

**UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA**



**"EL USO DE LA ZEOLITA NATURAL EN EL PROCESO
DE FILTRACIÓN RÁPIDA, EN EL TRATAMIENTO DE
AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE
SAN MIGUEL, PROVINCIA DE SAN MIGUEL-
CAJAMARCA, 2015"**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO SANITARIO**

AUTOR:

BACHILLER: ROBER CARLOS HARO AGUILA

ASESOR:

ING. KIKO FELIX DEPAZ CELI

HUARAZ-ANCASH-PERÚ

SETIEMBRE -2016

**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA**



**“EL USO DE LA ZEOLITA NATURAL EN EL PROCESO
DE FILTRACIÓN RÁPIDA , EN EL TRATAMIENTO DE
AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE
SAN MIGUEL, PROVINCIA DE SAN MIGUEL-
CAJAMARCA, 2015”**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO SANITARIO**

AUTOR:

BACHILLER: ROBER CARLOS HARO AGUILA

ASESOR:

ING. KIKO FELIX DEPAZ CELI

HUARAZ-ANCASH-PERÚ

SETIEMBRE -2016



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PARA OPTAR EL
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO SANITARIO**

Los Miembros del Jurado Evaluador que suscriben, reunidos para la Ceremonia de Sustentación de la Tesis, que presenta el Señor Bachiller: **ROBER CARLOS HARO AGUILA.**

Tesis Titulada: **"EL USO DE LA ZEOLITA NATURAL EN EL PROCESO DE FILTRACIÓN RAPIDA, EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, PROVINCIA DE SAN MIGUEL – CAJAMARCA, 2015"**

Y atendida a la exposición oral y oída las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas lo declaramos:

..... *Aprobado*

Con el calificativo de:

..... *Quince (15)*

En consecuencia, queda en condiciones de ser **APROBADO** por el Consejo de Facultad y recibir el Título de:

INGENIERO SANITARIO

De conformidad con los Artículos 48, 49, 50, 52, 53, 54 y 55 del Reglamento de Grado Académico de Bachiller y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo".

Huaraz, *16* de *enero* del 2017.

M. Sc. CARLOS BORROMEYO POMA VILLAFUERTE
Presidente

Qco. MARIO VLADIMIR LEYVA COLLAS
Secretario

Ing. JUDITH ISABEL FLORES ALBORNOZ
Vocal

Ing. KIKO FELIX DEPAZ CELI
Asesor

DEDICADO:

A Dios quien es mi guía

*A mis padres Sabino y María, hermanos, Rocío y Fredy, quienes me acompañan y me
alientan siempre.*

Al amor de mi vida, Brenda Elizabeth que está conmigo siempre

AGRADECIMIENTO

Mi persona expresa un sincero agradecimiento a la empresa Sedacaj. S.A. a su gerente general por su apoyo decidido durante la realización del estudio de investigación. Así como también a los operadores y técnicos de la planta de tratamiento de agua potable, ubicada en la localidad de san miguel, quienes colaboraron en los trabajos de campo.

A la universidad Santiago Antúnez de Mayolo, por ser el alma mater de mi formación académica y a los docentes quienes me ayudaron a realizar esta investigación, en especial al ing. Kiko Depaz Celi por su asesoramiento.

A mis padres quienes nunca dejaron de creer en mí, y al amor de mi vida Brenda Calle por su motivación y apoyo constante durante el proceso de la investigación.

Rober

ÍNDICE GENERAL

	Página.
Dedicatoria -----	<i>ii</i>
Agradecimientos -----	<i>iii</i>
Índice general -----	<i>iv</i>
Relación de planos -----	<i>xii</i>
Relación de cuadros -----	<i>xii</i>
Relación de tablas -----	<i>xiii</i>
Relación de gráficos -----	<i>xiv</i>
Relación de figuras -----	<i>xv</i>
Relación de fotografías -----	<i>xv</i>
Unidades de medida -----	<i>xvii</i>
Abreviaturas -----	<i>xix</i>
Siglas -----	<i>xxi</i>
Resumen ejecutivo -----	<i>xxii</i>
Abstract -----	<i>xxiv</i>

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Página
1.1 Objetivos-----	3
1.1.1 Objetivo general-----	3

1.1.2	Objetivos específico-----	3
1.2	Planteamiento del problema-----	3
1.2.1	Definición del problema-----	3
1.2.2	Formulación-----	4
1.2.3	Justificación-----	4
1.3	Hipótesis general-----	5
1.3.1	Variables-----	5
1.3.2	Operacionalización de variables-----	5
1.3.3	Matriz de consistencia-----	7

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

	Página	
2.1	Antecedentes -----	8
2.2	Fundamentación de la tesis-----	10
2.3	Ámbito de estudio -----	11
2.4	Definición de términos -----	11
2.4.1	Zeolita natural-----	11
2.4.1.1	Propiedades-----	14
2.4.2	El agua-----	15
2.4.2.1	Propiedades físicas-----	15
2.4.2.2	Propiedades químicas-----	17
2.4.2.3	Características físicas-----	17

2.4.2.4	Características químicas-----	24
2.4.2.5	Características microbiológicas-----	26
2.4.3	El agua potable-----	27
2.4.3.1	Aspectos fisicoquímicos-----	27
2.4.3.2	Calidad del agua-----	28
2.4.4	Plantas de tratamiento de agua-----	28
2.4.4.1	Tipos de planta de tratamiento-----	29
2.4.5	Filtración -----	31
2.4.5.1	Mecanismo de filtración-----	31
2.4.5.2	Cinética de filtración-----	37
2.4.5.3	Balace de masas-----	37
2.4.5.4	Retención y arrastre de partículas -----	40
2.4.5.5	Tasa de filtración-----	40
2.4.5.6	Carrera de filtración-----	40
2.4.5.7	Pérdida de carga en los medios filtrantes-----	41
2.4.6	Tipos de sistemas de filtración-----	41
2.4.6.1	Tipo del lecho filtrante-----	42
2.4.6.2	Dirección del flujo-----	42
2.4.6.3	Fuerza impulsora-----	43
2.4.6.4	Control operacional-----	44
2.4.6.5	Velocidad de filtración-----	45
2.4.7	Tipos de medio filtrante-----	45
2.4.7.1	Arena-----	45
2.4.7.2	Antracita-----	47

2.4.7.3	Carbón activado-----	48
2.4.7.4	Granate-----	48
2.4.7.5	Zeolita sintética-----	49
2.4.8	Planta de tratamiento de San Miguel-----	50
2.4.8.1	Fuente de agua-----	51
2.4.8.2	Captación-----	51
2.4.8.3	Línea de conducción-----	52
2.4.8.4	Planta de tratamiento-----	52
2.4.8.5	Unidad de filtración-----	53
2.4.8.6	Almacenamiento-----	54

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

	Página.	
3.1	Materiales y métodos de la tesis-----	55
3.1.1	Materiales, insumos y equipos-----	56
3.1.2	Metodología -----	58
3.2	Plan de recolección de la información -----	66
3.3	Diseño estadístico: población y muestra-----	68
3.3.1	Población-----	66
3.3.2	Muestra-----	66
3.4	Instrumentos de recolección de la información-----	69
3.4.1	Para la variable independiente-----	69

3.4.2	Para la variable dependiente-----	69
-------	-----------------------------------	----

CAPÍTULO IV

	Página
4.1	Caudales promedios de ingreso a los filtros----- 72
4.2	Características fisicoquímicas de las muestras obtenidas----- 73
4.3	Histogramas de comportamientos de parámetros analizados----- 76
4.3.1	Comportamiento de la turbidez con respecto al tiempo----- 76
4.3.2	Comportamiento del color con respecto al tiempo----- 77
4.3.3	Comportamiento del PH con respecto al tiempo----- 78
4.3.4	Comportamiento de la alcalinidad con respecto al tiempo----- 79
4.3.5	Comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo----- 80
4.4	Determinación de la eficiencia de remoción de los parámetros físicos en los efluentes de los filtros convencional y de zeolita natural con respecto al agua cruda----- 81
4.5	Diagrama de barras de la eficiencia de la remoción de parámetros físicos utilizando el medio filtrante convencional y la zeolita natural----- 82
4.6	Comparación de los parámetros de los efluentes analizados con respecto a la normatividad Nacional e Internacional ----- 83
4.7	Diagrama de flujo de los sistemas de filtración----- 84
4.8	Determinación de las carreras de filtración----- 85
4.8.1	Determinación de la carrera de filtración del filtro piloto respecto a la turbiedad----- 85

4.8.2	Determinación de la carrera de filtración del filtro piloto respecto al caudal-----	86
4.8.3	Determinación de la carrera de filtración del filtro existente respecto a la turbiedad-----	87
4.8.4	Determinación de la carrera de filtración del filtro existente respecto al caudal-----	88
4.9	Comparación de las velocidades de lavado de los filtros existente y piloto	89
4.10	Observaciones realizadas en campo durante el proceso de investigación---	89

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

	Página	
5.1	Análisis de los caudales promedios de ingreso a los filtros-----	91
5.2	Análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas de las muestras obtenidas-----	92
5.3	Análisis del comportamiento de los parámetros analizados-----	94
5.4	Análisis de la eficiencia de remoción de parámetros físicos en los filtros existente y piloto con respecto al agua cruda-----	95
5.5	Comparación de la calidad de agua a la salida de los filtros con la Normatividad Nacional-----	95
5.6	Comparación de las principales características físicas de los efluentes de los filtros existente y piloto con la normatividad internacional -----	95
5.7	Comparación de las carreras de filtración-----	96
5.8	Comparación de las velocidades de lavado de los filtros existente y piloto-	96

5.9	Comparación de la eficiencia del proceso de filtración utilizando el medio filtrante convencional y la zeolita -----	96
5.10	Contrastación de la hipótesis -----	97

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

	Página
6.1 Conclusiones-----	98
6.2 Recomendaciones-----	100

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

	Página
Referencias Bibliográficas -----	101

ANEXOS

Anexo 1: Diseño del sistema-----	105
Anexo 2: Memora de Cálculo -----	111
Anexo 3: Metrado del proyecto propuesto-----	121
Anexo 4: Presupuesto del proyecto propuesto-----	125
Anexo 4: Reportes de análisis de laboratorio de control de calidad-----	129
Anexo 6: Reportes de ensayos de granulometría, peso específico y porosidad-----	135
Anexo 7: Panel Fotográfico-----	143
Anexo 8: Certificado de análisis de la zeolita -----	148
Anexo 8: Planos-----	152

RELACIÓN DE PLANOS

		Página.
Plano N°01	Plano de ubicación y localización del estudio-----	153
Plano N°02	Detalle del filtro piloto-----	154
Plano N°03	Planta general del filtro propuesto-----	155
Plano N°04	Detalle del filtro propuesto-----	156

