que se remueve la capa sucia "zooglea" y se inicia un nuevo período. Se evalúan pozos y filtros y en cada muestreo se hacen análisis bacteriológicos y fisicoquímicos.

6.3.8 EVALUACION FISICOQUIMICA DE POZOS Y FILTROS EN LA SEGUNDA ETAPA EXPERIMENTAL.

Los parámetros que se evaluaron son: conductividad, pH, temperatura, calcio y magnesio, los cuales fueron realizados en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de El Salvador; así como turbidez y nitratos, desarrollados en un laboratorio particular. En los Cuadros 6.13 y 6.14, se detallan los resultados fisicoquímicos obtenidos en las diferentes fechas.

6.3.9 EVALUACION BACTERIOLOGICA DE POZOS Y FILTROS EN LA SEGUNDA ETAPA EXPERIMENTAL.

En esta etapa se evaluó la contaminación bacteriológica de los pozos y del agua filtrada, (Cuadros 6.15 y 6.16), y se calculó el porcentaje de eficiencia en la remoción bacteriológica de los filtros, los cuales son mostrados en el Cuadro 6.17.

**CUADRO 6.13 RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS PARA POZO Y FILTRO N° 2
UBICADOS EN LA COMUNIDAD LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN
SALVADOR EN LA SEGUNDA ETAPA EXPERIMENTAL**

PARAMETRO	24-9-94		29-9-94		4-10-94		15-10-94		19-10-94		25-10-94		VALOR GUIA *
	POZO	FILTRO	POZO	FILTRO	POZO	FILTRO	POZO	FILTRO	POZO	FILTRO	POZO	FILTRO	
Conductividad, (? mhos)	325.00	370.00	240.00	220.00	226.00	225.00	240.00	225.00	230.00	210.00	240.00	210.00	---
pH	6.50	6.50	6.50	7.00	6.00	6.20	6.40	6.80	6.80	6.80	6.70	6.80	6.5 - 9.5
Temperatura, (°C)	27.00	24.00	28.00	23.50	27.50	30.00	27.00	25.00	27.50	30.50	27.50	29.50	—
Turbidez, (UNT)	4.85	4.30	5.40	3.60	4.90	3.20	**	**	3.00	0.95	11.50	0.90	5.00
Nitratos, (ppm)	55.00	44.00	55.00	52.00	61.00	48.00	**	**	52.00	48.00	50.00	42.00	44.30
Calcio, (ppm)	15.72	25.45	16.47	17.96	15.60	20.33	13.47	17.96	14.97	16.47	16.35	19.80	75.00
Magnesio, (ppm)	8.17	14.08	8.18	9.54	11.23	16.08	9.05	9.53	9.53	9.08	10.11	12.89	125.00

(*) Valor guía recomendado por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de El Salvador.

(**) No se realizaron análisis de Nitratos y turbidez.

**CUADRO 6.14 RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS PARA POZO Y FILTRO Nº 1
UBICADOS EN LA COMUNIDAD LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN
SALVADOR EN LA SEGUNDA ETAPA EXPERIMENTAL**

PARAMETRO	24-9-94		29-9-94		4-10-94		15-10-94		19-10-94		25-10-94		VALOR GUIA *
	POZO	FILTRO	POZO	FILTRO	POZO	FILTRO	POZO	FILTRO	POZO	FILTRO	POZO	FILTRO	
Conductividad, (? mhos)	280.00	240.00	225.00	230.00	225.00	227.00	230.00	230.00	210.00	200.00	230.00	220.00	—
pH	6.50	6.00	6.50	6.50	6.00	6.50	6.50	6.80	6.80	6.80	6.70	6.80	6.5 - 9.5
Temperatura, (°C)	26.50	23.30	27.00	24.00	2.80	24.50	27.00	23.50	27.50	27.00	26.50	27.00	—
Turbidez, (UNT)	3.50	1.90	1.10	0.80	1.40	0.95	**	**	0.70	0.35	1.80	0.30	5.00
Nitratos, (ppm)	44.00	35.00	45.00	37.00	57.00	45.00	**	**	37.00	29.00	35.00	30.00	44.30
Calcio, (ppm)	16.47	23.95	13.47	17.96	13.80	17.25	11.97	14.97	16.47	17.96	15.35	18.40	75.00
Magnesio, (ppm)	11.70	15.45	11.81	11.35	9.16	12.14	10.89	10.44	9.08	8.62	11.85	13.50	125.00

(*) Valor guía recomendado por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de El Salvador.

(**) No se realizaron análisis de Nitratos y turbidez.

CUADRO 6.15 RESULTADOS DE ANALISIS BACTERIOLOGICOS EN LA SEGUNDA ETAPA EXPERIMENTAL PARA POZO 1 Y FILTRO 1 INSTALADOS EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR.

Fecha	Bacterias Coliformes Totales, NMP/100ml		Bacterias Coliformes Fecales, NMP/100ml	
	POZO 1	FILTRO 1	POZO 1	FILTRO 1
24-09-94	>2.400	278	1.600	109
29-09-94	230	840	230	630
04-10-94	60	110	60	70
15-10-94(*)	1300	1.300	790	630
19-10-94	9200	1.410	2780	460
25-10-94	460	460	240	460

(*) En esta fecha se reinició la segunda etapa experimental.

CUADRO 6.16 RESULTADOS DE ANALISIS BACTERIOLOGICOS EN LA SEGUNDA ETAPA EXPERIMENTAL PARA POZO 2 Y FILTRO 2 UBICADOS EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR.

Fecha	Bacterias Coliformes Totales, NMP/100ml		Bacterias Coliformes Fecales, NMP/100ml	
	POZO 2	FILTRO 2	POZO 2	FILTRO 2
24-09-94	>2.400	1.600	>2.400	1600
29-09-94	940	1.600	230	1.600
04-10-94	1.720	2.210	1.720	1.720
15-10-94(*)	4.260	3.450	3.450	1.410
19-10-94	16.000	460	16.000	330
25-10-94	9.000	210	4.000	43

(*) En esta fecha se reinició la segunda etapa experimental.

CUADRO 6.17 EFICIENCIA EN LA REMOCION BACTERIOLOGICA EN LA SEGUNDA ETAPA EXPERIMENTAL DEL FILTRO 1 Y FILTRO 2 INSTALADOS EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR.

Fecha	BACTERIAS COLIFORMES TOTALES REMOVIDAS (%)		BACTERIAS COLIFORMES FECALES REMOVIDAS (%)	
	FILTRO 2	FILTRO 1	FILTRO 2	FILTRO 1
24-09-94	33.33	88.42	33.33	93.18
29-09-94	-	-	-	-
04-10-94	-	-	0	-
15-10-94(*)	19.01	0	59.13	20.25
19-10-94	97.12	84.67	97.94	83.45
25-10-94	97.67	0	98.92	-

(*) En esta fecha se reinició la segunda etapa experimental.

(-) Las eficiencias no pudieron ser calculadas debido a la mala operación del filtro (mal manejo).

6.3.10 INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS FISICOQUIMICOS Y BACTERIOLOGICOS DE LA SEGUNDA ETAPA EXPERIMENTAL.

En cuanto a los análisis fisicoquímicos, se efectuaron seis muestreos de los cuales en cinco de ellos se analizó nitratos y turbidez, de los resultados se deduce que los filtros reducen en pequeña proporción los contenidos de nitratos, mientras que se disminuye la turbidez presente en las aguas de los pozos. Sin embargo la remoción no es suficiente para que estos dos componentes alcancen el nivel de aceptación establecidos por la Dirección General de Salud de El Salvador.

Con relación a las eficiencias obtenidas en la remoción bacteriológica, se efectuaron seis análisis al agua de los pozos (bacterias coliformes a la entrada) y también a seis muestras de agua filtrada (bacterias coliformes a la salida), observándose

los siguientes resultados:

- a) El primer análisis indicó que hubo remoción de bacterias coliformes totales (33.33% para el filtro 2 y 88.42% para el filtro 1) y de bacterias coliformes fecales (33.33% para el filtro 2 y 93.18% para el filtro 1) siendo la eficiencia mayor en el filtro 1.
- b) Los resultados del segundo y tercer análisis demostraron que en el proceso de filtración había una contaminación de bacterias coliformes totales y fecales en ambos filtros, lo cual fue causado por un deficiente tratamiento que se le dio al lecho de arena al comienzo de la segunda etapa experimental.
- c) Por lo anterior se precedió a desinfectar la arena con una solución de cloro de 100 ppm, luego se lava con agua y se lleva a estufa a 350°F exponiéndola durante 24 horas. Para comprobar la desinfección de la arena se procede a inocular pequeñas muestras en cuatro tubos conteniendo caldo lactosado, que se encubaron a 35°C por 48 horas, observándose al final de este período que no desarrollaron gas, por lo cual se concluye que la arena se encuentra libre de coliformes. Luego, se procedió a instalar nuevamente la arena en los filtros.
- d) Después se efectuaron tres análisis observándose que en el filtro 2 aumenta gradualmente la remoción de bacterias hasta alcanzar 97.67% para las bacterias coliformes totales y 98.92% para las bacterias coliformes fecales.
- e) En lo que respecta al filtro 1 se obtuvo remoción de bacterias coliformes totales únicamente en el quinto análisis (84.67%). Las bacterias coliformes fecales son removidas en el cuarto y quinto análisis. En el sexto análisis no se realizó el cálculo de la eficiencia por detectarse mayor conta-

minación bacteriana en el agua filtrada, esto se atribuye a que el filtro 1 estuvo inactivo cinco días antes de la toma de la muestra. Al reiniciar su funcionamiento, las bacterias coliformes son arrastradas a través del lecho de arena hasta llegar a las muestras de agua tomadas en esa fecha. Durante esta etapa el agua obtenida no presenta las condiciones requeridas para consumo humano

6.4 FACTORES EXTERNOS INCIDENTES AL DESARROLLO DEL PROYECTO DURANTE LA PRIMERA ETAPA EXPERIMENTAL.

La colaboración de las personas beneficiadas con la instalación de los filtros es un factor primordial para el desarrollo del proyecto. Siendo esta situación difícil de controlar es necesario mencionar los siguientes aspectos que inciden en el desarrollo del proyecto:

- a) El canal de comunicación con la Comunidad fue el Doctor Pedro Pérez, destacado en la Unidad de Salud de Apopa, el cual propició la confianza y el interés de la Comunidad al proyecto.
- b) La presencia de dos menores de edad en uno de los lugares de instalación de los filtros, facilitó el logro de la confianza con los beneficiarios del proyecto, y la concientización del problema que presenta el consumir agua contaminada.
- c) Un problema evidente lo constituyen los malos hábitos de salud e higiene de los pobladores y la poca conciencia del grave problema que afrontan al consumir agua contaminada.
- d) El dragado de los pozos es necesario para aumentar el nivel del agua debido a la sequía; sin embargo, esto provoca el aumento de la turbidez, siendo necesario sedimentar el agua antes de alimentarla al filtro.

OBSERVACIONES

- 1 . El problema más común en el funcionamiento de los filtros ocurrió en el sistema de control de alimentación, el cual se obstruía por las partículas sedimentadas, no lográndose un cierre adecuado y produciéndose fuga de agua en la parte superior de la carcasa del filtro.
- 2 . Los filtros estuvieron sometidos a altas cargas de turbidez debido a las constantes excavaciones de los pozos, principalmente en el período seco.
3. En la etapa de construcción de la unidad de filtración se utilizó un tamiz de latón para separar el lecho de arena con la grava, el cual se destruyó por efecto de la corrosión, generando interrupción en el monitoreo del filtro.
4. La pieza separadora del lecho de arena con la grava, utilizada inicialmente en el filtro (latón) fue sustituida por otra pieza constituida de licra.
- 5 . El agua de los pozos no es potable, según análisis físico-químicos y microbiológicos efectuados. Se tiene un contenido de hierro, manganeso , turbidez y nitratos fuera de los valores guías para la calidad de agua potable.
- 6 . La colaboración de los usuarios es un factor importante para el buen funcionamiento de la unidad de filtración. En este trabajo se tuvo muy buena disposición y colaboración de parte de los usuarios.
7. El costo de la unidad de filtración puede variar dependiendo del material utilizado para la construcción de la estructura de soporte. Para el caso específico de este proyecto la unidad de filtración tiene un costo de 742.00 colones y la estructura de soporte de 409.00 colones, sumando un total de

1151.00 colones para toda la unidad instalada.

- B. Los parámetros de diseño para la construcción de los filtros fueron tomados de los trabajos realizados en la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería Mecánica sobre filtración lenta con lecho de arena.
9. Las variables que se han medido fisicoquímicamente, no son todas las que determinan la calidad del agua para consumo humano, por lo tanto para posteriores estudios sobre filtros lentos deberán considerarse la mayoría de estas.
10. La porosidad lograda por el lecho filtrante, no fue lo suficiente para lograr la filtración lenta.

CONCLUSIONES

- 1 . La remoción de coliformes totales y fecales obtenidos durante el funcionamiento de los filtros, demuestran que el uso de éstos para el mejoramiento en la calidad bacteriológica del agua para consumo humano es una alternativa viable, accesible y de fácil implementación en las zonas rurales, siempre y cuando se cumpla con las recomendaciones para el adecuado funcionamiento de la unidad.
- 2 . Los resultados obtenidos durante el período de experimentación de los filtros fueron afectados por aspectos como los siguientes:
 - a) Hay diferencias en la composición fisicoquímica y bacteriológica en el agua de los pozos.
 - b) El funcionamiento de los filtros fue afectado por fallas en el sistema de control de alimentación de agua al filtro debido al sedimento presente en el agua de los pozos.
 - c) Las condiciones ambientales de los filtros fue distinta, siendo el filtro 2 sometido a mayores temperaturas por exposición directa al sol.
 - d) Los usuarios no mostraron el mismo grado de colaboración en los dos filtros, presentándose mejor disposición tanto al cuidado y mantenimiento por parte de los usuarios del filtro 1.
 - e) En el trabajo de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador realizado por Berrios y Matus (1991), se ensayo con una pieza de Latón, para separar la grava del lecho de arena, la cual fué provada en la pri-

mera etapa experimental del presente trabajo de graduación dando resultados negativos. La pieza sufrió corrosión por lo que no se recomienda para futuras pruebas en filtros.

3. El aumento de la turbidez durante períodos prolongados generó problemas en el sistema de control de alimentación de agua, pues las partículas obstruían el mecanismo de cierre en el sistema de control, produciéndose alteraciones en el funcionamiento del filtro.
4. La operación discontinua del filtro representó un factor determinante para que no se pudiera alcanzar la eficiencia bacteriológica deseada del mismo.
5. Las concentraciones mayores de calcio y magnesio en el agua proveniente de los filtros en comparación con el agua de los pozos (agua sin filtrar), se debe a que a la arena no se le dio tratamiento preliminar para eliminarle la dureza (esto se logra lavándola con ácido). Es importante no obviar este tratamiento en el uso de los filtros.
6. La calidad del agua alcanzada con el filtro utilizado en el presente trabajo no está dentro de los estándares de agua 100% potable para consumo humano, no obstante mejora la calidad de la misma en comparación de la obtenida directamente del pozo.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario darle tratamiento previo al agua para disminuir la alta turbidez. Que podría consistir en sedimentar por un tiempo de 1 hora las partículas presentes y posteriormente decantar el agua con cuidado para ser alimentada a la unidad de filtración.
2. Realizar limpieza al tanque de suministro y utilizar el sistema de drenaje en forma periódica, especialmente en periodos de alta turbidez, ya que es cuando aumentan los sedimentos y de esta forma se logra su evacuación.
3. Realizar limpieza del control de nivel de agua en el tanque de suministro (manguera transparente) evitando el crecimiento de algas y la acumulación de sedimentos.
4. Proteger la unidad de filtración de la radiación solar directa para evitar el calentamiento del agua.
5. Realizar una desinfección del agua filtrada para garantizar su calidad bacteriológica. Mediante ebullición, cloración o colocar otro filtro en serie.
6. El tamiz separador de la grava y la arena puede ser de otro material distinto de licra, por ejemplo nylon, etc. pero no se debe usar latón.
7. Se debe escoger arena de un sector (río, lago, etc.) que se tenga seguridad de que no está muy contaminado.
8. Para futuras construcciones de filtros la escalera debe adherirse a la estructura de soporte y colocarse un pasamanos para mayor seguridad de los usuarios.