RELACIÓN DE CUADROS

		Página.
Cuadro N°1	Variables de la investigación-----	06
Cuadro N°2	Olores característicos del agua con su origen -----	22
Cuadro N°3	Límites de percepción de algunas sales y compuestos del agua---	22
Cuadro N°4	Niveles de alcalinidad-----	24
Cuadro N°5	Clasificación de sistemas de filtración-----	39
Cuadro N°6	Arena típica para filtros rápidos -----	44
Cuadro N°7	Carbones de clase antracítica-----	45
Cuadro N°8	Codificación de muestras y puntos de muestreo-----	60
Cuadro N°9	Características del agua decantada empleada en la investigación--	62
Cuadro N°10	Puntos de muestreo-----	62
Cuadro N°11	Métodos para control de parámetros -----	68
Cuadro N°12	Comparación de los efluentes de los filtros existente y piloto con la normatividad nacional e internacional -----	81
Cuadro N°13	Comparación de las velocidades del lavado de los filtros-----	87
Cuadro N°14	Cálculos hidráulicos del medio filtrante zeolita natural-----	107

Cuadro N°15 Cálculos hidráulicos del medio filtrante arena ----- 111

RELACIÓN DE TABLAS

		Pagina.
Tabla N° 1	Variaciones de la viscosidad dinámica en función a la temperatura	15
Tabla N° 2	Salinidad de Iones-----	15
Tabla N° 3	Caudales promedios de operación de los filtros rápidos -----	70
Tabla N° 4	Resultados de la evaluación fisicoquímico y microbiológica del agua decantada que ingresa a los filtros existentes y a los filtros piloto	71
Tabla N° 5	Resultados de la evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua filtrada en los filtros existentes-----	72
Tabla N° 6	Resultados de la evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua filtrada en los filtros piloto-----	73
Tabla N° 7	Eficiencia de remoción de los parámetros físicos en los efluentes de los filtros convencional y de zeolita natural con respecto al agua cruda -----	79

RELACIÓN DE GRÁFICOS

	Página.
Grafica N° 01	Comportamiento de la turbidez con respecto al tiempo----- 74
Grafica N° 02	Comportamiento del color con respecto al tiempo----- 75
Grafica N° 03	Comportamiento del PH con respecto al tiempo----- 76
Grafica N° 04	Comportamiento de la Alcalinidad con respecto al tiempo----- 77
Grafica N° 05	Comportamiento de la Temperatura con respecto al tiempo----- 78
Grafica N° 06	Eficiencia de la remoción de la turbiedad y color----- 80
Grafica N° 07	Carrera de filtración de la zeolita con respecto a la turbiedad--- 83
Grafica N° 10	Carrera de filtración de la zeolita con respecto al caudal----- 84
Grafica N° 11	Carrera de filtración de la arena con respecto a la turbiedad----- 85
Grafica N° 12	Carrera de filtración de la arena con respecto al caudal----- 86

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura N°1	Unidad estructural básica de una zeolita-----	12
Figura N°2	Tamaño de las partículas-----	19
Figura N°3	Impacto inercial-----	31
Figura N°4	Variación del potencial y repulsión en función de la distancia de dos esferas-----	34
Figura N°5	Elemento del lecho filtrante-----	35
Figura N°6	Antracita-----	45
Figura N°7	Carbón activado-----	46
Figura N°8	Granate-----	47
Figura N°9	Zeolita sintética-----	48

RELACIÓN DE FOTOGRAFÍAS

	Página.
Fotografía N° 01 Zeolita Natural -----	11
Fotografía N° 02 Arena cuarzosa-----	44
Fotografía N° 03 Fuente de agua cruda del canal Tayca-----	49
Fotografía N° 04 Captación del canal Tayca-----	50
Fotografía N° 05 Planta de tratamiento de agua potable –San Miguel-----	51
Fotografía N° 06 Batería de Filtros a presión-----	52
Fotografía N° 07 Reservorio circular de agua potable-----	52
Fotografía N° 08 Trituración de la zeolita natural-----	56

Fotografía N° 09	Tamizado de la zeolita natural-----	57
Fotografía N° 10	Ingreso del agua decantada a los filtros piloto-----	58
Fotografía N° 11	Proceso de construcción de los filtros piloto-----	59
Fotografía N° 12	Materiales utilizados para la construcción del filtro piloto----	60
Fotografía N° 13	Operación del filtro Piloto-----	61
Fotografía N° 14	Toma de muestra de agua a la salida del filtro Piloto-----	63
Fotografía N° 15	Medición de la turbiedad-..-----	64
Fotografía N° 16	Determinación de la granulometría del medio filtrante-----	67

UNIDADES DE MEDIDA

SIGNIFICADO

Kg.	Kilogramos
gr.	Gramos
mg/L.	Miligramo por litro
g/L.	Gramo por litro
Ha.	Hectárea
d.	Día
dia ⁻¹	Día a la menos uno
kg/ Ha.	Kilogramo por hectárea
m.	Metro
ùm	Micrómetro por metro
mm.	Milímetro
cm.	Centímetro
km.	Kilometro
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro Cubico
m/s.	Metro por segundo
m/min.	Metro por minuto
m ³ /día.	Metro cubico por día
m ³ /s.	Metro cubico por segundo
m ³ /m ² /s.	Metro cubico por metro cuadrado por segundo
m ³ /día.	Metro cubico por día

g/día.	Gramo por día
L.	Litro.
ml.	Mililitro
ml/L.	Mililitro por litro
L/día.	Litro por día
L/hab/día.	Litro por habitante día
NMP/100 ml.	Número más probable por cien mililitros
UFC/100 ml.	Unidades formadoras de colonia por cien mililitros
N° org/L	Número de organismos por litro.
UNT	Unidades nefelométrías de turbiedad
H/L	Helminetos por litro
ppm.	Partes por millón

ABREVIATURAS**SIGNIFICADO**

PE	Perdida Equivalente
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel de mar
T°	Temperatura
HF	Perdida de carga
C°	Grado centígrado
HP	Caballos de fuerza
pH	Potencial de Hidrogeno
LMP	Límite máximo permisible
N	Nitrógeno
CO ₂	Dióxido de carbono
H ₂ S	Ácido Sulfhídrico
NaCl	Cloruro de Sodio
PVC	Poli cloruro de vinilo
CE	Conductividad Eléctrica
SS	Sólidos en suspensión
ST	Solidos totales
CT	Coliformes totales
CF	Coliformes fecales
Al ₂ (SO ₃)	Sulfato de aluminio
PZ	Potencial zeta
CaO	Oxido de calcio

UCV unidad de color verdadero

HCL Ácido clorhídrico

SIGLAS**SIGNIFICADO**

EPA	Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica
UTM	Universal Transversal de mercator
UV	Ultra violeta
ECA	Estándares de Calidad de Agua
EPS	Empresa prestadora de servicio de Saneamiento
SUNAAS	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento.
MINSA	Ministerio de Salud
DIGESA	Dirección General de Salud Ambiental
ANA	Autoridad Nacional del Agua
PTAP	Planta de Tratamiento de Agua Potable
SAP	Sistema de Agua Potable
OPS	Organismo Panamericano de la Salud
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería sanitaria
OMS	Organismo Mundial de la Salud
FCAM	Facultad de ciencias del Ambiente
EAPIS	Escuela académica profesional de ingeniería sanitaria
UNASAM	Universidad Santiago Antúnez de Mayolo

“EL USO DE LA ZEOLITA NATURAL EN EL PROCESO DE FILTRACIÓN RÁPIDA , EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, PROVINCIA DE SAN MIGUEL –CAJAMARCA 2015”

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de investigación se enfocó en utilizar un medio filtrante distinto a lo convencional que se utiliza en las plantas de tratamiento de agua para consumo humano. Teniendo en cuenta la calidad del agua que producen las EPS a nivel nacional muchas de ellas producen agua con parámetros que se acercan y hasta superan, en algunos casos, los límites establecidos en el Reglamento de la calidad del agua para consumo humano.

El objetivo de la investigación es utilizar la zeolita natural como medio filtrante en el proceso de filtración rápida en la Planta de Tratamiento de Agua Potable del distrito de San Miguel, provincia de San Miguel, dpto. de Cajamarca, con la finalidad de comparar su eficiencia durante el proceso de filtración con respecto al medio filtrante convencional a base de arena, evaluándose parámetros hidráulicos y de la calidad de agua filtrada.

Para esto se construyó una batería de filtros compactos a presión utilizando en su interior material filtrante a base de Zeolita de origen Natural y dicho filtro fue evaluado y comparado con el filtro compacto Degremont existente en la PTAP de San Miguel.

En la primera parte se describen algunas generalidades del proceso de filtración de agua con fines de consumo, se conceptualiza a la zeolita natural y sus características; también se menciona los conceptos de los parámetros de diseño en el proceso de filtración; además se detalla una memoria descriptiva de la ubicación y localización de la planta de tratamiento de agua potable San Miguel , lugar donde se realizó la prueba a escala piloto con fin de determinar la eficiencia del uso de la zeolita, sus resultados y todo lo que conlleva a su implementación y operación.

En la segunda parte del trabajo se desarrolló la parte de ingeniería, el proceso de implementación del modelo del diseño y cálculos para la planta a escala piloto; su equipamiento y operación; así como también la discusión de resultados y comparación con el filtro patentado para finalmente obtener las conclusiones.

El resultado de la utilización de la zeolita natural como material filtrante obtuvo una eficiencia de 86% y 93% en cuanto a la remoción de la turbiedad y color respectivamente, además de operar con una carrera de filtración de 130 horas en comparación del filtro de arena cuarzosa que opera con 143 horas.

Culminado el proceso de la investigación se llegaron a importantes a las siguientes conclusiones. Una de estas es que la zeolita natural como medio filtrante es más eficiente como removedor de la turbiedad y color en comparación con el medio filtrante existente. Además se determinó que el filtro existente opera ineficientemente con una baja velocidad del lavado del medio filtrante y esto ocasiona la caída en las carreras de filtración. Así como también se concluye que el uso de filtros piloto facilita la verificación de los procesos que ocurren con el medio filtrante.

PALABRAS CLAVE

Agua potable, calidad, eficiencia, escala piloto, filtración, turbiedad, zeolita.

ABSTRACT

This research is focused on using a different conventional filter medium used in water treatment plants for human consumption. Considering the quality of water produced by the EPS nationwide several produce water with parameters approach and even exceed, in some cases, the limits laid down in Regulation on the quality of water for human consumption..

The aim of the research is to use natural zeolite as a filter medium in the process of rapid filtration Treatment Plant Potable Water District San Miguel, San Miguel province, dpto. Cajamarca, in order to compare their efficiency during the filtration process over conventional filter media based on sand, evaluating hydraulic parameters and quality of filtered water.

For this battery is constructed compact filters pressureusing inside filter material based Natural Zeolite of origin and the filter was evaluated and compared with existing Degrémont compact filter on the PoWPA of San Miguel.

In the first part some generalities of water filtration process described for consumption to natural zeolite and its characteristics it is conceptualized; the concepts of the design parameters in the filtration process is also mentioned; is also a specification of the location and location of the water treatment plant drinking San Miguel detailed where the test was performed on a pilot scale in order to determine the efficiency of the use of zeolite, its results and everything that leads to its implementation and operation.

The result of the use of the natural zeolite as filter material obtained an efficiency of 86% and 93% in the removal of turbidity and color respectively, in addition to operating with a filtration stroke of 130 hours in comparison to the sand filter Quartz that operates with 143 hours.

Finished the process of the investigation came to important to the following conclusions. One of these is that the natural zeolite as a filter media is more efficient as a turbidity and color remover compared to the existing filter medium. In addition, it was determined that the existing filter operates inefficiently with a low washing speed of the filter medium and this causes the fall in the filtration rates. It is also concluded that the use of pilot filters facilitates the verification of the processes that occur with the filter medium.

KEY WORDS

Potable water, quality, efficiency, pilot scale, filtration, turbidity, zeolite.

CAPITULO I.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen graves problemas en cuanto a la calidad de agua que se oferta dentro del país y principalmente en las zonas rurales donde la administración de las Empresas Prestadoras de Servicio (EPS) tiene poca y en la mayoría de los casos ninguna participación; dejando la administración del sistema de agua a la municipalidad local.

La planta de tratamiento de agua potable del distrito de San Miguel, provincia de San Miguel departamento de Cajamarca es de tipo patentada, sistema Degrémont, con filtros a presión los cuales se saturan rápidamente y requieren ser lavados en periodos cortos, generando pérdidas de agua tratada.

Por estas razones se propone cambiar el tipo de lecho filtrante: por lo que se buscó un nuevo material, la zeolita de origen Natural, con la finalidad de demostrar su capacidad de filtración y probar su eficiencia durante dicho proceso de filtración rápida, verificando

los indicadores de turbiedad, color y parámetros como la tasa, carrera de filtración y velocidad de lavado del medio filtrante a fin de demostrar su eficiencia.

Existen varios estudios y publicaciones sobre el uso la zeolita natural en el tratamiento del agua. Una de ellas es el estudio sobre la *remoción de hierro y manganeso en fuentes de agua subterránea para el abastecimiento publico* realizado en varias ciudades del estado de México; otra es la publicación realizada por la universidad del Medellin del país vecino de Colombia denominada *Evaluación de la eficiencia de una batería de filtros empacados en zeolita en la remoción de metales pesados presentes en un licor mixto bajo condiciones de laboratorio*.

Tomando en cuenta los estudios realizados sobre el uso de la zeolita natural en la purificación de aguas crudas y aguas residuales se planteó la hipótesis “El uso de la zeolita Natural como medio filtrante resulta más eficiente que un filtro convencional de arena cuarzosa en el proceso de filtración rápida para el tratamiento de agua para consumo humano del distrito de San Miguel”.

El objetivo del presente estudio es utilizar la zeolita como medio filtrante en el proceso de potabilización del agua para comprobar sus ventajas como medio filtrante, en comparación con el medio filtrante de tipo convencional que se usa actualmente en la PTAP San Miguel.

Se diseñó y construyó una planta de filtración rápida a escala piloto, del sistema de filtros a presión existente, y en esta se realizó la medición de la eficiencia del proceso de filtración del agua decantada utilizando como lecho filtrante la zeolita natural. Además se determinó la eficiencia del proceso de filtración que se está realizando actualmente en los filtros Degrémont existentes que opera con medio filtrante convencional a base de arena de tipo cuarzosa.

Durante el estudio se analizó la turbiedad y el color como parámetros principales de la calidad del agua al ingreso y salida de las unidades de filtración piloto y existente con el fin de comparar la eficiencia de los medios filtrantes antes mencionados.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

- Usar la zeolita natural como medio filtrante en el proceso de filtración rápida en el tratamiento de agua para consumo humano, en la planta de tratamiento agua potable del distrito de San Miguel, Provincia de San Miguel, dpto. de Cajamarca.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la eficiencia del proceso de filtración rápida, utilizando la zeolita natural como medio filtrante en el tratamiento de agua para consumo humano en la PTAP San Miguel.
- Determinar la eficiencia del proceso de filtración rápida, que utiliza un medio filtrante convencional, arena de tipo cuarzosa, en el tratamiento de agua para consumo Humano en la PTAP San Miguel.
- Comparar las eficiencias de los procesos de filtración rápida entre un medio filtrante convencional que utiliza arena cuarzosa con un medio filtrante a base de zeolita natural en el tratamiento de agua para consumo humano en la PTAP San Miguel.
- Realizar un modelo a escala piloto de la unidad de filtración rápida de la planta de tratamiento de agua potable del distrito de San Miguel.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La calidad del agua filtrada dentro de una PTAP debe ser considerada como un aspecto muy importante puesto que, si no se logra una buena calidad de agua, después del proceso filtración, el proceso siguiente que es la desinfección, no logrará cumplir satisfactoriamente su objetivo.

En la planta de tratamiento de agua con tecnología Degremont de la localidad de San Miguel existe un problema de saturación rápida del medio filtrante de arena cuarzosa,

lo que ocasiona la caída de la calidad del agua filtrada, además de generar mayores pérdidas de agua durante el lavado de los filtros. A esto se suma el descuido en la operación de los filtros por parte del personal de la PTAP.

Con la problemática explicada líneas arriba se sugiere plantear el presente trabajo de investigación cuyo problema es:

La utilización del medio filtrante convencional a base de arena cuarzosa, en la PTAP San Miguel ocasiona la disminución de la eficiencia del proceso de filtración del agua.

1.2.2 FORMULACIÓN

El presente estudio formula la siguiente interrogante:

¿Utilizando la Zeolita Natural como medio filtrante en el proceso de filtración rápida resultará más eficiente que la filtración a través de un medio filtrante convencional de arena cuarzosa en la potabilización de agua para consumo humano?

1.2.3 JUSTIFICACIÓN

El agua es el elemento fundamental para la vida.

El problema de abastecimiento del agua potable es un tema que cada día ocupa la atención de científicos, políticos y público en general. Es necesario realizar esta Investigación porque beneficiará a la población de la ciudad de San Miguel, por las siguientes razones:

a) Justificación Ambiental

Al optimizar el sistema de tratamiento de agua potable con la finalidad de reducir los lavados de los lechos filtrantes se garantizará una mejor operación, por lo que se reducirán las pérdidas de agua y así se cuidará el recurso escaso hídrico.

b) **Justificación Social**

Con la utilización de un nuevo material filtrante en la planta piloto ubicado en las instalaciones de la planta de tratamiento de agua potable en la localidad de San Miguel se podrá obtener resultados de la eficiencia de la Zeolita para obtener un agua de calidad en beneficio de la población del distrito mencionado.

c) **Justificación Económica**

Al cambiar el medio filtrante en el proceso de tratamiento de agua para consumo humano se reducirá los lavados de los filtros y de esta forma se evitará las pérdidas del material filtrante y con ello se reducirán los costos durante la reposición del material filtrante.

1.3 HIPÓTESIS GENERAL

“El uso de la zeolita Natural como medio filtrante resulta más eficiente que un filtro convencional de grava y arena en el proceso de filtración rápida en el tratamiento de agua para consumo humano”.

1.3.1 VARIABLES

a) **Variable independiente:**

Medio filtrante (zeolita natural).

b) **Variable dependiente:**

Eficiencia del proceso de filtración.

1.3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Al cambiar el medio filtrante convencional de arena por la zeolita natural se espera mejorar el proceso de filtración.

Cuadro N° 1 Variables de la Investigación

Variables	Definición gramática	Definición operacional	Indicadores	Dimensiones
Variable Independiente (V.I.) X = Medio filtrante (la zeolita natural)	Materia porosa, como el filtro, el papel, la esponja, el carbón, la piedra, etc., o masa de arena o piedras menudas a través de la cual se hace pasar un líquido para clarificarlo de los materiales que lleva en suspensión (1)	Utilizar la zeolita como medio filtrante en el proceso unitario de filtración de agua cruda con el fin de mejorar la calidad.	Porosidad	Cuantitativa
Variable Dependiente (V.D.) Y = eficiencia del proceso del filtración	Logro de remoción de Sólidos utilizando menor cantidad de material filtrante.	Análisis de los parámetros físico químicos	Turbiedad Color Tasa de filtración Carrera de Filtración	Cuantitativa

Fuente: Elaboración Propia

1 Real academia española de la lengua

1.3.3 MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Métodos	Técnicas e instrumentos
<i>La utilización del medio filtrante convencional a base de grava y arena, en la PTAP San Miguel ocasiona la disminución de la eficiencia del proceso de filtración.</i>	Usar la Zeolita natural como medio filtrante en el proceso de filtración rápida con fines de tratamiento de agua para consumo humano en la planta de tratamiento de agua potable del distrito de San Miguel.	“El uso de la zeolita Natural como medio filtrante resulta más eficiente que un filtro convencional de grava y arena en el proceso de filtración rápida en el tratamiento de agua para consumo humano”	Variable Independiente (V.I.) X= medio filtrante (zeolita natural). Variable Dependiente (V.D.) Y= Eficiencia del proceso de filtración.	Deductivo Cualitativo Analítico Cuantitativo	Técnicas: Revisión y análisis bibliográfico Observación y experimentación. Instrumentos: Fichas de análisis de resultados. Equipos y materiales de laboratorio.

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

En varios países de Latinoamérica se ha utilizado la zeolita natural en diferentes usos y aplicaciones; Se emplea como medio filtrante en la purificación del agua potable e industrial, en la descontaminación de aguas residuales, en la agricultura, ganadería y en la industria se aplica en la purificación de gases, fabricación de papel, producción de cemento, hormigones y en la obtención de zeolitas sintéticas tipo X a partir de sintetizar en soluciones básicas, por tal razón se le ha denominado el mineral del siglo xx.