9. Muchas partes del sistema de filtración pueden ser disminuidas en sus dimensiones sin afectar el buen funcionamiento del mismo como se detalla a continuación:
- a) Se puede disminuir la altura del lecho de grava ya que únicamente sirve como soporte al lecho de arena.
 - b) La longitud del tubo de PVC de $\frac{1}{2}$ pulgadas que comunica al filtro con el tanque de suministro puede ser recortada a 10 cm. Y la carrera del sistema de control de alimentación de agua al filtro ser reducida a 10 cm.
10. Se debe dar una revisión periódica al sistema de control de agua de alimentación para evitar interrupciones en el funcionamiento del filtro.
11. Es necesario concientizar, y capacitar a los usuarios sobre el mantenimiento de la unidad de filtración para el mejoramiento de la calidad bacteriológica del agua tratada, y dar seguimiento al uso de este tipo de filtro. Específicamente a los usuarios que disponen actualmente del filtro sujeto de estudio en el presente trabajo.
12. Se debe dar una capacitación a los usuarios de la unidad de filtración, que comprenda desde la construcción de la unidad hasta el mantenimiento, para que se le pueda dar seguimiento a la funcionabilidad del filtro.
13. Luego de asegurar la calidad bacteriológica del agua del filtro (recomendación N^o 5), el agua obtenida del filtro por día ha sido estimada para cubrir las necesidades básicas de consumo, preparación de alimentos e higiene personal, el agua para baño debiera ser usada directamente del pozo y puede ser tratada con lejía comercial.

14. Debido a la importancia de la presente investigación en beneficio de una gran mayoría de nuestra sociedad, que carece del servicio de agua potable, se recomienda darle seguimiento al proyecto con el objetivo de mejorar el modelo utilizado y posteriormente promover y difundir su utilización en las zonas rurales carentes de agua potable.
15. Dar seguimiento al trabajo de investigación de filtros lentos de arena tomando en consideración los aspectos siguientes:
 - a) Para aguas con concentraciones de Hierro, manganeso y turbidez bajos, alimentar al filtro directamente; pero, si las concentraciones son demasiado altas. Por ejemplo: Hierro arriba de 1 ppm, turbiedad arriba de 10 UNT, Manganeso arriba de 1 ppm es necesario pretratar el agua de alimentación una sedimentación seguida de una aireación ayudaría a que el filtro además de funcionar bacteriológicamente fuera oxidativa.
 - b) Para aguas con alto contenido de bacterias en la alimentación al filtro será conveniente analizar la posibilidad de aumentar al altura del lecho de arena.
16. Continuar el seguimiento del presente trabajo por medio de horas sociales a estudiantes asignados en proyectos de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de El Salvador.
17. Buscar el apoyo de Instituciones u Organismos para que al igual que la Organización Panamericana de la Salud (OPS) apoyen proyectos de saneamiento de aguas efectuados en la Universidad de El Salvador.

18. para alcanzar la velocidad de filtración lenta hay que modificar la granulometría (disminuir el tamaño de partículas de la arena), aumentar el tiempo de retención del agua en el lecho de arena y aumentar el diámetro de la carcasa del filtro.

GLOSARIO

ADSORCION: Fijación de gases, vapores y sustancias disueltas en la superficie de cuerpos sólidos.

ALGAS: Plantas primitivas de una o muchas células, generalmente acuáticas y capaces de elaborar su propio alimento por fotosíntesis. Contienen clorofila y requieren material alimenticio simple como nitrato. Utilizan el bióxido de carbono y producen oxígeno.

BACTERIAS COLIFORMES: Incluye Escherichia coli y otras bacterias que se asemejan morfológicamente y fisiológicamente, en la actualidad se consideran cuatro especies *E. Coli*, *k. Pneumoniae*, *Enterobacter Cloacae* y *E. Aerogenes*. Las bacterias coliformes suelen encontrarse en el aparato intestinal del hombre y animal, son bacilos cortos, gramnegativos, que fermentan la lactosa y forman ácido y gas. Son anaerobios facultativos y se multiplican con mayor rapidez a temperaturas entre 30 y 37 grados centígrados.

CANASTA CONTENEDORA: Pieza construida con tubería de PVC de 6 pulgadas y con licra, cuya función es contener 10 centímetros de lecho filtrante en la parte superior, que es donde se forma la capa microbiológica o zooglea, siendo responsable de mejorar la calidad del agua.

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD: Es una medida de la uniformidad del tamaño de la arena u otro material granular. Matemáticamente es la relación del tamaño de las mallas que dejan pasar el 60% y el 10% de la muestra respectivamente.

CICLO DE FILTRACION : Es el tiempo de funcionamiento de un filtro, hasta que el lecho filtrante se agota y disminuye la capacidad de eliminación de bacterias coliformes.

CONTROL HIDROSTATICO: Es el mecanismo diseñado con el propósito de controlar la alimentación de agua en el filtro, evitando el derrame o el desperdicio de agua, se le hace referencia como sistema de control de alimentación de agua.

DESINFECCION. Es la eliminación de cualquier agente que pueda causar infección o enfermedad.

DRAGAR: Ahondar y limpiar de escombros u otros materiales que se hallen bajo las aguas.

EMPUJE: Es la fuerza hacia arriba que experimenta todo cuerpo sumergido dentro de un fluido, y es igual al peso de fluido desalojado por dicho cuerpo.

ESCABIOSIS: Enfermedad contagiosa común al hombre y a varios animales domésticos que consiste en multitud de vesículas y pústulas diseminadas por el cuerpo, producidas por el acaro o ácaro, las cuales causan viva picazón.

ESCHERICHIA COLI: Es una especie de bacteria que habita en el intestino del hombre y otros animales, es uno de los organismos específicos del grupo coliforme.

ESTERILIZACION: Es la destrucción o eliminación de cualquier forma de vida, vegetal o animal, de tipo macroscopico, microscopico o submicroscopico que sean nocivos o inocuos, puede llevarse acabo por fuego, calor, radiación o por sustancias químicas.

EXTRAPOLAR: Para una función de la que se conocen sus valores en un intervalo, determinar el valor de la función en un punto exterior al intervalo. Admitiendo que el comportamiento de la función fuera del intervalo es el mismo que dentro de él.

FELDESPATO: Silicato de alumina con potasa, sosa o cal que forma parte de muchas rocas.

HELMINTO: Gusano intestinal que parásita al hombre y a los animales.

IMPETIGO: Enfermedad infecciosa inflamatoria causada por bacterias del tipo de los estreptococos virulentos, que se caracteriza por el apareamiento de pústulas que, tras una evolución, se secan y se convierten en escamas amarillentas.

INOCULAR: Transferir un conjunto de microorganismos de un recipiente a otro.

LECHO POROSO: Es un lecho de partículas finas por donde pasa el agua, y quedan retenidas las bacterias por el efecto de adherencia de estas a las partículas sólidas que se encuentran a su paso, creando de esa manera una capa mucho más fina la que se encarga de retener los nuevos microorganismos que llegan al lecho.

MADURACION: Tiempo necesario para que se forme la película biológica o zooglea.

MANTO FREATICO: Relativo a las aguas acumuladas en el subsuelo, dicese de la capa del subsuelo que contiene estas aguas.

MONITOREO: Programa de muestreo y análisis bacteriológico y fisicoquímico realizados con el objetivo de evaluar el funcionamiento de lo filtros.

NUMERO DE REYNOLDS: Es un número adimensional que representa una medida de la relación del efecto de la inercia con respecto al efecto viscoso de un fluido y es una forma de definir la intensidad del régimen de flujo.

NUMERO MAS PROBABLE (NMP): Es la mejor estimación, de acuerdo con la teoría estadística, del número de microorganismos coliformes presente en una muestra de agua de 100 ml.

ORGANOLEPTICO: Propiedades que se pueden percibir por los sentidos del gusto y el olfato.

PATOGENOS: Microorganismos que causan enfermedad.

PERDIDAS DE CARGA: Es la disminución de la energía entre dos puntos.

PRINCIPIO DE PASCAL: Toda variación de presión en un punto de un fluido en equilibrio se transmite íntegramente y en todas las direcciones.

PRINCIPIO DE ARQUIMEDES: Todo cuerpo sumergido en un fluido en equilibrio, experimenta una fuerza de abajo hacia arriba, llamada empuje, equivalente al peso del fluido desalojado por el cuerpo.

POROSIDAD: Fracción de espacio vacío de un sólido.

POZO ARTESANAL: Hoyo profundo, abierto en la tierra para llegar a la capa acuífera procedente de manantiales subterráneos.

PRESION HIDROSTATICA: Es la presión debida al peso de una columna de agua confinado en un recipiente.

QUISTE: Forma de protección que asumen algunos animales. Generalmente de muy pequeño tamaño, parásitos o no, para pasar una determinada época de su ciclo vital o para protegerse de las condiciones ambientales desfavorables.

TAMAÑO EFECTIVO: Es el tamaño de malla que deja pasar un 10% de la muestra de arena. Es una medida de la relativa actitud de un material filtrante para permitir el paso del agua.

TAMIZAR: Pasar un material granular a través de un tamiz para separar la parte fina de la gruesa.

TEOREMA DE BERNOULLI: Es la ecuación de balance de energía aplicada a fluidos en movimiento.

TURBIDEZ: Suciedad visible en el agua causada por partículas finas generalmente arcilla.

VIRUS: Organismo microscópico responsables de enfermedades contagiosas.

VISCOSIDAD: Es la resistencia a movimiento que presenta un fluido. Es un parámetro de diseño importante para la construcción de equipo de manejo de fluidos.

VISOR: Dispositivo adaptado al tanque de alimentación de agua, con la finalidad de observar el nivel del agua dentro del tanque.

ZOOGLA: Es la película que se forma en el lecho filtrante cuando ha madurado y consta de una gran cantidad de microorganismos biológicamente muy activos que descomponen la materia orgánica.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- APHA (1963). "METODOS ESTANDAR PARA EL EXAMEN DE AGUAS Y AGUAS DE DESECHO". AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIACION. Undécima Edición, Editorial Interamericana. S.A.
- AWWA (1988). "AGUA, SU CALIDAD Y TRATAMIENTO". American Water Works Association. Primera Edición, Editorial UTEHA; México.
- ARTHUR, P Y MILLER, C.E. (1968). "EL AGUA Y LA SALUD DEL HOMBRE". Editorial Limusa. S.A. de C.V. México.
- BERRIOS ORTIZ, J.A.; CHOTO MATUS, S.E Y CASTRO RIVERA, H.E. (1991). "CONSTRUCCION DE UN FILTRO BACTERIOLOGICO PARA USO DOMICILIAR". Reporte Técnico, Proyecto de Ingeniería Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad de El Salvador.
- CABALLERO, P.J. (1963). "METODOS ESTANDAR PARA EL EXAMEN DE AGUAS Y AGUAS DE DESECHO". Editorial Interamericana, S.A, México.
- CALDERON, G.R Y CRUZ MONJE, R. (1994). "NORMAS DE CALIDAD DE AGUA Y CONTROL DE VERTIDOS". Editado por OPS, El Salvador.
- CARRION, J.P. y MENDEZ, G. (1990). "CALIDAD Y TRATAMIENTO DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO".
- CEPIS (1978). "FILTRACION LENTA DE ARENA PARA ABASTECIMIENTO PUBLICO DE AGUA EN PAISES EN DESARROLLO". Programa de Protección de Salud Ambiental; Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, No. 11.44 La Haya, Países Bajos.
- DIRECCION GENERAL DE ESTADISTICA Y CENSOS. (1987-1991). "ANUARIOS ESTADISTICOS". Estado de la Población. Estadísticas vitales.
- FAIR, G.M. y OKUN, D.A. (1979). "PURIFICACION DE AGUAS, TRATAMIENTO Y REMOCION DE AGUAS RESIDUALES". Tomo II, Editorial Limusa, México.

- FOUST, A.S.; WENZEL, L.A; CLUMP, C.W; MAUS, L; BRYCE A.L. (1990). "PRINCIPIOS DE OPERACIONES UNITARIAS". Tercera Impresión, Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México.
- HERNANDEZ GUZMAN, A.C. Y MENDOZA NOLASCO, J.L. (1988). "DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FILTRO DE AGUA PARA USO DOMICILIAR EN AREAS RURALES". Trabajo de Graduación para Optar al Título de Ingeniero Químico. Universidad de El Salvador
- HILLEBOE, H.E. (1993). "MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUA". Décima Tercera reimpresión. Editorial Limusa, S.A. de C.V. México.
- ICAITI (1985). "AGUA POTABLE, ESPECIFICACIONES", Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial, Norma ICAITI 29 001. Guatemala.
- INTUSA (1990). "TUBERIAS Y ACCESORIOS DE PVC Y CPVC". Datos Técnicos. Editado por Industrias de Tuberías S.A. de C.V., San Salvador.
- JANDEL SCIENTIFIC TABLECURVE. (1992). AISN Software para Aplicaciones Estadísticas. USA.
- JIMENEZ MARTINEZ, J.E. (1990). "ENSAYOS DE LABORATORIO PARA EVALUAR FILTROS DE FLUJOS DESCENDENTES QUE UTILIZAN ARENA, CARBON DE CASCARILLA DE ARROZ Y FIBRA DE COCO COMO LECHOS FILTRANTES". Trabajo de Graduación para Optar al Título de Ingeniero Químico. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.
- OMS (1985). "SUPERVISION DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA". Manual DITIAPA No. E-2, Programa de Protección de Salud Ambiental, Perú.
- OMS (1990). "RED DE MONITOREO PARA LA CALIDAD DEL AGUA SUMINISTRADA POR ANDA". Proyecto de Agua Potable y Saneamiento a Poblaciones afectadas. San Salvador.
- OPS (1985). "GUÍAS PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE". Publicación Científica. N° 481.

PEREZ, P.A (1993). "AGUA COMO FACTOR DETERMINANTE DE LA ENFERMEDAD PARASITARIA DE NIÑOS MENORES DE CINCO AÑOS".

Trabajo de Graduación para optar al Título de Doctor en Medicina. Universidad de El Salvador.

PERRY, R. Y CHILTON, C (1983). "MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO". Quinta Edición, Volúmen I, Editorial Mc Graw Hill, México.

REPETTO, G. (1993). "APUNTES SOBRE CALIDAD DE LAS AGUAS DE USO POTABLE". Segunda reimpresión. San Salvador.

UNICEF. (1994). "UNA AGENDA EN FAVOR DE LA INFANCIA Y LA MUJER DE EL SALVADOR". Editado por el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia.

VALIENTE BARDERAS, V. (1990). "PROBLEMAS DE FLUJO DE FLUIDOS". Editorial Limusa, México.

VASQUEZ CANO, L.A.; ANCHETA MONTOYA, R. HUMBER CORNEJO, C.A. Y FUENTE PALMA, J.L. "ANTEPROYECTO DE DISEÑO DE LA INSTALACION DE UN TALLER ARTESANAL PARA LA PRODUCCION DE FILTROS DE POTABILIZACION DE AGUA". Reporte Técnico de Ingeniería Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica. Universidad de El Salvador.

WAGNER, E.G Y LANOIX, J.N. (1961). "ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LAS ZONAS RURALES Y EN LAS PEQUEÑAS COMUNIDADES". Organización Mundial de la Salud, serie de monografías No.42

ANEXOS

ANEXO A
NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA
POTABLE ESTABLECIDAS POR EL
ICAITI

CUADRO A.1 NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA POTABLE ESTABLECIDAS POR EL
ICAITI

ICAITI 29 001

4/11

4. CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES FÍSICAS Y QUÍMICAS

El agua potable debe tener las siguientes características de calidad.

4.1 Características físicas.

Cuadro 1. Características físicas. Límite máximo
aceptable y límite máximo permisible que
debe tener el agua potable

Características	LMA	LMP
Color	5.0 Unidades (1)	50.0 Unidades (1)
Olor	No rechazable	No rechazable
pH (2)	7.0 a 8.5	6.5 a 9.2
Residuos Totales	500.0 mg/L	1 500.0 mg/L
Temperatura	18.0 a 30.0°C	No mayor de 34.0°C
Sabor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5.0 Utu o Utj (3)	25.0 Utu o Utj (3)

(1) Unidad de color en la escala de platino-cobalto.

(2) Potencial de hidrógeno en unidades de pH.

(3) Unidad de turbiedad, sea en unidades Jackson (Utj) o en unidades nefelométricas (Utu). Estas siglas deben considerarse en la expresión de los resultados.

4.1.1 Conductividad eléctrica. El agua potable deberá tener una conductividad eléctrica de 50 a 1500 $\mu\text{mho/cm}$ a 25°C.