En Cuba en el año 1988, el investigador Ing. Cosme Casals Corrella, publicó el libro *“La zeolita mineral del siglo XX. Usos y aplicaciones”*, en la publicación se describe los diferentes usos y aplicaciones que tiene la zeolita y se rescata el uso de la zeolita como medio filtrante en la purificación del agua potable e industrial, pues se emplea en el ablandamiento del agua que presenta altos contenidos de calcio y magnesio (agua dura)

además que la zeolita natural presenta elevada resistencia, estabilidad química y porosidad puede utilizarse como medio filtrante en sustitución de la arena de sílice, la cual es muy deficitaria. (Casals, 1988)

En el país vecino de Brasil, durante el XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental se presentó el trabajo de investigación a cargo de los investigadores Doctor en ciencias y Técnicas Ing. Eduardo Márquez Canosa, Doctor en Ciencias e Técnicas Ing. Tomás Noel Herrera Vasconcelos y la Doctora en ciencias y Técnicas la Ing. Nancy Maritza Gutiérrez Duque denominado: “*Características físico-químicas de las zeolitas Naturales como medio filtrante*”, en el cual se concluyen que, Se caracterizaron por primera vez a los materiales granulares de zeolitas naturales cubanas. Para todas las zeolitas los resultados fueron similares, independientes del tipo de yacimiento, obteniéndose como valores medios: $\rho_p = 2131 \text{ kg/m}^3$; $\rho_a = 1021 \text{ kg/m}^3$, $\varepsilon = 0.52$; $\psi = 0.63$. y la zeolitas estudiadas cumplen con los valores recomendados por las normas de medios filtrantes para la arena sílice y la antracita. (Ingenieroambiental.com, 2010. Características físico-químicas de las zeolitas naturales como medio filtrante.) Recuperado de: <http://www.ingenieroambiental.com/newinformes/zeolitas.pdf>

En México, el uso de zeolitas naturales tiene amplia perspectiva de aplicación en el tratamiento de agua para consumo humano esto demuestran las investigaciones hechas por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuernavaca, Morelos en donde la Ing. Verguinia Petkova Simeonova, presentó el trabajo “*Remoción de Hierro y Manganeso por medios de contacto no convencionales*”, El presente trabajo comprende la aplicación de una técnica y metodología en las que se aprovechan las características físico-químicas de la zeolita para la eliminación o remoción de los iones metálicos hierro y manganeso que se encuentran en el agua de algunas fuentes subterráneas de abastecimiento. Teniendo en cuenta dichas características físicas de la zeolita, se diseñan las unidades de filtración y se calculan los parámetros operacionales que garantizan el funcionamiento adecuado de los filtros. Asimismo, la granulometría de la zeolita utilizada asegura altas tasas de operación sin ocasionar grandes pérdidas de carga hidráulica en la filtración. (Verguinia Petkova Simeonova, 1996. Zeocat) Recuperado de: <http://www.zeocat.es/docs/aguafemn4.pdf>

En nuestro país se utiliza la zeolita natural en la agricultura en mayor escala y no está muy difundida su aplicación en las plantas de tratamiento de agua potable, pero existe una investigación donde se muestra el uso de la zeolita Natural como medio filtrante, en el departamento de San Martín fue desarrollada y presentada en la revista Ciencia Tecnología y Desarrollo, dicha investigación fue realizada por Betsabeth Padilla Macedo, Diana Leiva Sobrino y Patty Flores Chuquilin, alumnos de la universidad peruana Unión – Tarapoto; con el título “*Comparación entre un proceso de filtración simple y múltiple para tratar agua subterránea con alto índice de fierro (Fe+2) - Centro Poblado Alianza, San Martín, 2014*” El tratamiento de filtración simple estuvo compuesto por un aluminosilicato denominado zeolita además de diferentes arenas y gravas, La finalidad de esta investigación fue evaluar los procesos de filtración para el tratamiento de aguas subterráneas con alto índice de metales procedente del Centro poblado Alianza-San Martín. En el proceso de filtración simple, cuyo componente principal fue la zeolita, el índice de fierro en el agua se logró disminuir a 0.06 - 0.00 mg/L. Se estabilizó el pH del agua, alcanzando un valor de a 6.9, el cual se encuentra dentro de los Estándares de Calidad de Agua (DS- 002-2008-MINAM). (Padilla, Leiva y Flores, 2015) Revista de investigación: ciencia, tecnología y desarrollo. Recuperado de: http://revistascientificas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/409/419

2.2 FUNDAMENTACIÓN DE LA TESIS

Se decidió realizar la presente investigación por las siguientes razones:

- El proceso de filtración de agua a través del medio filtrante, en este caso la zeolita de origen natural, es un método que se utiliza para la remoción de la turbiedad del agua con la finalidad de ser usada para consumo humano.
- Utilizar un nuevo medio filtrante diferente a los convencionales para la filtración de agua con fines de potabilización.
- Optimizar las unidades de filtración rápida y disminuir las pérdidas de agua tratada durante el lavado de los filtros.

2.3 ÁMBITO DEL ESTUDIO

La construcción y operación de los filtros a presión con medio filtrante a base de Zeolita natural se ejecutó en las instalaciones de la planta de tratamiento de agua potable del distrito de San Miguel ubicada a 2 horas y 40 minutos de la ciudad de Cajamarca. Con coordenadas UTM 17 L, 737020.83 E, 9225839.14 S y con una altura de 2605 m.s.n.m, temperatura promedio anual de 15 °C.

2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

2.4.1 ZEOLITA NATURAL

El término "zeolita" fue utilizado inicialmente para designar a una familia de minerales naturales que presentaban, como propiedades particulares, el intercambio de iones y la deshidratación reversible de agua. Esta última propiedad dio origen al nombre genérico de zeolita, el cual deriva de dos palabras griegas, zeo: que ebulle, y lithos: piedra (Giannetto, 1990).



Fotografía N° 1 Zeolita Natural

Las zeolitas son aluminosilicatos cristalinos hidratados, que pueden ser de origen natural o sintético. Las zeolitas naturales se formaron como resultado de las erupciones volcánicas mediante reacciones hidrotérmicas de rocas volcánicas de silicio y ricas en

álcalis. Los antecedentes geológicos sugieren que las zeolitas se generan a partir de un magma basáltico rico en SiO_2 , cuando sufre una violenta caída de temperatura (**Smart, 1995**).

La zeolita Natural es un mineral, no metálico, que presentan una infinidad de estructuras tridimensionales al igual que el cuarzo y los feldespatos, estos minerales pertenecen a la familia de los tectosilicatos; por lo tanto, no son arcillas y presentan una estructura tridimensional de tetraedros de SiO_4 (**Bascuñan & Soca, 1995**)

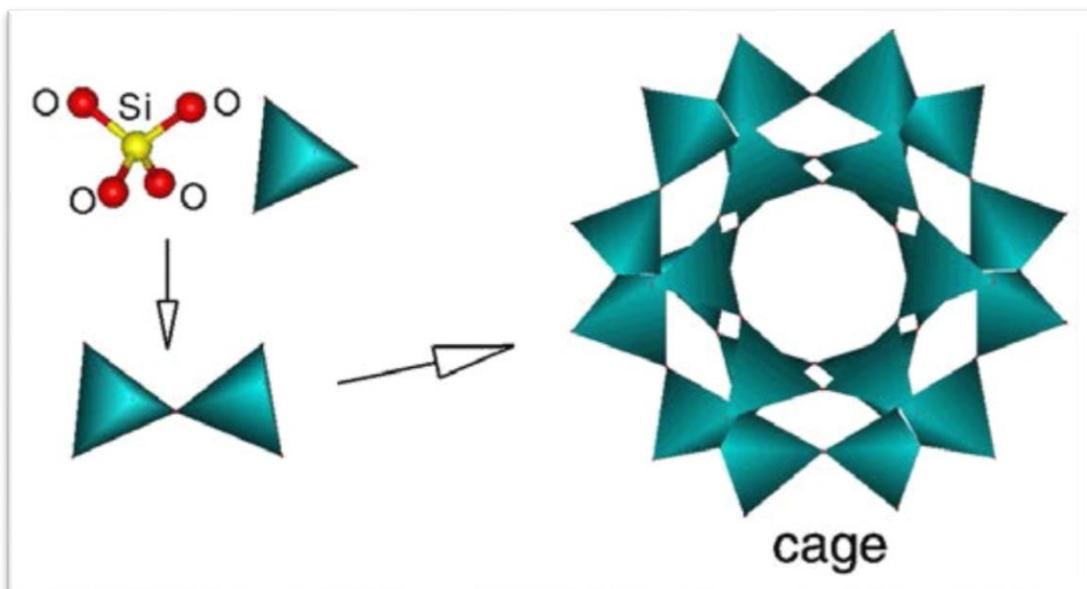


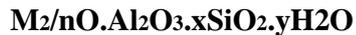
Figura N°1 Unidad estructural básica de una zeolita

En esta armazón estructural de la zeolita el Al^{3+} sustituye al Si^{4+} en el centro de los tetraedros estructurales, y los cationes de intercambio se sitúan en diversas posiciones equilibrando las cargas eléctricas; ocasionalmente otros cationes pueden ocupar posiciones estructurales o de intercambio.

Al deshidratarse desarrollan, en el cristal ideal, una estructura porosa con diámetros de poro mínimos de 3 a 10 angstroms, que forman cavidades ocupadas por iones grandes y moléculas de agua con gran libertad de movimiento, lo que permite el intercambio iónico y la deshidratación reversible (**Costafreda, 2011**).

La fórmula empírica de una zeolita es:

Ecuación N° 01



Donde:

M: es un catión de valencia n;

"x": es el número de átomos de aluminio;

"y": es el número de átomos de silicio;

"x": toma valores entre 2 y 10;

"y": toma valores entre 2 y 8. De esta manera, la fórmula de una zeolita natural, como la clinoptilolita, sería:

Ecuación N° 02



Las características de los poros de la zeolita son muy importantes a la hora de definir su importancia, y la regularidad de su estructura es utilizada para tamizar moléculas, atrapar compuestos y absorber gases (Costafreda, 2011).

Con el intercambio iónico es posible alterar el tamaño de los canales por los que circulan las moléculas, y fijar metales con propiedades químicas peculiares en algunas de esas posiciones.

Las zeolitas, a diferencia de otros tectosilicatos ($d = 2,6-2,7 \text{ g/cm}^3$), tienen estructuras abiertas ($d = 2,1-2,2 \text{ g/cm}^3$); el volumen de los espacios vacíos puede alcanzar el 50%. Cada zeolita tiene una estructura característica y, por tanto, propiedades físicas y químicas específicas. (Costafreda, 2011).

2.4.1.1 PROPIEDADES

Las aplicaciones comerciales de las zeolitas, se encuentra en función de sus propiedades físico –químicas, como son su capacidad de intercambio iónico, la adsorción, la deshidratación – hidratación y el tamiz molecular, etc. (Bascuñan & Soca,1995).

a) Adsorción

En condiciones ambientales, la cavidad central, así como sus canales, se encuentran repletos por moléculas de agua en forma de esferas que rodean a los cationes intercambiables. Si el agua es desplazada a temperatura adecuada (según el tipo de Zeolita), estos serán capaces de adsorber moléculas cuyo diámetro sea inferior al de la cavidad central, es decir, que adsorben algunas moléculas, mientras que a otras no las deja pasar. (Bascuñan, c, Soca M ,1995)

b) Hidratación – Deshidratación

Es un fenómeno físico que varía en función de la presión y temperatura así como de su armazón estructural, siendo el efecto directo endotérmico y la rehidratación exotérmica. La importancia de esta propiedad es porque ocurre sin que se produzca alteración en el armazón estructural de estos minerales. (Bascuñan & Soca,1995).

c) Intercambio Iónico

El intercambio iónico está dado por poseer una geometría molecular bien definida, con poros generalmente llenos de agua y cuyos enlaces forman canales y cavidades que le permiten ganar y perder agua reversiblemente e intercambiar los cationes de su estructura, sin que este se altere.

Debido a esta conformación, las zeolitas presentan una estructura microporosa adecuada para la acción catalítica, lo que las convierte en un material ideal para muchos procesos químicos industriales. Esta propiedad de permitir específicamente el paso de algunas moléculas y no de otra que se aprovechó en los años 90 para introducirla comercialmente como cribas moleculares en los procesos industriales que lo requieran. (Casals, 1998).

d) Tamiz Molecular

Lo más importante de las zeolitas es su propiedad de servir de tamiz molecular. Debido a su estructura cavernosa asegura una enorme área en su interior, pero al paso a las mismas está limitado solo a moléculas con un tamaño determinado que pueden pasar a través del tamiz. El volumen vacío en algunas zeolitas puede alcanzar valores tan altos como un 47% (chabazitas), mientras que las dimensiones de los canales, en las distintas especies de minerales de zeolita, permiten el paso de moléculas con diámetros específicos efectivos de varios angstroms, las cuales son absorbidas en los espacios vacíos; esto explica el empleo de algunas zeolitas como absorbentes industriales, **(Casals , 1998)**.

2.4.2 EL AGUA

El agua tal como la encontramos en la naturaleza no es utilizable directamente para el consumo humano ni para industria, salvo en raros casos, no es suficientemente pura. **(Degrémont, 1979)**.

2.4.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades Físicas más interesantes para el tratamiento del agua son las siguientes:

a) Viscosidad

Es la propiedad que tiene un líquido de oponer resistencia a todo movimiento, ya sea interno o global como el flujo. Es un factor fundamental de las pérdidas de carga y, por lo tanto, desempeña un importante papel en el tratamiento del agua. Disminuye cuando aumenta la temperatura. **(Degrémont, 1979)**.

Tabla N° 01 Variaciones de la viscosidad dinámica en función a la temperatura

°C	0	5	10	15	20	25	30	35
m.Pa. s	1,797	1,523	1,301	1,138	1,007	0,895	0,800	0,723

Fuente: (Manual Degrémont)

Por el contrario, aumenta con el contenido en sales disueltas, por lo que el agua de mar, es mucho más viscosa que el agua de río.

Tabla N° 02 Salinidad de Iones

Salinidad en iones CL- en g/l	0	4	8	12	16	20
Coefficiente de viscosidad a 20°C en mPa.s	1,007	1,021	1,035	1,052	1,068	1,085

Fuente: (Manual Degrémont)

La presión actúa de forma especial sobre la viscosidad absoluta del agua. Una presión moderada hace al agua menos viscosa a bajas temperaturas, cosa que no ocurre con otros líquidos: rompe de alguna forma su organización molecular. Si continúa aumentando la presión, el agua vuelve a tomar la estructura del líquido desprovisto de una sujeción interna y sigue la regla general, es decir la viscosidad crece con la presión. (Degrémont, 1979).

a) **TENSIÓN SUPERFICIAL**

Caracteriza una propiedad de las superficies que limitan dos fases. Se define como una fuerza de tracción que se ejerce en la superficie del líquido y tiende siempre a reducir lo más posible la extensión de dicha superficie.

La tensión superficial del agua es de $73 \times 10^{-3} \text{ N/m}$ (73dyn/cm) a 18°C, y de $52.5 \times 10^{-3} \text{ N/m}$ (52.5 dyn/cm) a 100 °C. Es tal que provoca una ascensión capilar de 15 cm a 18° C en un tubo de 0.1 mm de diámetro.

La adición de sales disueltas aumenta generalmente la tensión superficial ($\gamma = 74.6 \times 10^{-3} \text{ N/m}$ o 74.6 dyn/cm para una solución acuosa de NaCl a 1 mol/l.a 18 °C).

La presencia en el agua de algunos cuerpos (denominados tensoactivos disminuye la tensión superficial. (Degrémont, 1979).

b) Ópticas

La transparencia del agua depende de la longitud de onda de luz que atraviesa. Los rayos ultravioletas pasan bien, pero los infrarrojos, tan útiles desde el punto de vista físico y biológico, apenas penetran en ella. El agua absorbe fuertemente el anaranjado y el rojo en el espectro visible, debiéndose a ello el color azul de la luz transmitida en capa espesa. Esta transparencia se utiliza fuertemente para medir ciertas formas de contaminación, y por consiguiente, la eficiencia de los tratamientos de depuración. **(Degrémont, 1979).**

2.4.2.2 PROPIEDADES QUÍMICAS

El agua es el compuesto químico más familiar para nosotros, el más abundante y el de mayor significación para nuestra vida. Su excepcional importancia, desde el punto de vista químico, reside en que casi la totalidad de los procesos químicos que ocurren en la naturaleza, no solo en organismos vivos, sino también en la superficie no organizada de la tierra, así como los que se llevan a cabo en el laboratorio y en la industria, tienen lugar entre sustancias disueltas en agua, esto es en disolución. Normalmente se dice que el agua es el disolvente universal, puesto que todas las sustancias son de alguna manera solubles en ella.

No posee propiedades ácidas ni básicas, combina con ciertas sales para formar hidratos, reacciona con los óxidos de metales formando ácidos y actúa como catalizador en muchas reacciones químicas. **(Degrémont, 1979).**

2.4.2.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, etcétera), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua. Se consideran importantes las siguientes:

- turbiedad;
- sólidos solubles e insolubles;
- color;
- olor y sabor;

- temperatura, y
- pH

a) Turbiedad

La turbiedad es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida, etcétera). La figura N° 2 muestra la distribución de las partículas en el agua de acuerdo con su tamaño. La turbiedad es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales; es decir, aquellas que por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado.

La medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro. Las unidades utilizadas son, por lo general, unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

Últimamente, ha cobrado importancia la presencia de fibras de asbesto desprendidas de los accesorios de asbesto-cemento de los sistemas de distribución como un factor causante de turbiedad en las aguas de consumo humano.

En la práctica, la remoción de la turbiedad no es un proceso difícil de llevar a cabo en una planta de clarificación de agua; sin embargo, es uno de los que más influye en los costos de producción, porque, por lo general, requiere usar coagulantes, acondicionadores de pH, ayudantes de coagulación, etcétera.

El diseño de los sistemas de remoción de turbiedad debe considerar no solo el tipo de partículas existentes (origen, estructura, composición y forma) sino también su tamaño y comportamiento.

Aunque no se conocen los efectos directos de la turbiedad sobre la salud, esta afecta la calidad estética del agua, lo que muchas veces ocasiona el rechazo de los consumidores. Por otra parte, como señala Castro de Esparza (1), los estudios

elaborados por Tracy y por Sanderson y Kelly han demostrado que en el proceso de eliminación de los organismos patógenos, por la acción de agentes químicos como el cloro, las partículas causantes de la turbiedad reducen la eficiencia del proceso y protegen físicamente a los microorganismos del contacto directo con el desinfectante. Por esta razón, si bien las normas de calidad establecen un criterio para turbiedad en la fuente de abastecimiento, esta debe mantenerse mínima para garantizar la eficacia del proceso de desinfección.

Los estándares internos de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) establecen que las aguas de consumo humano deben tener preferentemente una UNT y en ningún caso más de 5 UNT. Las Guías de Calidad para Agua de Bebida del Canadá y las Guías de Calidad para Aguas de Consumo Humano de la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomiendan como valor guía 5 UNT. La OMS indica, sin embargo, que para una desinfección eficiente, el agua filtrada debería tener una turbiedad promedio menor o igual a una (1) UNT. (Canepa, 2004).

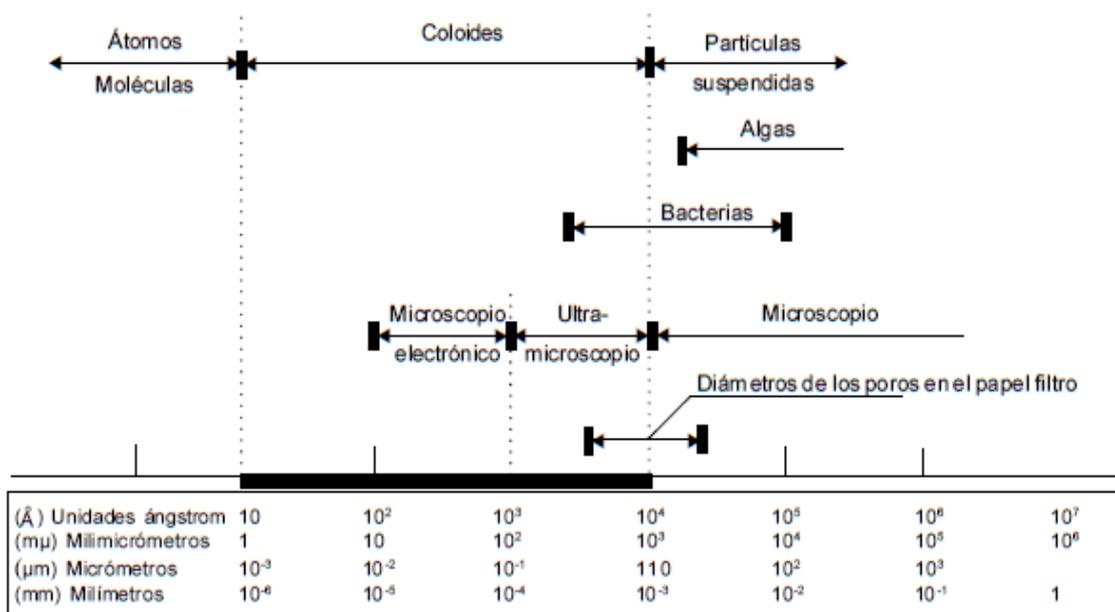


Figura N°2 Tamaño de las partículas

b) Sólidos y Residuos

Se denomina así a los residuos que se obtienen como materia remanente luego de evaporar y secar una muestra de agua a una temperatura dada. Según el tipo de asociación con el agua, los sólidos pueden encontrarse suspendidos o disueltos.