4.2 Características químicas del agua potable. Son aquellas características que afectan la potabilidad del agua y que se indican en el cuadro 2 siguiente.

Cuadro 2. Sustancias químicas con sus correspondientes
límites máximos aceptables y límites máximos permisibles

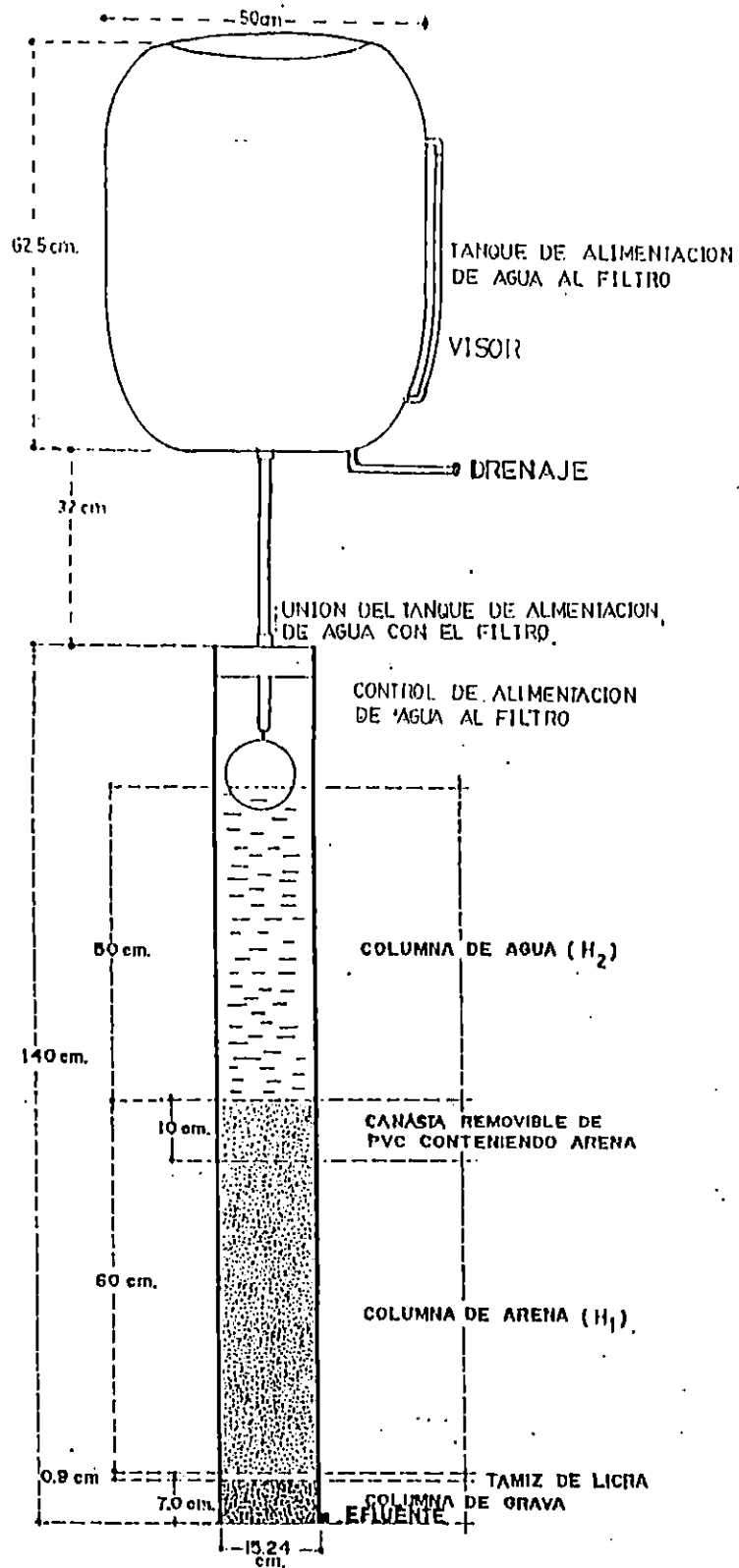
Sustancias químicas	Límites máximos aceptables, mg/L	Límites máximos permisibles, mg/L
Detergentes aniónicos	0.200	1.000
Aluminio (Al)	0.050	0.100
Bario (Ba)	--	1.000
Boro (B)	--	1.000
Calcio (Ca)	75.000	200.000
Cinc (Zn)	5.000	15.000
Cloruro (Cl ⁻)	200.000	600.000
Cobre (Cu)	0.050	1.500
Dureza total (CaCO ₃)	100.000	500.000
Fluoruro (F ⁻), (1)	--	1.700
Hierro total (Fe)	0.100	1.000
Magnesio (Mg)	50.000	150.000
Manganeso (Mn)	0.050	0.500
Níquel (Ni)	0.010	0.020
Sustancias fenólicas	0.001	0.002
Sulfato (SO ₄ ⁻)	200.000	400.000

(1) Véase el numeral 4.3.

Continúa

ANEXO B

ESQUEMA GENERAL Y PIEZAS DEL
FILTRO DE ARENA INSTALADO
EN LA COMUNIDAD RURAL "LA PINERA"
MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR



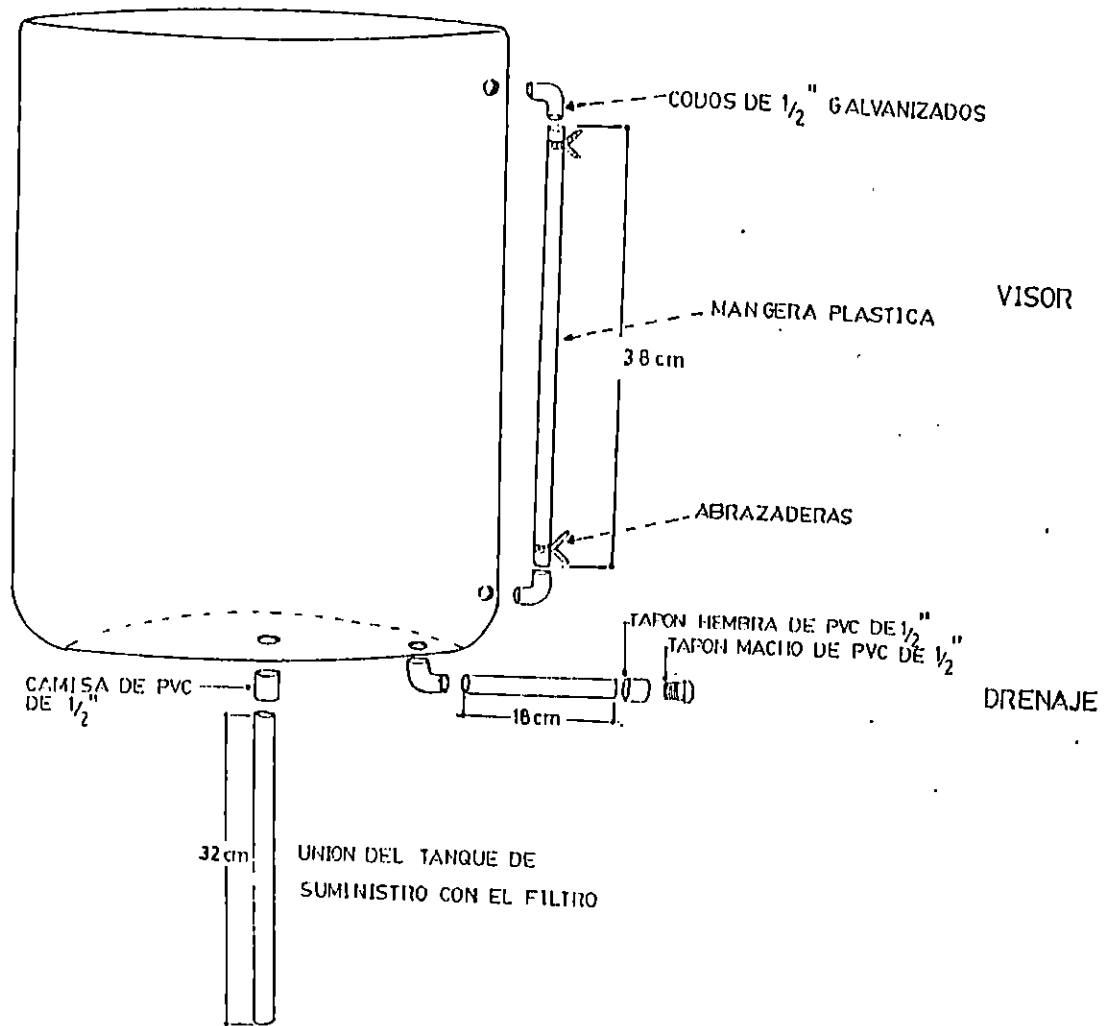
PROYECTO:
 INSTALACION Y EVALUACION DEL FUNCIONAMIENTO DE UN FILTRO DE ARENA DE GOTEADO LENTO PARA POTABILIZACION DE AGUA EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR

CONTENIDO:
 ESQUEMA GENERAL DEL FILTRO DE ARENA

U.E.S. F.I.A.

ESCALA: 1:750
 ENERO / 95

FIGURA B.1



PROYECTO:

INSTALACION Y EVALUACION DEL FUNCIONAMIENTO DE UN FILTRO DE ARENA DE GOTEO LENTO PARA POTABILIZACION DE AGUA EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR

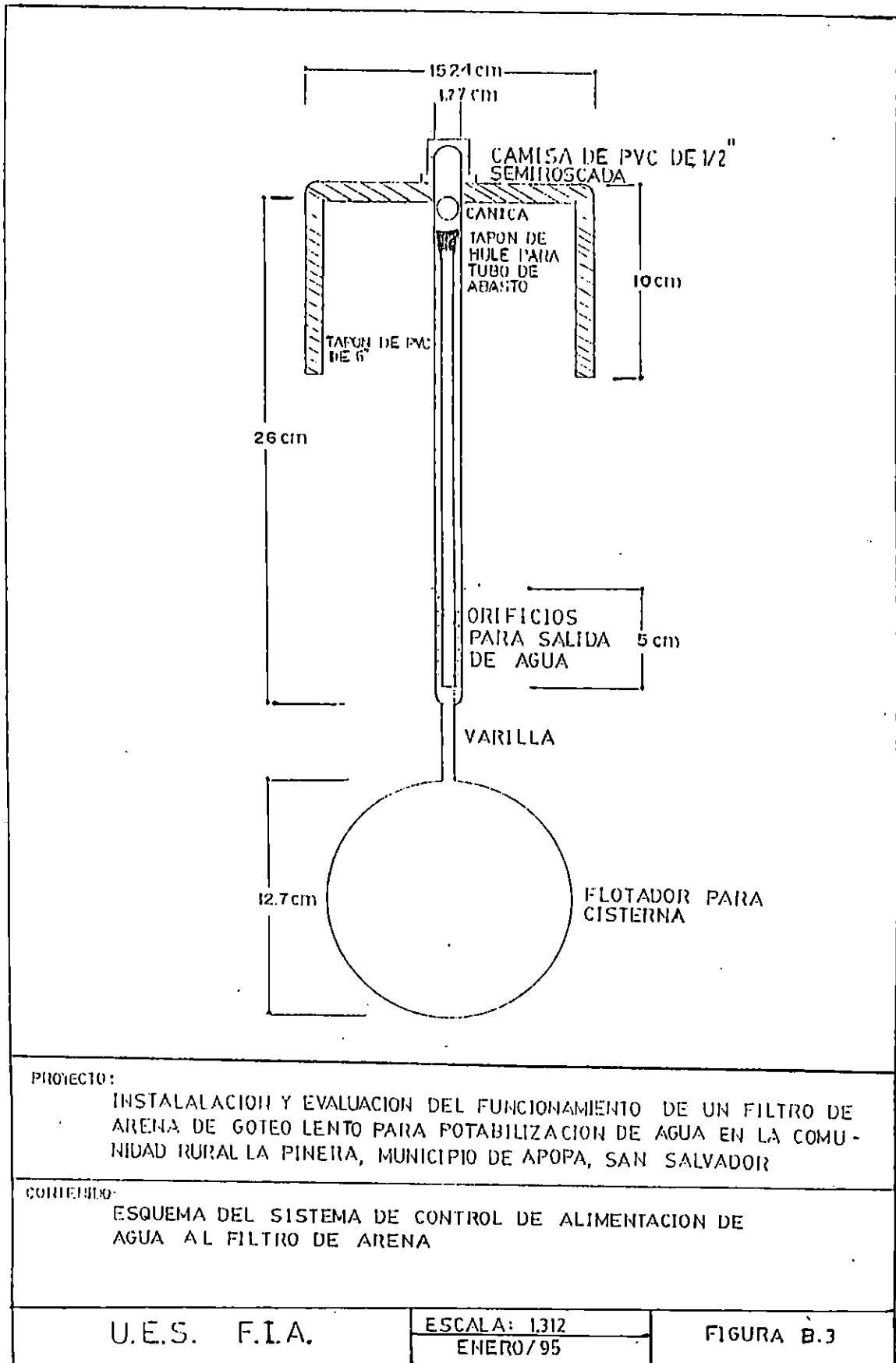
CONTENIDO:

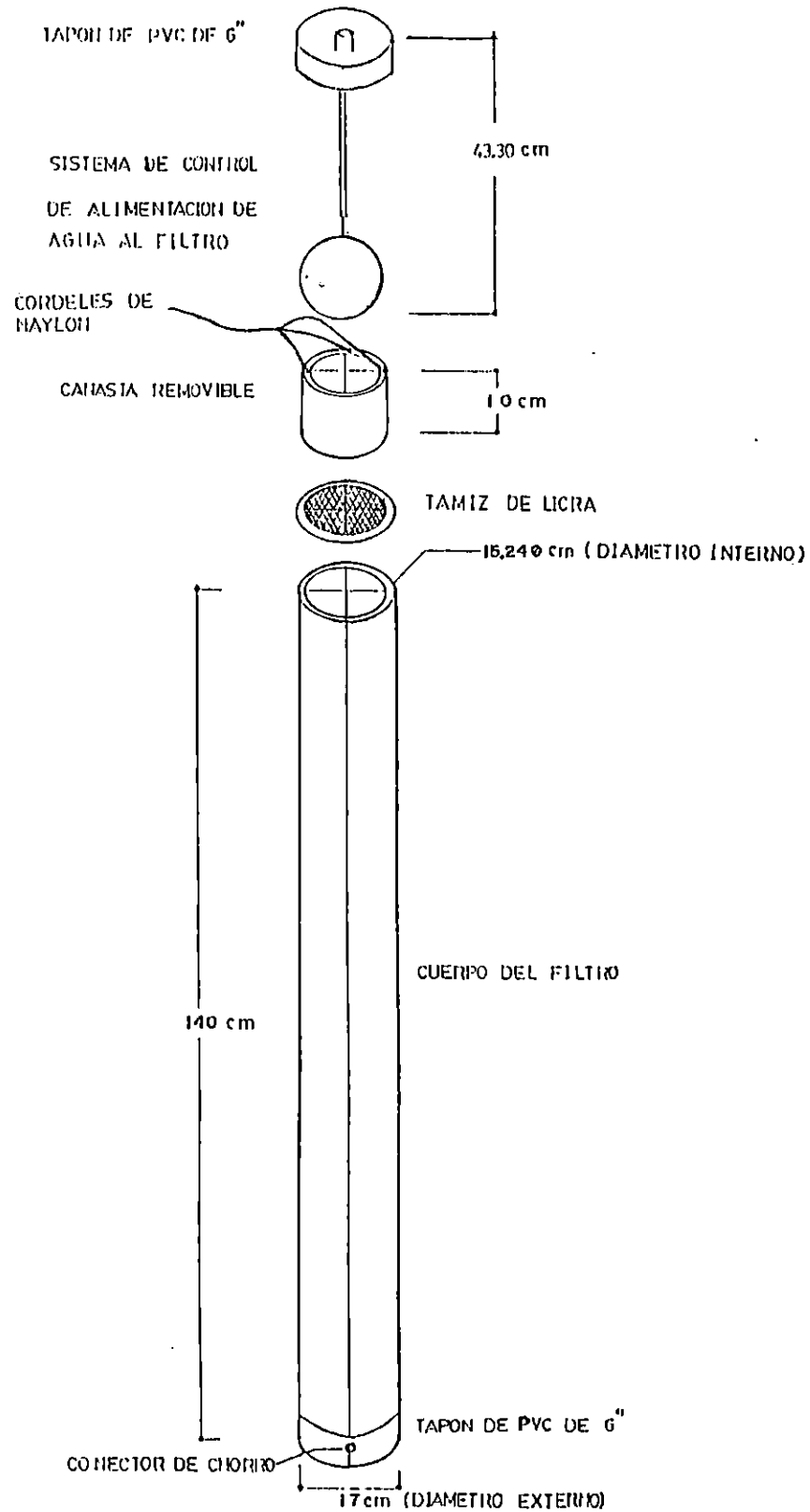
MONTAJE DEL TANQUE DE ALIMENTACION DE AGUA AL FILTRO

U.E.S F.I.A

ESCALA: 1.5
ENERO / 95

FIGURA B.2





PROYECTO:
 INSTALACION Y EVALUACION DEL FUNCIONAMIENTO DE UN FILTRO DE ARENA DE GOTEO LENTO PARA POTABILIZACION DE AGUA EN LA COMUNIDAD RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR

CONTENIDO:
 MONTAJE DEL FILTRO DE ARENA DE GOTEO LENTO, INSTALADO EN LA COMUNIDAD LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR

U.E.S. F.I.A.

ESCALA: 1.750
 ENERO / 95

FIGURA B.4

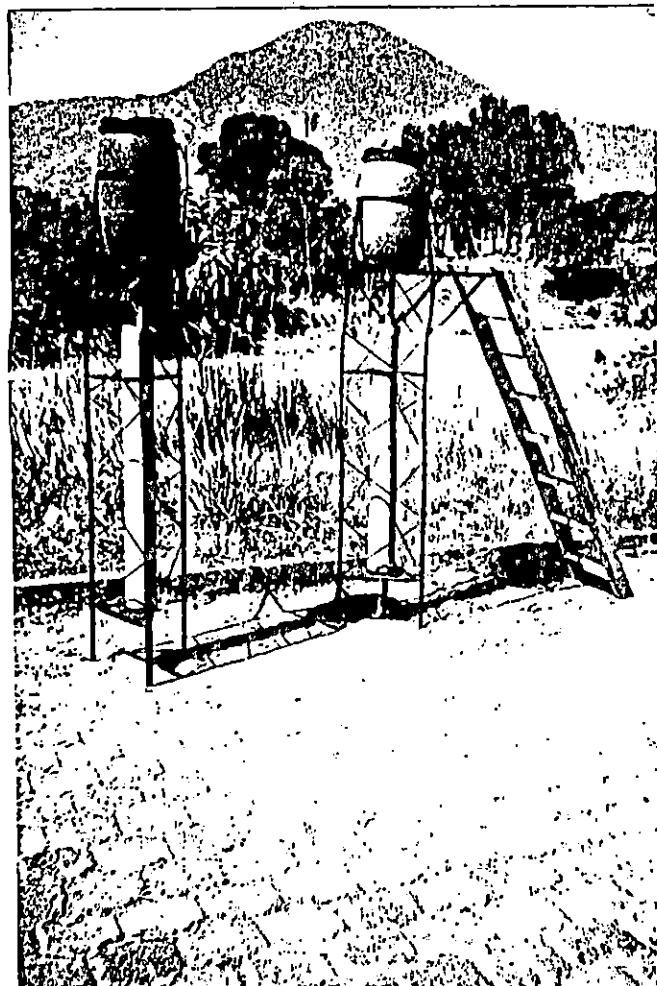


FIGURA B. 5 VISTA FRONTAL DE LOS FILTROS DE ARENA DE GOTEO LENTO
ANTES DE SER INSTALADOS EN LA COMUNIDAD LA PINERA

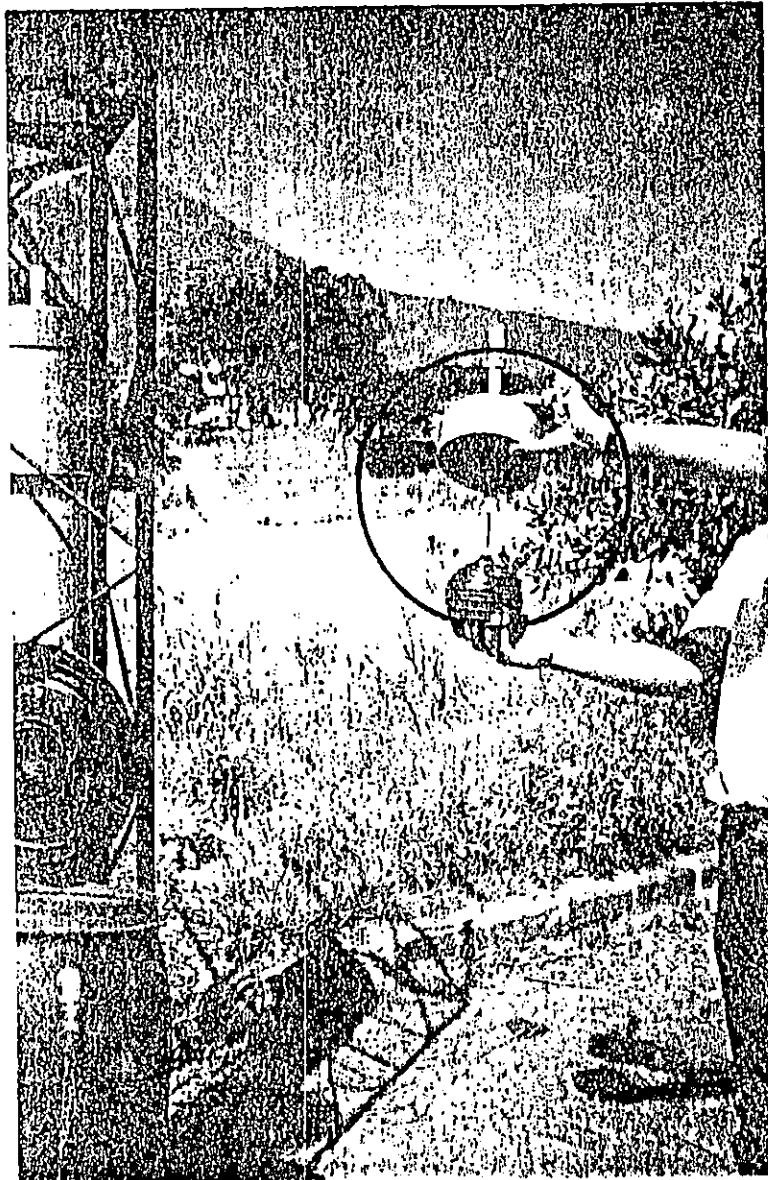


FIGURA B.6 SISTEMA DE CONTROL DE ALIMENTACION AL FILTRO DE ARENA DE GOTEO LENTO INSTALADO EN LA COMUNIDAD LA PINERA

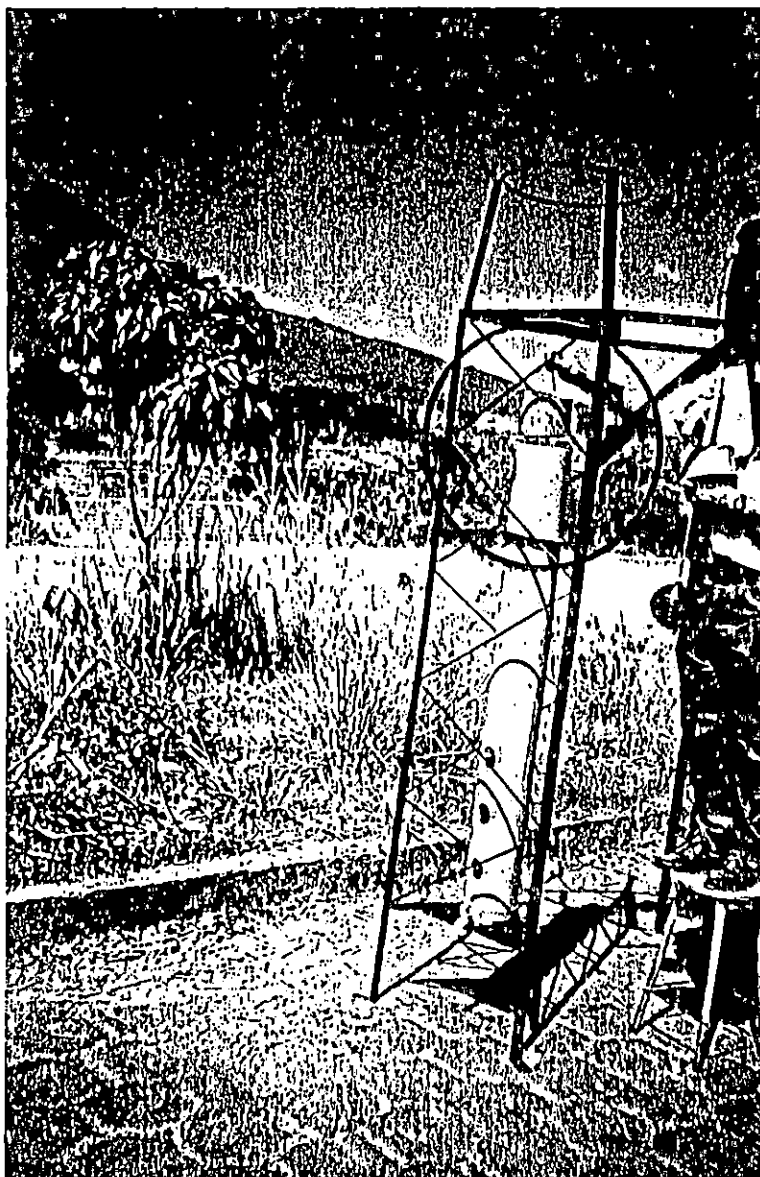


FIGURA B.7 INTRODUCCION DE LA CANASTA EN EL FILTRO DE ARENA DE
GOTEO LENTO INSTALADO EN LA COMUNIDAD LA PINERA

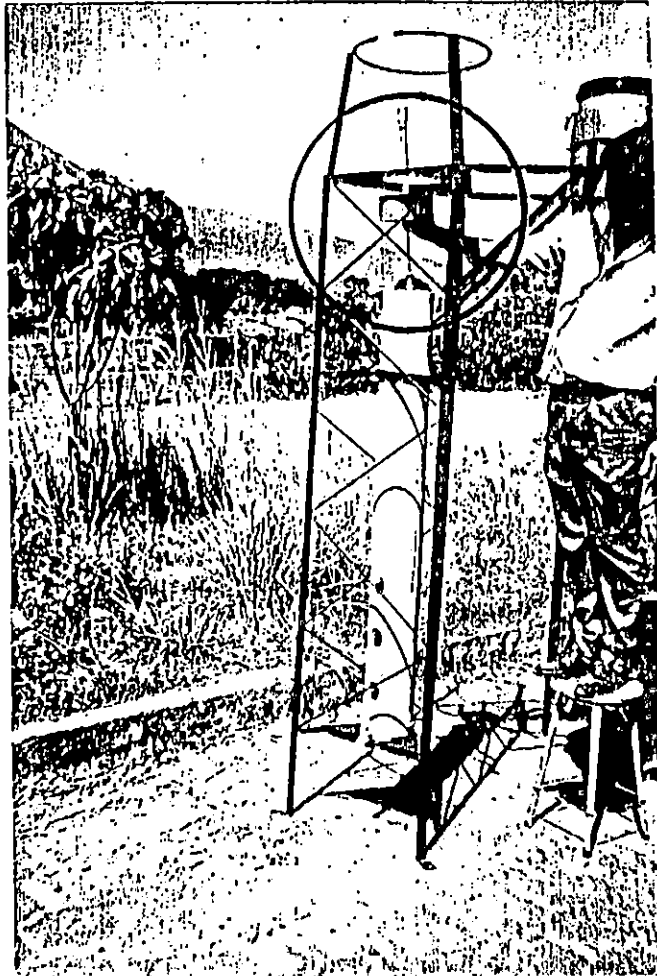
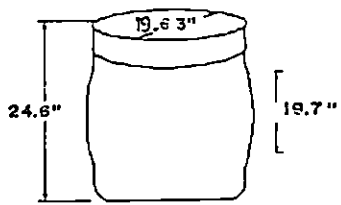
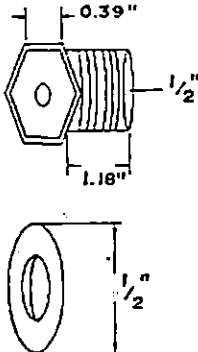
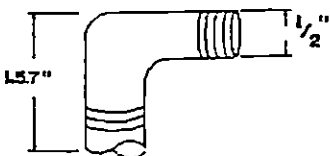
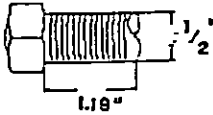


FIGURA B.8 INSTALACION DEL SISTEMA DE CIERRE DE CONTROL DE FLUJO DEL FILTRO DE ARENA DE GOTEO LENTO INSTALADO EN LA COMUNIDAD LA PINERA

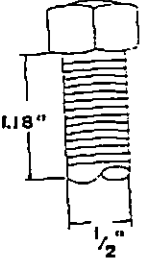
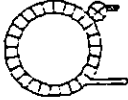
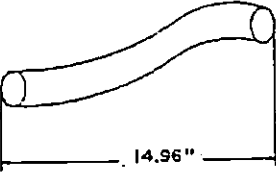
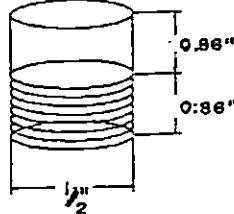
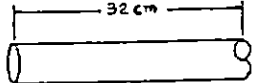
ANEXO C

MANUAL DE CONSTRUCCION DEL
FILTRO, TANQUE DE SUMINISTRO ,
Y SISTEMA DE ALIMENTACION

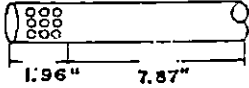
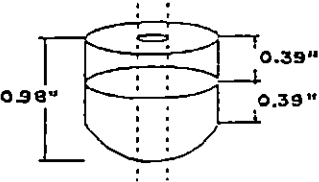
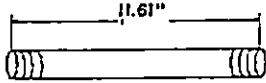
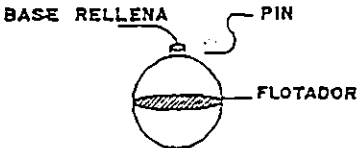
CUADRO C-1 TANQUE DE SUMINISTRO DEL FILTRO DE ARENA DE GOTEADO LENTO

# piezas	OPERACIONES	ESQUEMA	HERRAMIENTA	OBSERVACIONES
1	REALIZAR DOS PERFORACIONES DE 1" EN EL TANQUE DE ALIMENTACION DE AGUA A UNA DISTANCIA DE 50 cm UNA DE LA OTRA		TALADRO, BROCA 13/16" DE DIAMETRO, CINTA METRICA	TANQUE PLASTICO CON CAPACIDAD DE 15 GALONES.
3	TAPONES CON ROSCA MACHO DE 1/2", HACER PERFORACIONES DE 9/16" AL CENTRO DEL TAPON; LUEGO INSERTARLOS EN EL TANQUE, UTILIZAR EMPAQUES PARA ESTO.		TALADRO, BROCA 5/8" DE DIAMETRO	TAPONES PVC DE 1/2". USAR EMPAQUES DE HULE DE 1/2" PARA MANGUERAS DE USO DOMESTICO.
2	CODOS DE 1/2" GALVANIZADOS CON ROSCA A AMBOS LADOS. ENROSCAR SOLO A UN LADO EN LOS TAPONES MACHOS			COLOCAR TEFLON COMO MEDIO DE SELLO EN LA ROSCA.
2	BUSHING GALVANIZADOS DE 1/2" A 1/4" CON ROSCA A AMBOS LADOS. ADAPTAR A LOS CODOS DE 1/2"			PONER TEFLON COMO MEDIO DE SELLO EN LA ROSCA

Continuación CUADRO C-1

# piezas	OPERACIONES	ESQUEMA	HERRAMIENTA	OBSERVACIONES
2	TERMINALES MACHOS DE BRONCE DE 1/4" A 3/8" ENROSCAR A LOS BUSHING GALVANIZADOS.		MANUALMENTE	ADAPTADOR A LOS BUSHING PARA CONECTAR LA MANGUERA PLASTICA
2	ABRAZADERA METALICA SIN FIN DE 3/8" CON TORNILLO SUJETADOR.		UN DESARMADOR PLANO	SUJETAR CON PRESION
1	PEDAZO DE MANGUERA DE 7/16" DE DIAMETRO, TRANSPARENTE, COLOCADO EN LOS TERMINALES MACHO DE BRONCE.		MANUALMENTE	ESPESOR DE 1.5 mm.
1	CAMISA DE PVC DE 1/2" CON UN LADO ROSCADO Y EL OTRO LISO, ENROSCAR EN EL TAPON MACHO QUE SE ENCUENTRA EN EL FONDO DEL BIDON		MANUALMENTE	PONER LOS EMPAQUES UNO POR DENTRO Y EL OTRO POR FUERA, COLOCAR TEFLON.
1	PEDAZO DE TUBO DE PVC 1/2" DE 32 cm. SIRVE DE UNION ENTRE EL BIDON Y EL FILTRO.		MANUALMENTE	PONER EL TUBO A PRESION