La figura N° 2 muestra la distribución de partículas en el agua según su tamaño. Las partículas pueden estar:

Disueltas (hasta un milimicrómetro), en cuyo caso físicamente no influirán en la turbiedad, pero sí podrían definir su color u olor. Formando sistemas coloidales (1 a 1.000 milimicrómetros), que son las causantes de la turbiedad neta del agua.

En forma de partículas suspendidas (por encima de 1.000 milimicrómetros), las cuales caen rápidamente cuando el agua se somete a reposo.

Es necesario aclarar que las pruebas analíticas para determinar las formas de los residuos no determinan sustancias químicas específicas y solo clasifican sustancias que tienen propiedades físicas similares y comportamiento semejante frente a las diferentes condiciones ambientales.

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

Equivalencias:

Sólidos totales = sólidos suspendidos + sólidos disueltos

Sólidos totales = sólidos fijos + sólidos volátiles.

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

- Sólidos en suspensión. Corresponden a los sólidos presentes en un agua residual, exceptuados los solubles y los sólidos en fino estado coloidal. Se considera que los sólidos en suspensión son los que tienen partículas superiores a un micrómetro y que son retenidos mediante una filtración en el análisis de laboratorio.

- sólidos volátiles y fijos. Los sólidos volátiles son aquellos que se pierden por calcinación a 550 °C, mientras que el material remanente se define como sólidos fijos.

La mayor parte de los sólidos volátiles corresponden a material orgánico. Los sólidos fijos corresponden, más bien, a material inorgánico. (Canepa, 2004).

c) Color

Esta característica del agua puede estar ligada a la turbiedad o presentarse independientemente de ella.

Aún no es posible establecer las estructuras químicas fundamentales de las especies responsables del color. Esta característica del agua se atribuye comúnmente a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, ácidos fúlvicos, etcétera. Se considera que el color natural del agua, excluyendo el que resulta de descargas industriales, puede originarse por las siguientes causas:

La extracción acuosa de sustancias de origen vegetal; la descomposición de la materia; la materia orgánica del suelo; la presencia de hierro, manganeso y otros compuestos metálicos; y una combinación de los procesos descritos.

En la formación del color en el agua intervienen, entre otros factores, el pH, la temperatura, el tiempo de contacto, la materia disponible y la solubilidad de los compuestos coloreados.

Se denomina color aparente a aquel que presenta el agua cruda o natural y color verdadero al que queda luego de que el agua ha sido filtrada.

Existen muchos métodos de remoción del color. Los principales son la coagulación por compuestos químicos como el alumbre y el sulfato férrico a pH bajos y las unidades de contacto o filtración ascendente.

Debido a que el color del agua se origina, en muchos casos, por la presencia de compuestos de naturaleza orgánica, se recomienda que la desinfección se realice luego de que este haya sido removido, para evitar que la aplicación de cloro como desinfectante pueda dar origen a la formación de trihalometanos, compuestos que tienen efecto cancerígeno en animales.

El valor guía de la OMS y del Canadá es 15 unidades de color (UC) para aguas de bebida (Canepa, 2004).

d) Olor y Sabor

El sabor y el olor están estrechamente relacionados; por eso es común decir que “A lo que huele, sabe el agua”.

Estas características constituyen el motivo principal de rechazo por parte del consumidor.

En términos prácticos, la falta de olor puede ser un indicio indirecto de la ausencia de contaminantes, tales como los compuestos fenólicos. Por otra parte, la presencia de olor a sulfuro de hidrógeno puede indicar una acción séptica de compuestos orgánicos en el agua (Canepa, 2004).

Cuadro N° 2 Olores característicos del agua, de acuerdo con su origen.

Naturaleza	Origen
Olor balsámico	Flores
Dulzor	<i>Coelosphaerium</i>
Olor químico	Aguas residuales industriales
Olor a cloro	Cloro libre
Olor a hidrocarburo	Refinería de petróleo
Olor medicamentoso	Fenol, Yodoformo
Olor a azufre	Ácido sulfhídrico H ₂ S
Olor a pescado	Pescados y mariscos
Olor séptico	Alcantarilla
Olor a tierra	Arcillas Húmedas
Olor fecaloide	Retrete, alcantarilla
Olor a Moho	Cueva húmeda
Olor a legumbres	Hierbas, hojas en descomposición

Fuente: Cepis

Las sustancias generadoras de olor y sabor en aguas crudas pueden ser compuestos orgánicos derivados de la actividad de microorganismos y algas o provenir de descargas de desechos industriales.

En el agua se pueden considerar cuatro sabores básicos: ácido, salado, dulce y amargo.

Cuadro N° 3 Límites de percepción de algunas sales y compuestos presentes en el agua.

Sustancia	Netamente reconocible	Debidamente perceptible	No apreciable
CaCl ₂ ; NaCl	600	300	150
MgCl ₂	100	60	---
FeSO ₄	---	3.5	1.75
CuSO ₄	7	3.5	1.75
H ₂ S	1.15	0.55	0.30
H ₂ SO ₄	4	2	1
Cl ₂	0.1	0.05	0.05
Ca(OCL) ₂	0.5	0.2	0.2

Fuente: Cepis

En algunos casos, la eliminación de los olores puede realizarse mediante la aireación o la adición de carbón activado.

La cloración en presencia de compuestos fenólicos puede imprimir un mal sabor en el agua, por la formación de derivados clorados que producen un sabor a derivados fenólicos.

La EPA y la OMS recomiendan como criterio que por razones organolépticas, las fuentes de abastecimiento deben estar razonablemente exentas de olor y sabor; es decir, en términos generales, que se encuentren en un nivel aceptable.

e) **Temperatura**

Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración.

Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente (Canepa, 2004).

2.4.2.4 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

El agua, como solvente universal, puede contener cualquier elemento de la tabla periódica. Sin embargo, pocos son los elementos significativos para el tratamiento del agua cruda con fines de consumo o los que tienen efectos en la salud del consumidor.

A continuación se sustentan las características e importancia de los principales parámetros químicos relacionados con las fuentes de abastecimiento.

a) **Alcalinidad**

Definimos la alcalinidad como la capacidad del agua para neutralizar ácidos o aceptar protones. Esta representa la suma de las bases que pueden ser tituladas en una muestra de agua. Dado que la alcalinidad de aguas superficiales está

determinada generalmente por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, ésta se toma como un indicador de dichas especies iónicas. No obstante, algunas sales de ácidos débiles como boratos, silicatos, nitratos y fosfatos pueden también contribuir a la alcalinidad de estar también presentes.

La alcalinidad, no sólo representa el principal sistema amortiguador del agua dulce, sino que también desempeña un rol principal en la productividad de cuerpos de agua naturales, sirviendo como una fuente de reserva para la fotosíntesis. Históricamente, la alcalinidad ha sido utilizada como un indicador de la productividad de lagos, donde niveles de alcalinidad altos indicarían una productividad alta y viceversa. Ver cuadro N°4.

Cuadro N° 4 Niveles de alcalinidad

RANGO	ALCALINIDAD (mg/L CaCO ₃)
BAJA	< 75
MEDIA	75 - 150
ALTA	> 150

* Datos tomados de Kevern (1989).

Durante el tratamiento, las aguas crudas de muy baja alcalinidad pueden requerir la adición de un alcalinizante primario (como el hidróxido de calcio).

La EPA no hace recomendaciones respecto a la alcalinidad en fuentes de agua, ya que esta se liga a factores como el pH y la dureza, pero concluye que una fuente no debe mostrar cambios bruscos o repentinos en el contenido de la alcalinidad, pues esto podría indicar un cambio en la calidad del agua (Canepa, 2004).

b) PH

El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución. Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sí puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección. Por lo general, las aguas naturales (no contaminadas) exhiben un pH en el rango de 5 a 9.

Cuando se tratan aguas ácidas, es común la adición de un álcali (por lo general, cal) para optimizar los procesos de coagulación. En algunos casos, se requerirá volver a ajustar el pH del agua tratada hasta un valor que no le confiera efectos corrosivos ni incrustantes.

Se considera que el pH de las aguas tanto crudas como tratadas debería estar entre 5,0 y 9,0. Por lo general, este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua.

Las guías canadienses han establecido el rango de pH 6,5 a 8,5 para el agua potable.

2.4.2.5 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

El agua en su estado natural puede contener parásitos, bacterias, virus y protozoos.

El agua potable debe carecer de cualquier microorganismo causante de enfermedades en el hombre. También se puede expresar en función de la presencia o ausencia o recuento de microorganismos. (Cepis)

a) Coliformes Termotolerantes o Fecales

Se denomina coliformes Termotolerantes a ciertos miembros del grupo de bacterias coliformes totales que están estrechamente relacionados con la contaminación fecal. Por este motivo, antes recibían la denominación de coliformes.

fecales; estos coliformes generalmente no se multiplican en los ambientes acuáticos.

Los coliformes Termotolerantes crecen a una temperatura de incubación de 44,5 °C. Esta temperatura inhibe el crecimiento de los coliformes no tolerantes.

Se miden por pruebas sencillas, de bajo costo y ampliamente usadas en los programas de vigilancia de la calidad del agua (Canepa, 2004).

b) Coliformes Totales

Los coliformes totales se caracterizan por su capacidad de fermentar la lactosa a 35-37 °C en 24-48 horas y producir ácido y gas. Tienen la enzima cromogénica B galactosidasa, que actúa sobre el nutriente indicador ONPG¹. Este nutriente sirve como fuente de carbono y su efecto consiste en un cambio de color en el medio de cultivo. La reacción se detecta por medio de la técnica de sustrato definido. Las técnicas de análisis más conocidas son la prueba de tubos múltiples y la de filtración con membrana.

Los coliformes totales se reproducen en el ambiente, proporcionan información sobre el proceso de tratamiento y acerca de la calidad sanitaria del agua que ingresa al sistema y de la que circula en el sistema de distribución. No constituyen un indicador de contaminación fecal (Canepa, 2004).

2.4.3 EL AGUA POTABLE

Es el agua que por su calidad química, física y microbiológica es apta y aceptable para el consumo humano y que cumple con las normas de calidad del agua (Manual de operación y mantenimiento de redes de agua potable GIZ).

2.4.3.1 ASPECTOS FISICOQUÍMICOS

El agua potable es aquella que ha sido tratada con el objetivo de hacerla apta para el consumo humano, teniendo en cuenta todos sus usos domésticos.