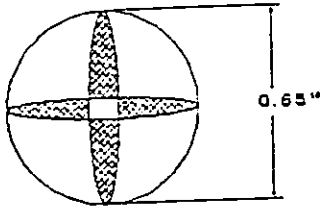
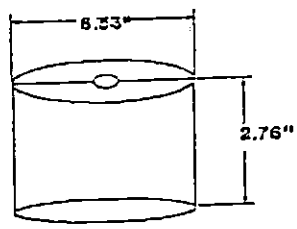
CUADRO C-2 CONTROL DE ALIMENTACION DEL FILTRO DE ARENA DE GOTEO LENTO

# piezas	OPERACIONES	ESQUEMA	HERRAMIENTA	OBSERVACIONES
1	CORTAR UN TUBO DE 1/2" DE DIAMETRO, DE 25 cm DE LONGITUD. A UNA DISTANCIA DE 5 cm DE UNO DE SUS BORDES, HACERLE PERFORACIONES DE 1/8" EN 4 FLANCOS		TALADRO Y BROCA DE 1/8"	PERFORAR SEIS LINEAS DE 7 HOYGS' HASTA TENER 42.
1	PERFORAR TAPON LISO DE 1/2" CON BROCA DE 9 mm DE DIAMETRO. LLENAR HASTA LA MITAD CON PEGAMENTO. SECAR DURANTE 30 min.		TALADRO Y BROCA DE 9mm	SER PRECISO EN LA PERFORACION
1	VARILLA DE HIERRO FUNDIDO DE 29.5 cm CON ROSCA A AMBOS LADOS, Y 9 mm DE DIAMETRO.			VARILLA PARA FLOTADOR.
1	FLOTADOR PLASTICO DE 5" CON ROSCA. UNIR EN LA BASE A UNA VARILLA DE HIERRO. PASAR UN PIN DE FIJACION ENTRE LA VARILLA Y EL FLOTADOR O PEGAR.		TALADRO CON BROCA FINA DE 1/64".	FLOTADOR DE CISTEMA

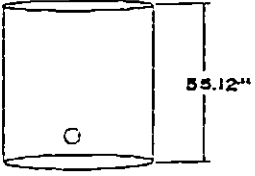
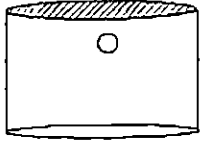
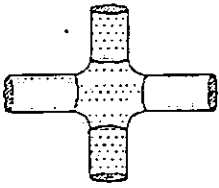
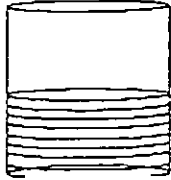
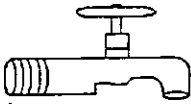
Continuación CUADRO C-2

# piezas	OPERACIONES	ESQUEMA	HERRAMIENTA	OBSERVACIONES
1	COLOCAR UN TAPON DE HULE SEMICONICO DE 1.7 cm DE LARGO DE 1/8" DE DIAMETRO EN EL ADAPTADOR MACHO DEL TANQUE. PEGARLO POR LA PARTE LISA DEL ADAPTADOR.			SECAR POR 10 MINUTOS
1	COLOCAR UN TAPON DE HULE SEMICONICO DE 1.2 cm DE LARGO CON 1/8" DE DIAMETRO INTERNO, A LA VARILLA DE HIERRO FUNDIDO Y PEGARLO.			COMPRAR COMO EMPAQUE DE CHORRO. ENROSCAR CON LA PARTE CONICA HACIA ADETRON DE LA VARRILLA.
1	ADAPTADOR MACHO DE PVC DE 1/2 PULGADA			ADAPTADOR MACEO
1	UNIR LA CAMISA DE PVC DE 1/2" SEMI ROSCADA, AL ADAPTADOR MACHO DE TAL FORMA QUE LA ROSCA QUEDE LIBRE.		MANUALMENE	PONGA TEFLON PARA SELLAR MEJOR

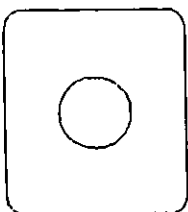
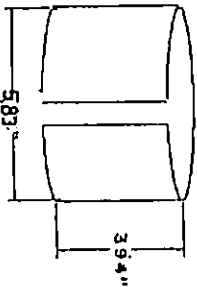
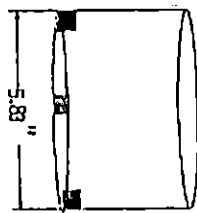
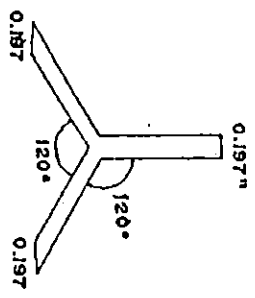
Continuación CUADRO C-2

# piezas	OPERACIONES	ESQUEMA	HERRAMIENTA	OBSERVACIONES
1	<p>PEGAR EL TAPON LISO A LA GRANADA. INTRODUZCA LA CHIBOLA Y ACOPLE EL TUBO AL ADAPTADOR MACHO EN LA PARTE LISA INTERNA DONDE ESTA EL TAPON SEMICONICO PEGADO.</p>	 <p>CHIBOLA</p>		<p>ES LA PARTE CLAVE DEL SISTEMA DE CIERRE.</p>
1	<p>ABRIR UN ORIFICIO A LA TAPADERA PVC DE 6", DE 1/2" Y PONER EN LA BASE EL ADAPTADOR MACHO.</p>			<p>ES LA SECCION NECESARIA PARA QUE LA CHIBOLA HAGA EL CIERRE HIDRAULICO.</p>

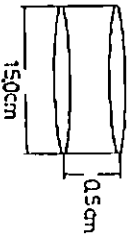
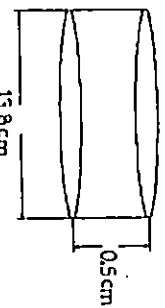
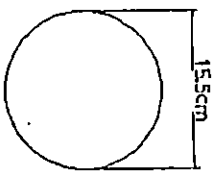
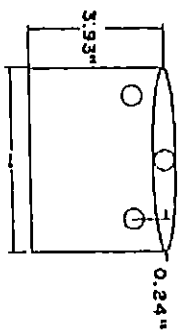
CUADRO C-3 CUERPO DEL FILTRO DE ARENA DE GOTEO LENTO

# piezas	OPERACIONES	ESQUEMA	HERRAMIENTA	OBSERVACIONES
1	UN TUBO DE PVC DE 6" Y 140 cm DE LONGITUD. PERFORAR UN ORIFICIO DE 1/2" A UNA ALTURA DE 1.2cm DE LA BASE.		SIERRA MANUAL, LIMA, TALADRO, BROCA DE 1/2"	AQUI SE COLOCA EL CHORRO
1	A UNA TAPADERA DE PVC DE 6" ABRIR UN ORIFICIO DE 1/2" A UN COSTADO Y A UNA ALTURA DE 1/2 cm DE LA BASE SELLADA.		BROCA DE 1/2" UN TALADRO	EL ORIFICIO HECHO AL TAPON DEBE QUEDAR JUSTO CON EL ORIFICIO HECHO AL TUBO DE 6". (PASO ANTERIOR)
1	A UNA CRUZ DE PVC 1/2" PEGAR A CADA EXTREMO UN PEDAZO DE TUBO DE PVC DE 1/2". PERFORAR PREVIAMENTE. TAPAR A PRESION CON TAPONES.		UNA BROCA 1/8", UN TALADRO, SIERRA MANUAL.	ES EL MANIFUL QUE VA EN EL FONDO DEL FILTRO Y TIENE 200 AGUJEROS.
1	ADAPTAR AL FILTRO UNA CAMISA SEMIROS-CADA DE 1/2" DE PVC PARA CONECTAR A GRIFO.			USE TEFLON Y PEGA DE PVC PARA SELLAR MEJOR.
1	ENROSCAR GRIFO A CAMISA DE 1/2" DE PVC.		MANUALMENTE	AJUSTAR HASTA QUE LLEGUE A LA BASE.


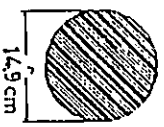
Continuación CUADRO C-3

# piezas	OPERACIONES	ESQUEMA	HERRAMIENTA	OBSERVACIONES
3	CORTAR UN CUADRADO DE 5x5 ca. REDONDEAR LAS ESQUINAS. HACER UN ORIFICIO EN EL CENTRO DE 1" Y PEGARLO AL TUBO COINCIDIENDO CON LA PERFORACION DE 1/2" REALIZADA A 1.2 CM DE LA BASE		TALADRO, BROCA 1" SIERRA, LIMA BASTA PLANA.	SIRVEN COMO TOMAS DE MUESTRA Y NO SON NECESARIOS. PUEDEN OMITIRSE.
1	CORTAR UNA SECCION DE 10 ca DE TUBO DE PVC DE 6" Y REALIZAR CORTES LONGITUDINAL. EFECTUAR UNA REDUCCION DE 4 mm, PEGAR LOS BORDES Y DEJARLO BIEN FIJO A PRESION.		SIERRA MANUAL.	SE FORMA UN TUBO QUE SE PUEDE INTRODUCIR EN EL TUBO DE 6".
3	CORTAR CUÑAS CUADRADAS 1x1 ca Y PEGARLOS DENTRO DEL TUBO DE PVC DE 10 ca DE LARGO; EN UN EXTREMO. VER PASO SIGUIENTE.		SIERRA MANUAL.	PEGAR TRES CUÑAS POR TUBO DISTRIBUIDOS SIMETRICAMENTE.
1	CORTE UNA PIEZA EN PVC CON FORMA DE "Y" CON DIAMETRO TAL QUE SE INTRODUZCA EN EL TUBO DE 10 cm QUE FUE CREADO.		SIERRA MANUAL, LIMA BASTA PLANA	COLOCAR ESTA PIEZA EN LAS CUÑAS QUE SE ENCUENTRAN EN EL TUBO DE 10 ca. PEGAR CON PVC.

Continuación CUADRO C-3

# piezas	OPERACIONES	ESQUEMA	HERRAMIENTA	OBSERVACIONES
1	CORTAR 0.5 CM DE TUBO PVC DE 6" HACER UN ANILLO DE 15 CM DE DIAMETRO.		SIERRA MANUAL, LIMA BASTA PLANA	CORTAR LA PIEZA Y DISMINUIR EL TAMAÑO DEL ANILLO ORIGINAL DE 6" A 15 cm.
1	CORTAR 0.5 CM DE TUBO PVC DE 6" HACER UN ANILLO DE 13.8 CM DE DIAMETRO.		SIERRA MANUAL, LIMA BASTA PLANA	CORTAR LA PIEZA Y DISMINUIR EL TAMAÑO DEL ANILLO ORIGINAL DE 6" A 13.8 cm.
1	CORTAR UN CIRCULO DE LICRA DIAMETRO DE 15.5 CM, INTRODUCIRLO EN MEDIO DE LOS ANILLOS DE DIAMETRO 15 CM Y 13.8cm Y PEGAR.		TIJERA	INTRODUCIR TANIZ DE LICRA EN LA CANASTA RENOVIBLE.
3	HACER TRES ORIFICIOS FINOS A LA CANASTA A UNA ALTURA DE 6 mm DE LA PARTE SUPERIOR Y METER EL CANAMO CON NUDOS INTERMEDIOS PARA FIJARLA BIEN. EL LARGO DEL CANAMO ES DE 1 m.		NAVAJA, FOSFOROS, TALLADRO Y BROCA FINA.	CANAMO DE 146 Lbs. ORIFICIOS A IGUAL DISTANCIA.

Continuación CUADRO C-3

# piezas	OPERACIONES	ESQUEMA	HERRAMIENTA	OBSERVACIONES
2	CORTAR DOS ANILLOS DE 0.5 CM DE PVC DE 6° (15.24 CM) DE DIAMETRO Y REDUCIR AMBOS ANILLOS A 14.9 CM.		SIERRA MANUAL, LIMA BASTA PLANA.	SERVIRAN DE SOPORTE AL TAMIZ DE SEPARACION ENTRE ARENA Y LA GRAVA.
1	CORTAR UN CIRCULO DE 14.9 CM DE DIAMETRO DE LICRA Y COLOCARLA ENTRE LOS ANILLOS SOPORTES.		TIJERA.	TAMIZ DE SEPARACION ENTRE ARENA Y GRAVA. INTRODUCIR AL FILTRO.

ANEXO D
COSTOS DE LOS MATERIALES PARA
LA UNIDAD DE FILTRACION
Y ESTRUCTURA DE APOYO

CUADRO D.1 COSTOS DEL TANQUE DE SUMINISTRO (Un filtro).

UNIDADES	MATERIAL	COSTO (¢)
1	Barril de plástico de 15 gal.	75.0
1	Camisa de PVC de 1/2", media rosca	1.75
6	Empaques para manguera	6.50
3	Tapones macho 1/2"	9.30
2	Codos galvanizados de doble rosca 1/2"	14.0
2	Bushing galvanizados 1/2" a 1/4"	14.0
2	Terminales machos de bronce de 1/4" a 3/8"	7.50
2	Abrazaderas sin fin 7/16"	4.50
1	Manguera transparente de 1/2" y 38 cm de largo	6.00
1	Tubo de PVC 1/2" de 5 cm de largo	0.50
1	Rollo de teflón	4.50
SUB TOTAL		143.55

CUADRO D.2 COSTO DEL CUERPO DEL FILTRO (Un filtro).

UNIDAD	MATERIAL	COSTO (¢)
1	Tubo PVC de 6" de 139 cm de largo	200.00
3	Tapones de PVC 1/2" *	6.50
3	Reductores de tubo a grifo de 1/2" *	2.75
3	Adaptadores de PVC 1/2" con 5cm x 5cm *	6.00
1	Tapadera de PVC 6"	20.00
1	Grifo galvanizado de 1/2"	7.50
1/2	Yarda de licra	25.00
2	Anillos de PVC de 1cm de altura. Diámetro exterior 6"	10.00
1	Tubo de PVC de 6" y 10 cm de largo	25.00
1	Cáñamo de 146 lbs.	9.00
1/2	Galón de pegamento para PVC	168.00
1	Cruz de PVC de 1/2"	8.50
3	Tubos de PVC de 1/2"; de 5cm de largo	1.50
SUB TOTAL		489.75

(*) No son necesarios en la construcción de otros filtros.

CUADRO D.3 COSTOS DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE (DOS FILTROS).

UNIDAD	MATERIAL	COSTO (¢)
5	Angulo de 1" x 1" x 1/8"	250.00
6	Varillas de 3/0" corrugado	105.00
5	Libras de electrodo de 3/32"	23.75
1/4	De pintura negra anticorrosiva	27.00
1	Brocha de 1"	2.60
1	Bolsa de cemento	39.50
1	Libra de clavos de 2 1/2"	3.50
1/2	Metro cúbico de grava	72.50
1/2	Metro cúbico de arena	45.00
2	Reglas de pino de 6 varas, y 4 varas	40.00
2	Yardas de zaranda metálica malla No. 30	45.00
2	Cuartones de 4 varas	100.00
1	Cuartoncillo de 4 varas	40.00
2	Libras de clavos de 4"	14.00
3	Pernos con guacha, rosca de 1 1/2"	10.00
SUB TOTAL		817.85

CUADRO D.4 FLOTADOR HIDRAULICO (Un filtro).

UNIDADES	MATERIAL	COSTO (¢)
1	Flotador de 5" para cisterna	46.00
1	Varilla con rosca a ambos lados largo: 29.5 cm	29.00
1	Tapón liso de PVC 1/2"	2.00
1	Tapón de hule para tubo de abasto	2.00
1	Tapón de hule para grifo de 1/2"	5.00
1	Tubo de 1/2" PVC; largo: 25 cm largo	1.25
1	Adaptador macho PVC 1/2"	1.50
1	Chibola de vidrio de 16.6 mm de diámetro	0.25
1	Camisa de PVC de 1/2" semiroscada	1.50
1	Tapones para tubo de PVC de 6"	20.00
SUB TOTAL		108.50

CUADRO D.5 RESUMEN DE COSTOS PARA LA CONSTRUCCION E INSTALACION DE LOS FILTROS.