Algunas especies biológicas, físicas y químicas pueden afectar la aceptabilidad del agua para consumo humano. Por ejemplo:

- Su apariencia estética: turbiedad, olor, color y sabor, espuma.
- Su composición química: acidez, alcalinidad, aceites y grasas, compuestos orgánicos e inorgánicos en general.

Es necesario, asimismo, considerar las transformaciones químicas y bioquímicas a que están expuestos los contaminantes del ambiente acuático.

¹ ONPG: Orto-nitrofenil -β-d galactopiranosido.

Las alteraciones químicas pueden afectar su disponibilidad biológica o tóxica (aumentarla o disminuirla). Poco se sabe acerca de estos procesos químicos, físicos y biológicos y sus mecanismos, a pesar de que son indispensables para comprender los efectos en la salud del consumidor.

Por citar un ejemplo, aún no se entiende bien la relación que existe entre la dureza del agua y las trazas metálicas y los efectos en el organismo del consumidor, pero se sabe que estos factores pueden influir en la salud y tal vez estar relacionados con algunas enfermedades de la población en diferentes áreas geográficas (CEPIS).

2.4.3.2 CALIDAD DEL AGUA

El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria.

Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar.

Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial.

Es importante anotar que la evaluación de la calidad del agua se realiza usando técnicas analíticas adecuadas para cada caso. Para que los resultados de estas determinaciones sean representativos, es necesario dar mucha importancia a los procesos de muestreo y a las unidades y terminología empleadas (Canepa, 2004).

2.4.4 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA

Una planta de tratamiento es una secuencia de operaciones o procesos unitarios, convenientemente seleccionados con el fin de remover totalmente los contaminantes microbiológicos presentes en el agua cruda y parcialmente los físicos y químicos, hasta llevarlos a los límites aceptables estipulados por las (Canepa, 2004).

2.4.4.1 TIPOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO

Las plantas de tratamiento de agua se pueden clasificar, de acuerdo con el tipo de procesos que las conforman, en plantas de filtración rápida y plantas de filtración lenta. También se pueden clasificar, de acuerdo con la tecnología usada en el proyecto, en plantas convencionales antiguas, plantas convencionales de tecnología apropiada y plantas de tecnología importada o de patente (Canepa, 2004).

a) Plantas Convencionales Antiguas

Este tipo de sistema es el más antiguo en nuestro medio. Se ha venido utilizando desde principios del siglo pasado (1910–1920). Se caracteriza por la gran extensión que ocupan las unidades, principalmente el decantador rectangular de flujo horizontal, el cual normalmente se diseña con tasas comprendidas entre 10 y 60 m³/m².d.

Los filtros son de tasa constante de 120 m³/m².d y de nivel variable. Generalmente, el lecho filtrante es simple, solo de arena. Estas instalaciones se caracterizan por una gran galería de tubos a través de los cuales pasa el agua filtrada, el agua para el lavado de los filtros y el desagüe del retrolavado.

El agua y la carga para el retrolavado del lecho filtrante normalmente son proporcionadas por un tanque elevado, el cual es alimentado mediante una estación de bombeo desde la cisterna de aguas claras (Canepa, 2004).

b) Plantas Convencionales de Alta Tasa o Tecnología Cepis/Ops

Las unidades son de alta tasa, ocupan una extensión que constituye el 25% ó 30% del área que ocupa un sistema convencional de la misma capacidad. La reducción del área se debe al empleo de floculadores verticales que por su mayor profundidad ocupan menos área que los horizontales y permiten compactar mejor el sistema.

Los filtros se proyectan en baterías para ser operados con altura variable y por el principio de tasa declinante, de acuerdo con el cual filtros operan con velocidades decrecientes, entre lavado y lavado, y se desfasan en la operación. De este modo, mientras unos están empezando las carreras los otros están a la mitad y el resto terminándola.

Así, entre todos llegan a asumir la capacidad completa del sistema y el caudal permanece constante, las principales ventajas de esta tecnología son las siguientes:

➤ Es sumamente eficiente

En su concepción se han empleado los resultados de las recientes investigaciones. Tiene el mérito de encerrar bajo su aspecto sencillo procesos complejos y sumamente eficientes, por lo que realmente es una tecnología de avanzada.

➤ Es fácil de construir, operar y mantener

El equipamiento ha sido reducido al mínimo imprescindible. Los procesos se generan mediante energía hidráulica. El 100% de las obras son civiles.

Por lo tanto, son fáciles de construir con los recursos normalmente disponibles en los países en desarrollo. La operación es sencilla porque carecen de mecanismos complicados y, por consiguiente, el mantenimiento es económico, fácil y rápido de realizar. Por estas razones, se la denomina tecnología apropiada para países en desarrollo.

➤ Es muy económica

La sencillez y el alto grado de compactación logrado en las estructuras hacen que normalmente se utilice alrededor de 1/3 del área que requiere una planta convencional. El costo inicial es 1/3 ó la mitad del costo de los otros tipos de tecnologías disponibles.

➤ Es muy confiable

No requiere energía eléctrica para su funcionamiento; por lo tanto, puede trabajar en forma continua a pesar de la escasez del recurso. De este modo, se pueden garantizar las metas de calidad y cantidad (Canepa, 2004).

c) Plantas de Tecnología Importada, de Patente o Plantas Paquete

Estas tecnologías están normalmente integradas por decantadores de manto de lodos de suspensión dinámica, unidades que integran la mezcla rápida, la floculación y la decantación en un solo equipo, o cuando menos la floculación y decantación. Los filtros son de tasa constante y altura constante, para lo cual se

requiere gran cantidad de equipos e instrumentación ubicados en las galerías de tubos (Canepa, 2004).

2.4.5 FILTRACIÓN

La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso. En general, la filtración es la operación final de clarificación que se realiza en una planta de tratamiento de agua y, por consiguiente, es la responsable principal de la producción de agua de calidad coincidente con los estándares de potabilidad (Canepa, 2004).

Llamaremos “filtración en superficie” a la primera y “filtración en profundidad” a la segunda. La filtración sobre superficie se efectúa sobre un elemento soporte, y la filtración en profundidad a través de un lecho filtrante (Degrémont, 1979).

El propósito principal de la filtración es remover turbiedad e impedir la interferencia de la turbiedad con la desinfección, al proveer protección a los microorganismos de la acción del desinfectante (Degrémont, 1979).

2.4.5.1 MECANISMOS DE FILTRACIÓN

El mecanismo por el cual un filtro retiene y remueve el material suspendido ha sido explicado de distintas maneras por diferentes autores. Posiblemente el fenómeno es el resultado de la acción conjunta de diferentes acciones físicas, químicas y biológicas ocurrientes en el filtro con mayor o menor intensidad según el tipo de filtro y la calidad del agua filtrada (Degrémont, 1979).

La filtración usualmente es considerada como el resultado de dos mecanismos distintos pero complementarios: transporte y adherencia. Inicialmente, las partículas por remover son transportadas de la suspensión a la superficie de los granos del medio filtrante. Ellas permanecen adheridas a los granos, siempre que resistan la acción de las fuerzas de cizallamiento debidas a las condiciones hidrodinámicas del escurrimiento (Canepa, 2004).

a) Transporte

El transporte de partículas es un fenómeno físico e hidráulico, afectado principalmente por los parámetros que gobiernan la transferencia de masas.

Los mecanismos que pueden realizar transporte son los siguientes:

➤ Cernido;

El cernido, en general, actúa solo en las capas más superficiales del lecho y con partículas relativamente fuertes, capaces de resistir los esfuerzos cortantes producidos por el flujo, cuya velocidad aumenta en las constricciones.

➤ Sedimentación;

La sedimentación solo puede producirse con material suspendido relativamente grande y denso, cuya velocidad de asentamiento sea alta y en zonas del lecho donde la carga hidráulica sea baja.

➤ Intercepción;

Normalmente, el régimen de escurrimiento durante la filtración es laminar y, por lo tanto, las partículas se mueven a lo largo de las líneas de corriente.

Debido a que las partículas suspendidas tienen una densidad aproximadamente igual a la del agua, ellas serán removidas de la suspensión cuando, en relación con la superficie de los granos del medio filtrante, las líneas de corriente están a una distancia menor que la mitad del diámetro de las partículas suspendidas.

➤ Difusión;

Se ha observado que las partículas relativamente pequeñas presentan un movimiento errático cuando se encuentran suspendidas en un medio líquido (ver figura N° 3). Este fenómeno, resultado de un bombardeo intenso a las partículas suspendidas por las moléculas de agua, es conocido como movimiento browniano, y se debe al aumento de la energía termodinámica y a la disminución de la viscosidad del agua.

La eficiencia del filtro debida a la difusión es directamente proporcional a la temperatura e inversamente proporcional al diámetro de la partícula del grano.

➤ Impacto inercial;

Durante el escurrimiento, las líneas de corriente divergen al estar cerca de los granos del medio filtrante, de modo que las partículas suspendidas, con cantidad de movimiento suficiente para mantener su trayectoria, colisionan con los granos.

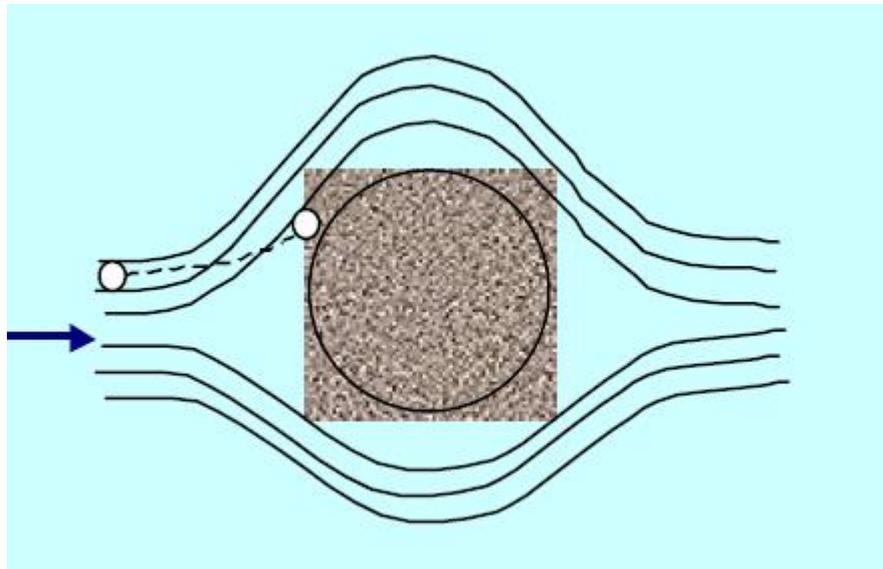


Figura N°3 Impacto inercial

➤ Acción hidrodinámica

La remoción de partículas floculentas de tamaño relativamente grande ($\sim 10\mu\text{m}$) es atribuida a la acción hidrodinámica, según se muestra en la figura N° 3.