UBRAS	COSTO (¢)
Unidad de filtración	741.80
Estructura de soporte	408.92
Un sistema de filtración *	1150.72
Dos sistemas de filtración *	2301.44

(*) Unidad de filtración + Estructura de soporte.

ANEXO E

VARIACION DE LA VELOCIDAD DE
FILTRACION CON RESPECTO A LOS
CAMBIOS DE POROSIDAD.

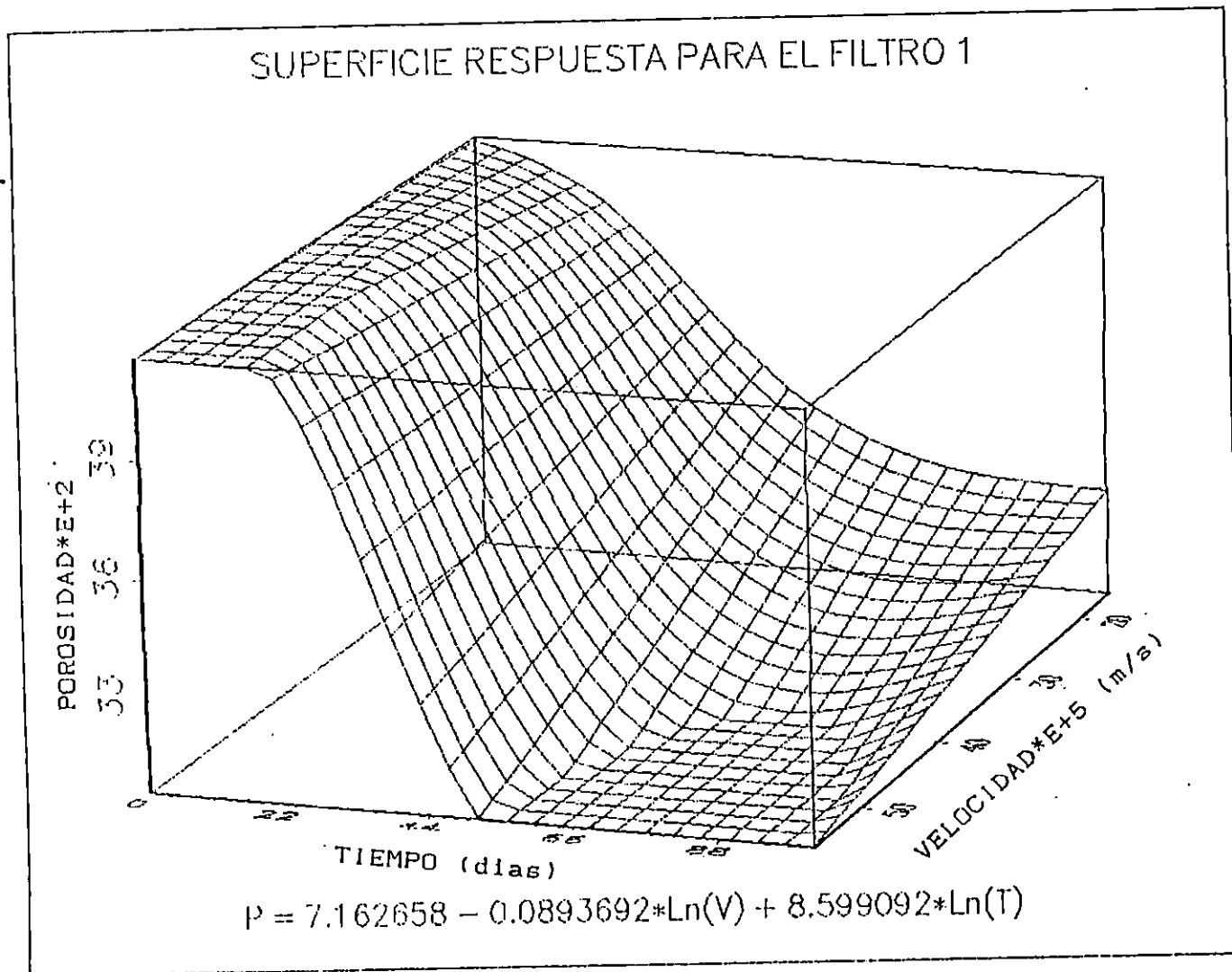
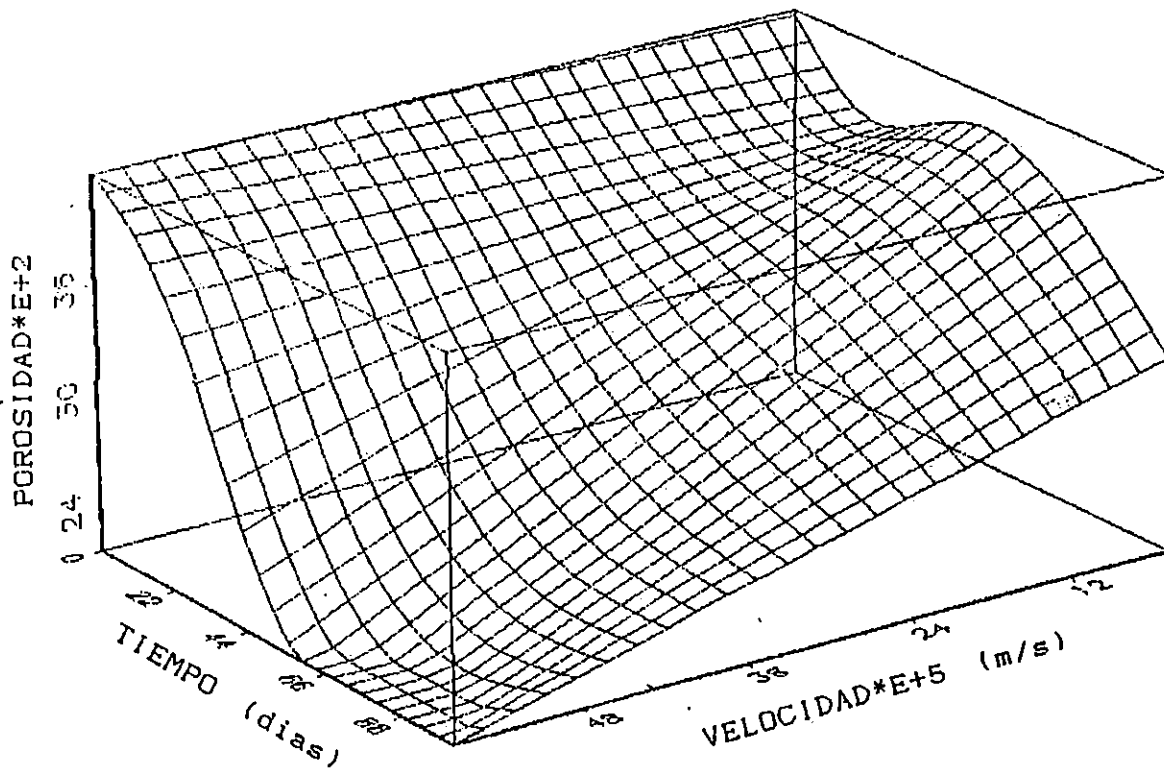


FIGURA E.1 VARIACION DE LA VELOCIDAD DE FILTRACION CON RESPECTO A LOS CAMBIOS DE POROSIDAD PARA EL FILTRO 1 DURANTE EL PERIODO DE PRUEBA.

SUPERFICIE RESPUESTA PARA EL FILTRO 2



$$P = 12.28913 - 0.4663321 * \ln(V) + 7.521279 * \ln(T)$$

FIGURA E.2 VARIACION DE LA VELOCIDAD DE FILTRACION CON RESPECTO A LOS CAMBIOS DE POROSIDAD PARA EL FILTRO 2 DURANTE EL PERIODO DE PRUEBA.

ANEXO F
INFORME DE LOS ANALISIS QUIMICOS DEL
AGUA DE POZOS Y FILTROS

CUADRO F.1 REPORTE DE LOS ANALISIS QUIMICOS DEL AGUA DE LOS POZOS.

POZO 1		POZO 2	
CATIONES (meq/L)	ANIONES (meq/L)	CATIONES (meq/L)	ANIONES (meq/L)
0.6650, (Ca ⁺²)	0.1860, (Cl ⁻)	0.8610, (Ca ⁺²)	0.162, (Cl ⁻)
0.9110, (Mg ⁺²)	1.2100, (HCO ₃ ⁻)	0.6330, (Mg ⁺²)	1.0750, (HCO ₃ ⁻)
0.7260, (Na ⁺)	0.0620, (SO ₄ ⁻²)	0.8180, (Na ⁺)	0.1750, (SO ₄ ⁻²)
0.0510, (K ⁺)	0.5967, (NO ₃ ⁻)	0.0460, (K ⁺)	0.8391, (NO ₃ ⁻)
0.0014, (Fe ⁺²)	0.0120, (PO ₄ ⁻³)	0.1489, (Fe ⁺²)	0.0120, (PO ₄ ⁻³)
0.0313, (Mn ⁺²)		0.0000, (Mn ⁺²)	
Σ = 2.3857	Σ = 2.0671	Σ = 2.5069	Σ = 2.2631

CUADRO F.2 REPORTE DE LOS ANALISIS QUIMICOS DEL AGUA DE LOS FILTROS

FILTRO 1		FILTRO 2	
CATIONES (meq/L)	ANIONES (meq/L)	CATIONES (meq/L)	ANIONES (meq/L)
1.0370, (Ca ⁺²)	0.1750, (Cl ⁻)	0.735, (Ca ⁺²)	0.1370, (Cl ⁻)
0.5690, (Mg ⁺²)	1.2910, (HCO ₃ ⁻)	0.627, (Mg ⁺²)	00.7990, (HCO ₃ ⁻)
0.6698, (Na ⁺)	0.0360, (SO ₄ ⁻²)	0.326, (Na ⁺)	0.0832, (SO ₄ ⁻²)
0.0430, (K ⁺)	0.5644, (NO ₃ ⁻)	0.018, (K ⁺)	0.5644, (NO ₃ ⁻)
0.00035, (Fe ⁺²)	0.0095, (PO ₄ ⁻³)	0.039, (Fe ⁺²)	0.00690, (PO ₄ ⁻³)
0.0002, (Mn ⁺²)		0.000, (Mn ⁺²)	
Σ = 2.3212	Σ = 2.0764	Σ = 1.745	Σ = 1.5905

F.1 BALANCE ENTRE ANIONES Y CATIONES PARA LAS AGUAS DE LOS POZOS Y
LOS FILTROS

LA ECUACION DE CALCULO ES LA SIGUIENTE:

$$RV = \frac{\sum \text{CATIONES} - \sum \text{ANIONES}}{\sum \text{CATIONES} + \sum \text{ANIONES}} * 100$$

Donde RV es el balance de iones del agua.

Sustituyendo los valores tomados del Cuadro F.1 y F.2 tenemos:

$$\text{Pozo 1.} \quad RV = \frac{2.3857 - 2.0671}{2.3857 + 2.0671} * 100 = 6.74\%$$

$$\text{Pozo 2.} \quad RV = \frac{2.5069 - 2.2631}{2.5069 + 2.2631} * 100 = 5.11\%$$

$$\text{Filtro 1.} \quad RV = \frac{2.3213 - 2.0760}{2.3213 + 2.0760} * 100 = 5.57\%$$

$$\text{Filtro 2.} \quad RV = \frac{1.745 - 1.5905}{1.745 + 1.5905} * 100 = 4.63\%$$

El RV sirve para comprobar la confiabilidad de los resultados obtenidos en los análisis, está fundamentado en la neutralidad química del agua. En aguas de origen natural se acepta un RV < 10% como parámetro para aceptar un análisis confiable.

F.2 CLASIFICACION DE SHCHOUKAREV

Emplea como indice de clasificación los iones que se encuentran en un porcentaje superior al 25% del total de miliequivalentes de aniones o de cationes por litro. Con respecto a los aniones, tenemos:

1. Aguas Bicarbonadas, meq HCO_3^- > 25% de los aniones.
2. Aguas Sulfatadas, meq SO_4^{2-} > 25% de los aniones.
3. Aguas Cloruradas, meq Cl^- > 25% de los aniones.
4. Aguas Bicarbonatadas - Sulfatadas, meq HCO_3^- > 25% y meq SO_4^{2-} > 25% de los aniones.
5. Aguas Bicarbonatadas - Cloruradas, meq HCO_3^- > 25% y meq Cl^- > 25% de los aniones.
6. Aguas Sulfatocloradas, meq SO_4^{2-} > 25% y meq Cl^- > 25% de los aniones.
7. Aguas Sulfato Cloruradas bicarbonatadas, meq SO_4^{2-} > 25%, meq Cl^- > 25% y meq HCO_3^- > 25% de los aniones.

Con respecto a los cationes, la clasificación se hace de la siguiente manera:

1. Aguas Cálcidas, meq de Ca^{2+} > 25% de los Cationes.
2. Aguas manésicas, meq Mg^{2+} > 25% de los cationes.
3. Aguas Sódicas, meq Na^+ > 25% de los cationes.

4. Aguas Calcio - Magnésicas, meq $\text{Ca}^{+2} > 25\%$ y meq $\text{Mg}^{+2} > 25\%$ de los cationes.
5. Aguas Calcio - Sódicas, meq $\text{Ca}^{+2} > 25\%$ y meq $\text{Na}^+ > 25\%$ de los cationes.
6. Aguas Magnesio - Sódicas, meq $\text{Mg}^{+2} > 25\%$ y meq $\text{Na}^+ > 25\%$ de los cationes.
7. Aguas Calcio-Magnesio-Sódicas, meq $\text{Ca}^{+2} > 25\%$, meq $\text{Mg}^{+2} > 25\%$ y meq $\text{Na}^+ > 25\%$ de los cationes.

CUADRO F.4 CLASIFICACION DE SHCHOUKARREV PARA CATIONES.

SUSTANCIA	POZO 1 % meq/L	POZO 2 % meq/L	FILTRO 1 % meq/L	FILTRO 2 % meq/L
Ca^{+2}	28.1	34.34	44.67	42.12
Mg^{+2}	38.5	25.25	24.51	35.93
Na^+	30.68	32.62	28.85	18.68
K^+	2.15	1.83	1.85	1.03
Mn^{+2}	0.55	0.00	0.015	0.00
Fe^{+2}	0.059	5.94	0.09	2.23

CUADRO F.4 CLASIFICACION DE SHCHOUKAREV PARA ANIONES

SUSTANCIA	POZO 1 % meq/L	POZO 2 % meq/L	FILTRO 1 % meq/L	FILTRO 2 % meq/L
Cl^-	8.99	7.15	8.43	8.61
HCO_3^-	58.53	47.50	62.18	50.23
SO_4^{-2}	3.01	7.73	1.73	2.075
NO_3^-	28.86	37.07	27.18	35.48
PO_4^{-3}	0.58	0.53	0.457	0.434

La clasificación de Shchoukarev respecto a los cationes (Cuadro F.3) es:

1. Los pozos 1 y 2, tienen aguas calcio magnésico-sódicas.
2. El filtro 1, tiene aguas calcio sódicas.
3. El filtro 2, tiene aguas calcio magnésicas.

La clasificación de shchoukarev respecto a los aniones (Cuadro F.4) es :

1. Los pozos y filtros analizados tiene aguas bicarbonatadas.

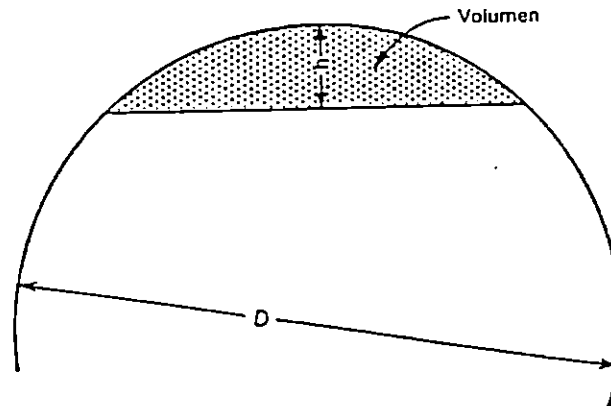
ANEXO G
TABLAS MATEMATICAS
ESFERAS: VOLUMENES Y SEGMENTOS

Tabla G.1 ESFERAS: VOLUMENES Y SEGMENTOS.

h = flecha o altura del segmento; D = diámetro de la esfera

h/D	Vol. del seg. D^3	Vol. del seg. Vol. de la esf.	h/D	Vol. del seg. D^3	Vol. del seg. Vol. de la esf.	h/D	Vol. del seg. D^3	Vol. del seg. Vol. de la esf.	h/D	Vol. del seg. D^3	Vol. del seg. Vol. de la esf.
0.01	0.000156	0.000298	0.16	0.035923	0.068608	0.31	0.119756	0.228718	0.41	0.191877	0.366458
.02	.000619	.001184	.17	.040251	.076874	.32	.126534	.241664	.42	.199503	.381024
.03	.001385	.002646	.18	.044787	.085536	.33	.133426	.254826	.43	.207180	.395686
.04	.002446	.004672	.19	.049522	.094582	.34	.140425	.268192	.44	.214901	.410432
.05	.003796	.007250	.20	.054454	.104000	.35	.147524	.281750	.45	.222660	.425250
.06	.005429	.010368	.21	.059573	.113778	.36	.154717	.295488	.46	.230450	.440128
.07	.007338	.014314	.22	.064875	.123904	.37	.161998	.309394	.47	.238265	.455054
.08	.009517	.018176	.23	.070353	.134366	.38	.169361	.323456	.48	.246099	.470016
.09	.011960	.022842	.24	.076001	.145152	.39	.176799	.337662	.49	.253946	.485002
.10	.014661	.028000	.25	.081812	.156250	.40	.184306	.352000	.50	.261799	.500000
.11	.017613	.033638	.26	.087780	.167648						
.12	.020809	.039744	.27	.093900	.179334						
.13	.024246	.046306	.28	.100160	.191296						
.14	.027914	.053312	.29	.106560	.203522						
.15	.031809	.060750	.30	.113097	.216000						

*Dados la flecha del segmento h , y el diámetro de la esfera, D , fórmese primero la relación h/D , y encuéntrese en la tabla el valor de (volumen del segmento D^3); multiplíquese luego este último valor por D^3 , lo que da: (volumen del segmento D^3) $\times D^3$ = volumen del segmento.



(Perry y Chilton, 1983)

ANEXO H
PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO
PARA LOS ANALISIS
BACTERIOLOGICOS

Comentario General.

El análisis de bacterias coliformes se usa para medir la adecuación de un agua a su uso por el hombre y es útil para determinar la calidad bacteriana de una agua determinada.

Técnica de la fermentación en tubos múltiples.

Las bacterias coliformes se detectan en el agua colocando porciones de una muestra en caldo lactosado. El caldo lactosado es un medio bacteriológico normalizado que contiene azúcar lactosa en caldo de triptosa. Las bacterias coliformes son las que crecerán en este medio a una temperatura de 35°C, fermentarán y producirán gas a partir del azúcar, en un período de 48 horas. Así, para detectar estas bacterias, el análisis sólo necesitará inspeccionar los tubos de fermentación, para ver si hay gas. En la práctica se usan tubos múltiples de fermentación con una dilución decimal para cada muestra.

Material y Equipo necesario.

- 1 Autoclave
- 1 Incubadora
- 1 Baño de María
- 1 Asa bacteriológica
- 15 Tubos conteniendo caldo lactosado, esterilizados
- 15 Tubos conteniendo caldo bilis verde brillante, esterilizados
- 15 Tubos conteniendo caldo Escherichia coli, esterilizados
- 3 Cajas Petri con agar eosina azul de metileno (EMB)
- 1 Pipeta estéril de 10 ml, 1 ml, 0.1 ml
- 45 Tubos Durham

Técnica para la inoculación y/o la dilución de la muestra.

Todas las inoculaciones y diluciones de especímenes acuosos deben

ser exactas y deben hacerse de tal modo que no llegue a aquéllos ningún contaminante procedente del aire, el equipo, las ropas o los dedos bien sea directamente o por medio de las pipetas contaminados.

Pruebas presuntivas de bacterias coliformes.

1. Agítese vigorosamente 20 veces la botella del espécimen antes de sacar los volúmenes de muestra.
2. Inocular 10 ml de muestra de agua con la pipeta de 10 ml a cada uno de los primeros cinco tubos que contienen caldo lactosado. Es importante darse cuenta que el volumen de muestra aplicado a los primeros cinco tubos conteniendo caldo lactosado dependerá del tipo de agua que se se esté analizando. El volumen de muestra aplicado a cada tubo puede variar de 10 ml para aguas de alta calidad, hasta valores de 0.00001 ml (aplicada con 10 ml de muestra diluída) para espécimen fecal.
3. Inocular 1 ml de muestra en cada uno de los siguientes cinco tubos que contienen caldo lactosado.
4. Inocular 0.1 ml de muestra en cada uno de los restantes cinco tubos que contienen caldo lactosado.
5. Después de inocular todas las porciones de la muestra en sus respectivos tubos, agítese suavemente la gradilla con los tubos para asegurarse una buena mezcla de la muestra con el medio de cultivo. No agite violentamente, para evitar la entrada de burbujas de aire en los tubos de fermentación, lo cual invalidará el análisis.
6. Incube a 35°C por 48 horas.
7. Al final del período de incubación de 48 horas examine los tubos para determinar la presencia o ausencia de gas. Si cualquiera de los tubos presenta gas se debe asumir que en la muestra hay bac-

terias coliformes y la prueba presuntiva es positiva.

Análisis de determinación bacterias coliformes totales.

1. Inocule en caldo bilis verde brillante 0.1 ml de los tubos que en la prueba presuntiva hallan dado positivo.
2. Incube los tubos a 35°C por 48 horas.
3. Verifique los tubos que hallan formado gas (positivos).
4. Lea en las tablas respectivas el número mas probable por 100 ml (NMP/100 ml) de bacterias coliformes totales.

Análisis de determinación de bacterias coliformes fecales.

1. Inocule en caldo Escherichia coli, 0.1 ml de los tubos que en la prueba presuntiva hallan dado positivo.
2. Incube los tubos a 44.5°C por 48 horas.
3. Verifique los tubos que hallan formado gas (positivos).
4. Lea en las tablas respectivas el NMP/100 ml de bacterias coliformes fecales.

Análisis de determinación de bacterias Escherichia coli.

1. De los tubos positivos de la prueba presuntiva, siembre en cajas Petri con agar eosina azul de metileno (EMB) por el método de estrias, la inoculación se realiza seccionando una caja Petri en cinco partes y sembrando una misma dilución en una sola caja Petri.
2. Incube las cajas a 44.5°C por 48 horas.
3. Verifique las siembras que tengan morfología típica de Escherichia coli (verde metálico).
4. Lea en las tablas respectivas el NMP/100 ml de Escherichia coli.

Método de cálculo del Número Más Probable por 100 ml (NMP/100 ml).

Ejemplo No. 1.

Si la lectura de los tubos que han formado gas o positiva es 5 (de

10 ml) 5 (de 1 ml) 4 (de 0.1 ml), (5/5 5/5 4/5).

Entonces se ubica en la tabla de MNP cada uno de los números del numerador de cada lectura en la fila correspondiente y se lee el número más probable de bacterias por cada 100 ml (NMP/100 ml) en la cuarta columna (derecha).

En este ejemplo es:

5	5	4	1,600
---	---	---	-------

Ejemplo No. 2

Si antes de inocular las muestras de agua en caldo lactosado se practica una dilución de 1 en 10, lo cual significa que se colocan 10 ml de muestra de agua en 90 ml de agua destilada estéril; ya cuando se tiene la muestra de agua diluida se procede a inocular 10 ml de la misma en 5 tubos con caldo lactosado y 0.1 ml en los restantes 5 tubos. El análisis continúa con la inoculación de los tubos que han formado gas en tubos que contengan caldo verde brillante y caldo Escherichia coli, para la determinación de bacterias coliformes totales y bacterias coliformes fecales respectivamente.

Como en el ejemplo anterior si la lectura de los tubos que han formado gas es:

5	5	4	1,600
10 ml	1 ml	0.1 ml	NMP/100 ml

La lectura obtenida en las tablas de NMP/100 ml se multiplica por 10, siendo este el resultado real de bacterias: 16,000 Bacterias/100 ml

Entonces, el resultado obtenido de las tablas del número más probable por cien milímetros se multiplica por diez. El número de tubos positivos es 5 (de 10 ml) 5 (de 1 ml) 4 (de

0.1 ml). La lectura obtenida es $1600 \times 10 / 100 \text{ ml} = 16000 / 100 \text{ ml}$ el número de bacterias más probable.

CUADRO H.1

NMP PARA VARIAS COMBINACIONES DE RESULTADOS POSITIVOS Y NEGATIVOS EN UNA SERIE DE ENSAYOS DE CINCO PORCIONES DE MUESTRA DE 10 ml, CINCO DE 1 ml CINCO DE 0.1 ml (*).

NUMERO DE TUBOS QUE DAN REACCION POSITIVA DE			NMP
Cinco porciones de 10 ml	Cinco porciones de 1 ml	Cinco porciones de 0.1 ml	Organismos por 100 ml
0	0	0	2
0	0	1	2
0	0	2	4
0	1	0	2
0	1	1	4
0	1	2	6
0	2	0	4
0	2	1	6
0	3	0	6
1	0	0	2
1	0	1	4
1	0	2	6
1	0	3	8
1	1	0	4
1	1	1	6
1	1	2	8
1	2	0	6
1	2	1	8
1	2	2	10
1	3	0	8
1	3	1	10
1	4	0	11
2	0	1	5
2	0	1	7
2	0	2	9
2	0	3	12
2	1	0	7
2	1	1	9
2	1	2	12
2	2	0	9
2	2	1	12
2	2	2	14

NUMERO DE TUBOS QUE DAN REACCION POSITIVA DE			NMP
Cinco porciones de 10 ml	Cinco porciones de 1 ml	Cinco porciones de 0.1 ml	Organismos por 100 ml
2	3	0	12
2	3	1	14
2	4	0	15
3	0	0	8
3	0	1	11
3	0	2	13
3	1	0	11
3	1	1	14
3	1	2	17
3	1	3	20
3	2	0	14
3	2	1	17
3	2	2	20
3	3	0	17
3	3	1	21
3	4	0	21
3	4	1	24
3	5	0	25
4	0	0	13
4	0	1	17
4	0	2	21
4	0	3	25
4	1	0	17
4	1	1	21
4	1	2	26
4	2	0	22
4	2	1	26
4	2	2	32
4	3	0	27
4	3	1	33
4	3	2	39
4	4	0	34
4	4	1	40
4	5	0	41

Continuación CUADRO II.1 (*)

NUMERO DE TUBOS QUE DAN REACCION POSITIVA DE			NMP
Cinco porciones de 10 ml	Cinco porciones de 1 ml	Cinco porciones de 0.1 ml	Organismos por 100 ml
4	5	1	48
5	0	0	23
5	0	1	31
5	0	2	43
5	0	3	58
5	0	4	76
5	1	0	33
5	1	1	46
5	1	2	63
5	1	3	84
5	2	0	49
5	2	1	70
5	2	2	94
5	2	3	120
5	2	4	148
5	2	5	177
5	3	0	79
5	3	1	109
5	3	2	141
5	3	3	175
5	3	4	212
5	3	5	253
5	4	0	130
5	4	1	172
5	4	2	221
5	4	3	278
5	4	4	345
5	4	5	426
5	5	0	240
5	5	1	348
5	5	2	542
5	5	3	920
5	5	4	1600
5	5	5	2400

* (APHA, 1963)

ANEXO I
LINEAMIENTOS PARA OPERAR
LOS FILTROS POR PARTE DE LOS
USUARIOS

I.1 LINEAMIENTOS PARA OPERAR LOS FILTROS POR PARTE DE LOS USUARIOS.

- a. Verificar que todo el equipo se encuentre en óptimas condiciones: que en el chorro de salida del agua no existan fugas de arena ni de agua, el sistema de control de alimentación de agua no este obstruido, que no hayan fugas de agua por el conducto que une al tanque de alimentación con el filtro ni en el visor.
- b. En el momento de disponerse a llenar el tanque de alimentación es necesario cerrar la válvula de desague del filtro, para verificar el funcionamiento de control de alimentación de agua al filtro.
- c. Llenar con agua el tanque de alimentación utilizando un cántaro o cualquier recipiente disponible. El tanque de alimentación no debe quedar sin agua verificando para ello el nivel señalado por el visor.
- d. Se deberá regular el flujo dentro de los límites establecidos para la filtración lenta (CEPIS).
- e. El filtro debe operar continuamente, ya que cuando no está pasando agua a través del lecho está se estanca dentro de el filtro, lo que contribuye a la contaminación del agua filtrada.

ANEXO J

MANUAL PRACTICO DE OPERACION DEL
FILTRO LENTO PARA POTABILIZACION DE
AGUA INSTALADO EN LA COMUNIDAD RURAL
LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN
SALVADOR.

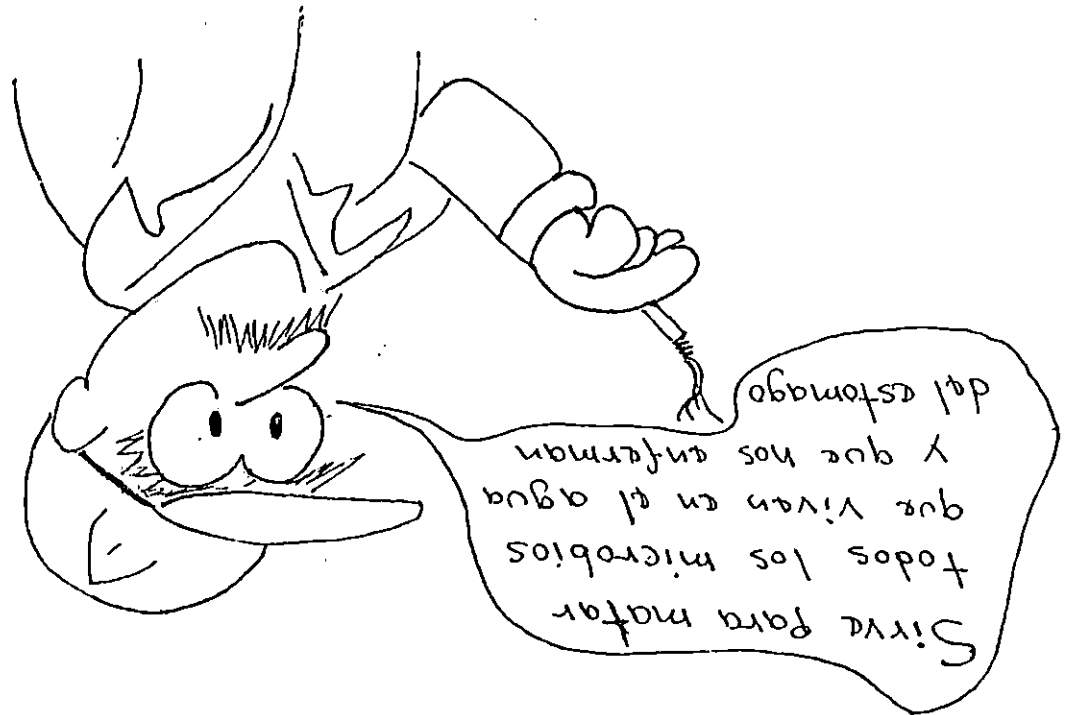
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA.

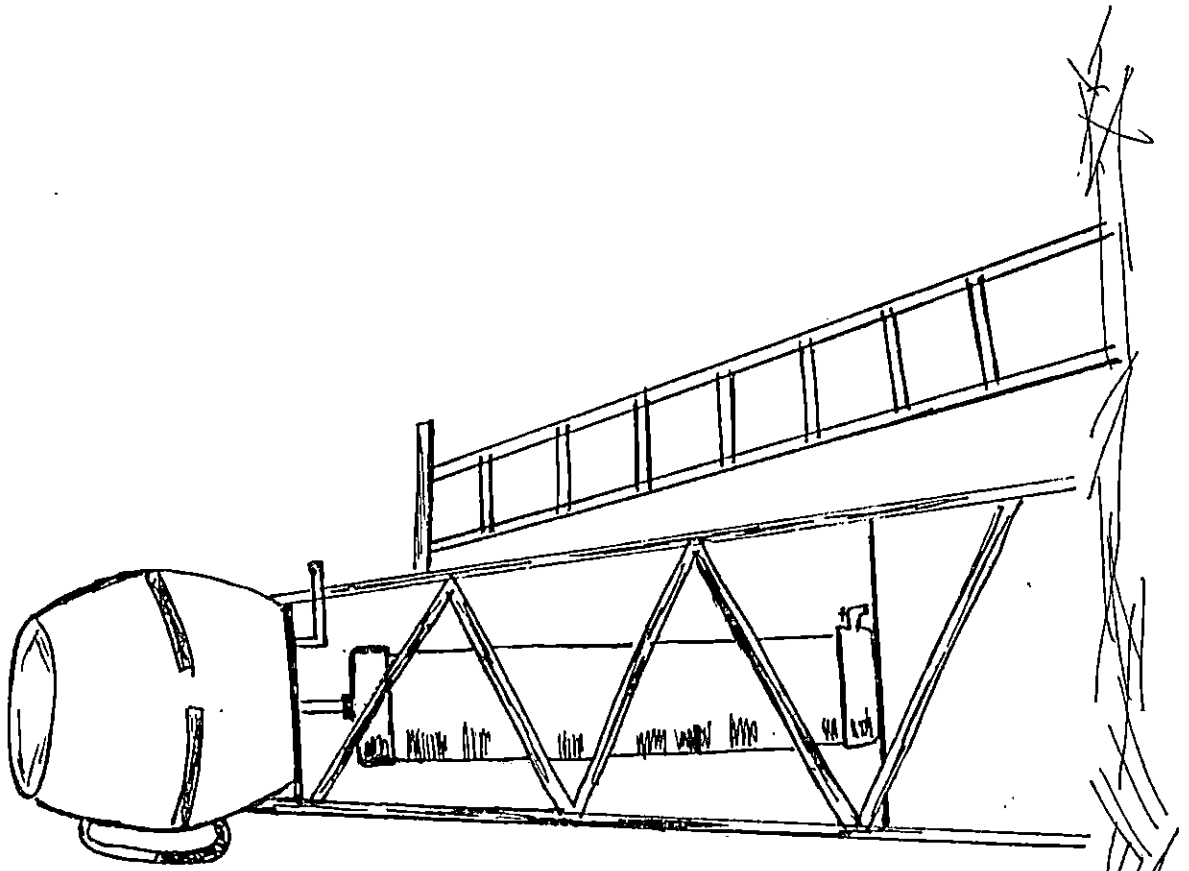


MANUAL PRACTICO DE OPERACION DEL FILTRO LENTO PARA
POTABILIZACION DE AGUA INSTALADO EN LA COMUNIDAD
RURAL LA PINERA, MUNICIPIO DE APOPA, SAN SALVADOR.

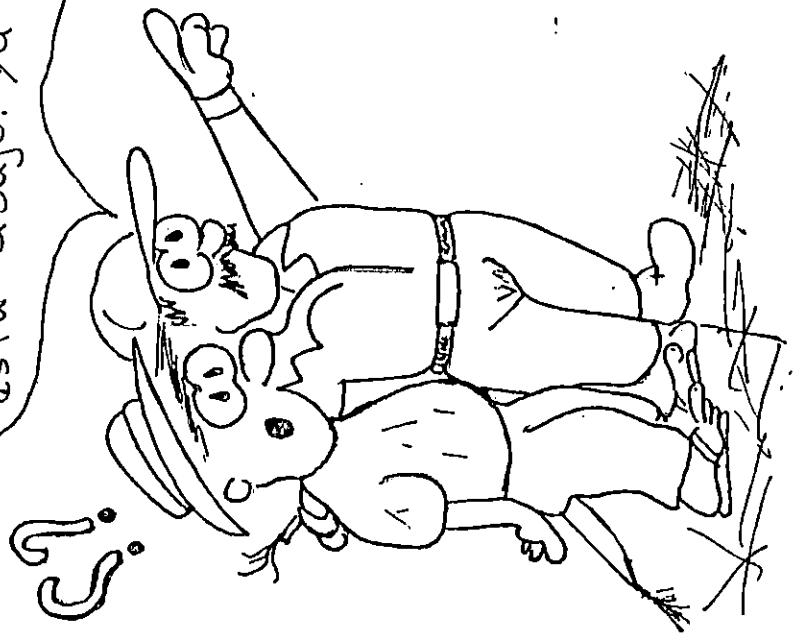








Nombre, mirá que solo está
 armado de un eucumbo
 encima, luego un tubo de
 PVC, adentro del tubo
 lleva arena y un poco
 de grava; al agua buena
 sale por ese chorro que
 está abajo. Ya te digo



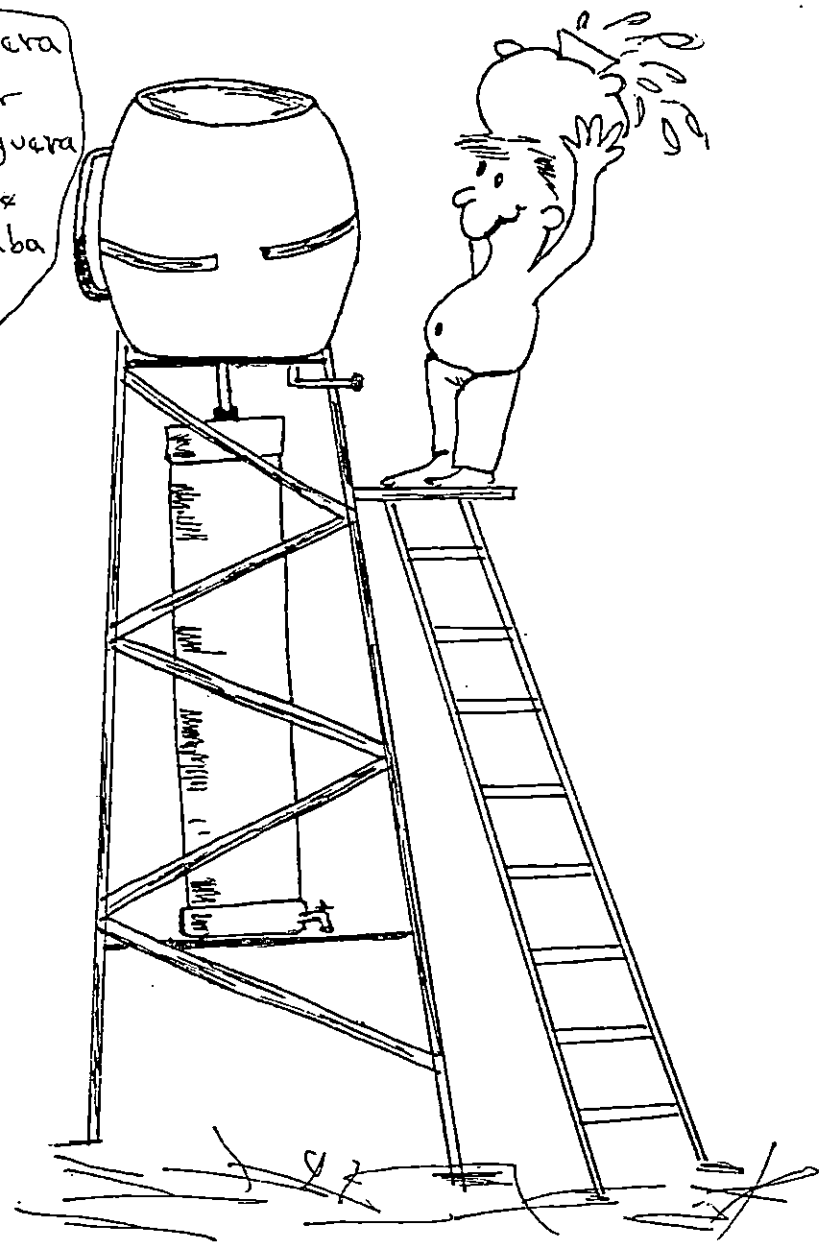
Es bien "chiche,"
te lo voy a explicar...

Primero sacas el agua del
pozo y la pasás al Cantaro
que sirve para echar el agua
arriba del filtro y la dejás
estar un rato



De allí te
trepas por la
escalera, donde
está el cipote,
Para llenar el
cuchumbo

A un lado tiene una manguera
transparente, Para ver por
donde va el agua, esa manguera
hay que limpiarla cuando se
ponga verde. Solo se destraba
de los tornillos que tiene en
los extremos.



Hay que cerrar el chorro de abajo, cuando se está llenando el cucumbo, entonces se oye una tronadera adentro del filtro, que los muchachos de la "U" dicen que es señal que el sistema que controla el paso de agua al filtro está cerrando.

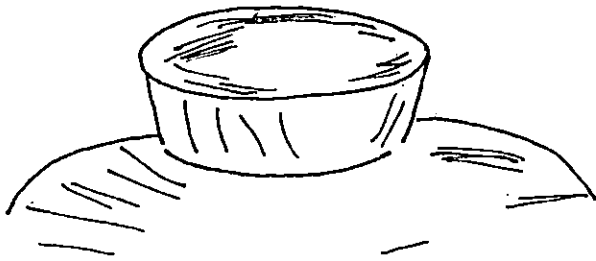


Ahora te esperarás un rato y abris el chorro para sacar el agua y tenés que ver que no salga con arenita. Asi lo tratás todos los días cuidando que siempre tenga agua y nunca se quede seco.

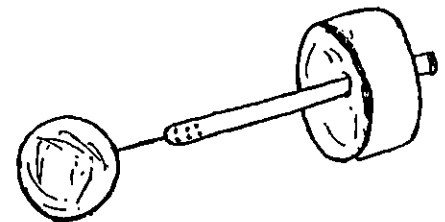
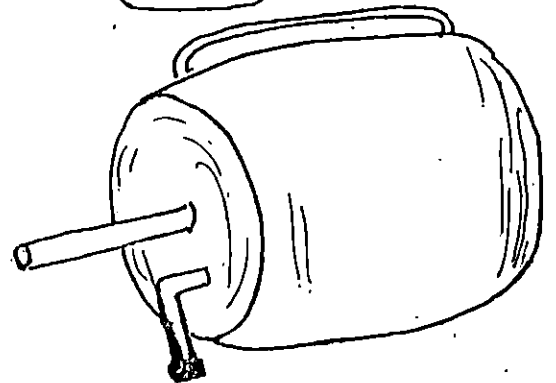
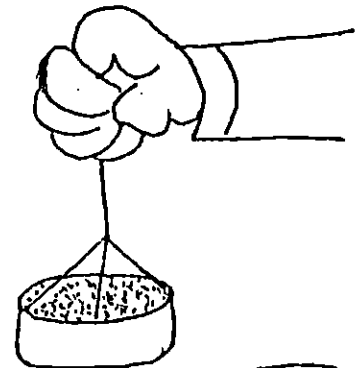




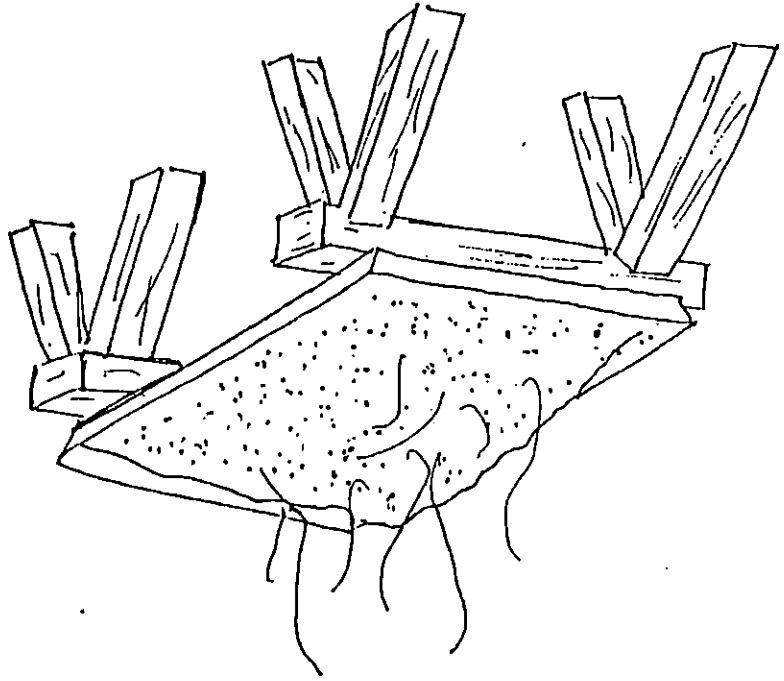
Con los días al chorrillo
se va haciendo más fino, hasta
que ya no sale agua por el chorro.



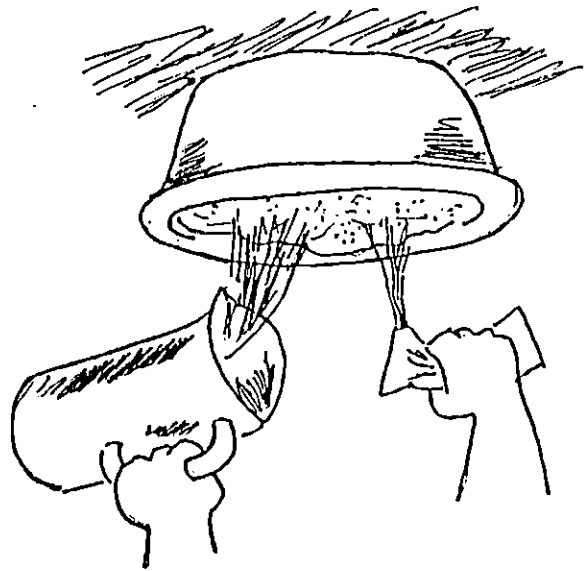
Entonces destapáis el filtro,
primero sacas el cucumbo, luego
la tapadera del filtro con la
pelota plástica, después jalás
la pita y sacas un volado que
tiene un poco de arena, la cual
hay que lavar, según te lo sigo
explicando.



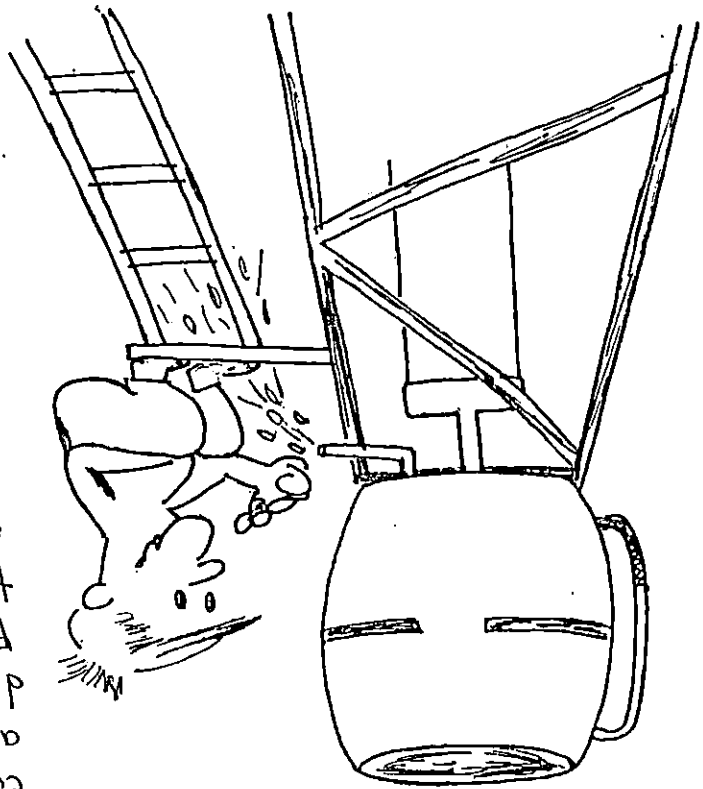
Por último la
 pondrás a secar al
 sol, por dos días,
 cuidando que no
 se ensucie. Des-
 pués la hachas
 al filtro y lo vol-
 vas a armar.



Esa arena fangosa que
 lavarla primero con agua
 y lejía y dejarla por
 dos horas, después la en-
 juagas con agua limpia
 que sacaste del filtro



Hay! se me olvidaba que los muchachos dicen que hay que hacerle una ramada al filtro para que le dé sombra.



Al lado del cucumbo en el fondo hay un tubo que tiene una rosca, para que cuando se vea basura, araña o tierra en el fondo del cucumbo, lo destapas para que por allí salga todo eso. Después lo enjuagas lo tapas y lo llenas de nuevo

Si que es rechiche manejarlo don Marcos, hoy solo voy a esperar que se den una cruzadita por aqui los muchachos de la "U", para pedirlos un filtro de esos, para tener agua rebuena que no tiene de esos tales microbios