La comprensión de este mecanismo se facilita cuando se considera un escurrimiento en el que el gradiente de velocidad es constante. Una partícula suspendida en un fluido que escurre en estas condiciones estará sometida a velocidades tangenciales variables en dirección perpendicular a la del escurrimiento.

La diferencia entre V_a y V_b tiende a hacer que la partícula gire y produzca una diferencia de presión en dirección perpendicular al escurrimiento, lo que hará que la partícula sea conducida a una región de velocidad más baja. A pesar de no tener exactamente las condiciones descritas anteriormente, en la práctica de la

filtración, el fenómeno es análogo y es válido para explicar la remoción de partículas de un tamaño del orden de 10 μm .

➤ Mecanismos de transporte combinados.

Es probable que todos los mecanismos actúen simultáneamente durante la filtración; sin embargo, el grado de importancia de cada uno de ellos depende de las características de la suspensión y del medio filtrante. Normalmente se ha dado poca importancia a los efectos de la acción física de cernido y de impacto inercial durante la filtración.

La eficiencia del medio filtrante para remover partículas de la suspensión por acción de los mecanismos de transporte puede expresarse adecuadamente como una función de la intercepción, difusión, sedimentación y acción hidrodinámica.

b) ADHERENCIA

La adherencia entre partículas y granos es básicamente un fenómeno de acción superficial, que es influenciado por parámetros físicos y químicos.

La importancia de las características de las superficies es evidente cuando se considera la filtración de una suspensión de arcilla en un lecho de arena con una velocidad de aproximación del orden de 1,5 mm/s. La eficiencia de remoción es inferior a 20% cuando no se emplea coagulante; por lo tanto, la filtración de la misma suspensión coagulada con una sal de Al^{+++} o Fe^{+++} puede producir una eficiencia de remoción superior a 95%. En el primer caso, se tiene una cantidad elevada de partículas estables, en tanto que, en el segundo caso, la mayor parte de las partículas fueron desestabilizadas.

La adherencia se atribuye a dos tipos de fenómenos: interacción entre las fuerzas eléctricas y las de Van der Waals, y al enlace químico entre las partículas y la superficie de los granos de un material intermediario. Se ha sugerido, inclusive, que la filtración no es más que un caso especial de la floculación, donde algunas partículas son fijas (aquellas adheridas inicialmente a los granos) y otras suspendidas.

Los mecanismos de adherencia son los siguientes:

➤ Fuerzas de Van der Waals-fuerzas electrostáticas.

Las fuerzas de atracción entre los átomos y entre las partículas fueron postuladas por Van der Waals para explicar la diferencia entre los gases ideales, los reales, y los vapores. Estas fuerzas son resultantes de varias acciones diferentes, como el efecto de Keeson, la inducción y la dispersión.

Entre las partículas sólidas es posible que se produzcan interacciones por cualquiera de estos dos o tres efectos mencionados; por lo tanto, solamente la contribución debida a la dispersión se adiciona y hace efectiva a una distancia inferior a 500 ángstroms (A°). Por ese motivo, la interacción de las fuerzas de Van der Waals entre las partículas sólidas es, en muchas ocasiones, referida como interacción de dispersión.

Si en una dispersión coloidal, las únicas fuerzas entre las partículas fueran las de atracción de Van der Waals y las de repulsión eléctrica, se podría calcular el efecto global de interacción por la adición de ambas como contribuciones. La figura N° 4 representa la variación de la energía de repulsión y atracción, y el efecto global entre dos partículas esféricas de radio igual a 1 μm .

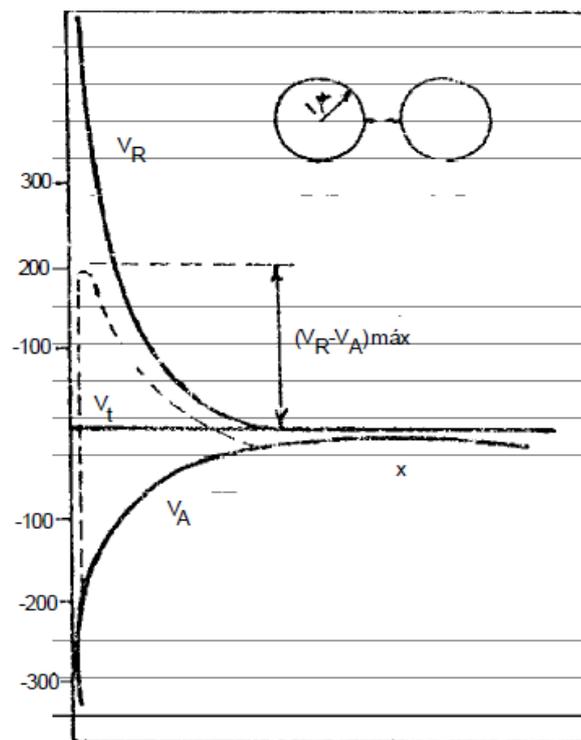


Figura N°4 Variación del potencial y repulsión en función de la distancia de dos esferas

➤ Puente químico.

Como se sabe, la desestabilización de los coloides es efectuada por los productos de la hidrólisis que a determinados pH se polimerizan.

Las cadenas poliméricas adheridas a las partículas dejan sus segmentos extendidos en el agua, los que pueden ser adsorbidos por otras partículas o por sitios vacantes en los granos del filtro. Este fenómeno es independiente de las fuerzas de Van der Waals y de las cargas electrostáticas.

El uso de ayudantes de filtración o polielectrolitos inyectados en el afluente al filtro puede, por eso, ser de gran utilidad para aumentar la adhesión de la materia suspendida al medio filtrante.

Las partículas con sus segmentos poliméricos adheridos, al atravesar las constricciones del medio filtrante, se enlazan con los segmentos sueltos adsorbidos por los granos o por los de partículas ya adheridas al lecho filtrante y quedan en esta forma retenidas.

Las leyes que gobiernan la adsorción de polímeros deben tenerse en cuenta también en este caso (Canepa, 2004).

2.4.5.2 CINÉTICA DE FILTRACIÓN

A pesar del extenso conocimiento de los mecanismos de la filtración, no se ha podido llegar a encontrar un modelo matemático que describa con precisión el comportamiento de los diferentes parámetros de operación de los filtros. No existe, hasta ahora, ninguna fórmula o conjunto de fórmulas con las cuales, asumidos determinados valores, se puedan calcular los diferentes parámetros que inciden en el funcionamiento de un filtro.

Obviamente, esta dificultad no limita el hecho de poder determinar los parámetros del proceso de filtración experimentalmente.

Resulta, entonces, conveniente realizar estudios con filtros piloto, cuando se quiera conocer el comportamiento de un determinado filtro con una cierta suspensión, ya que cualquier alteración en esta o el medio filtrante significa un cambio en los parámetros del proceso.

2.4.5.3 BALANCE DE MASAS

El balance de masas tiene una doble finalidad en el análisis de la filtración. En primer lugar, conjuntamente con la ecuación que describe la remoción de partículas suspendidas, permite determinar la distribución de los depósitos en el medio filtrante en función de la posición y del tiempo. En segundo lugar, el balance de masas conduce a una expresión que hace posible conocer la cantidad de sólidos removidos por unidad de volumen del medio filtrante.

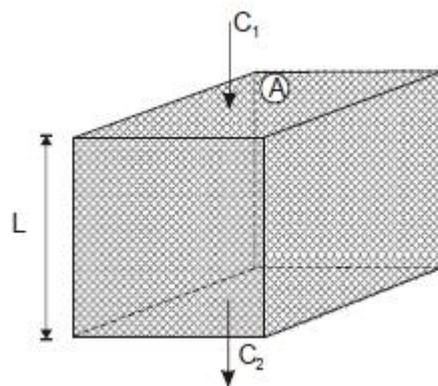


Figura N°5 Elemento del lecho filtrante

La figura N° 5 representa un elemento del medio filtrante de área A y espesor ΔL . La variación de la concentración de la suspensión está dada por la ecuación.

$$-\Delta C = (C2 - C1) \quad \text{Ecuación N° 2}$$

Donde:

ΔC = Variación de la concentración de partículas (volumen de partículas suspendidas por volumen de suspensión).

$C1$ = Concentración de partículas suspendidas en el afluente (L3/L3).

$C2$ = Concentración de partículas suspendidas en el efluente (L3/L3).

Si se considera que Q es el caudal que escurre a través del elemento y se admite que el depósito específico aumenta una cantidad $\Delta \sigma$, al transcurrir un intervalo del tiempo Δt , se tiene que el volumen de partículas removidas de la suspensión es:

$$-\Delta C \cdot Q \cdot \Delta T \quad \text{Ecuación N° 3}$$

Y el volumen de partículas acumuladas es:

$$-\Delta a \cdot A \cdot \Delta L \quad \text{Ecuación N° 4}$$

Igualando ambas expresiones, se obtiene:

$$-\Delta C \cdot Q \cdot \Delta T = -\Delta a \cdot A \cdot \Delta L \quad \text{Ecuación N° 5}$$

Donde:

Q = caudal (L3T-1)

Δt = intervalo de tiempo (T)

Δa = variación del depósito específico absoluto (volumen de

$\Delta \sigma$ = sólidos/volumen de medio filtrante, L3/L3)

A = área, en planta, del elemento de volumen del medio filtrante (L2)

L = espesor del elemento de volumen del medio filtrante (L)

Reordenando la ecuación N°5 se obtiene, en su forma diferencial, la ecuación

N° 6:

$$\frac{\Delta C}{\Delta L} \cdot V + \frac{\Delta \sigma}{\Delta t} = 0 \quad \text{Ecuación N° 6}$$

Donde:

V = velocidad de filtración o tasa de filtración (Q/A)

La ecuación (6) representa la relación entre la variación de la concentración de partículas suspendidas con la profundidad, y la variación del depósito específico absoluto con el tiempo, para la velocidad de filtración considerada.

La ecuación (6) fue propuesta por Iwasaki, hace más de 50 años, a través de estudios realizados en filtros lentos.

Muchas veces se considera al depósito específico efectivo (σ), que refleja el volumen que efectivamente ocupan las partículas removidas, para tener en cuenta de ese modo la porosidad de los depósitos.

$$\sigma = \beta \cdot \sigma_a$$

Donde:

σ = Depósito específico absoluto (volumen de depósito/volumen de medio filtrante).

β = Relación entre el volumen de los depósitos y el volumen de sólidos removidos.

De este modo, la porosidad local estará dada por:

$$\varepsilon = \varepsilon_o - \sigma$$

Donde:

ε_o = porosidad inicial (volumen de vacíos/volumen total del medio filtrante)

ε = porosidad del medio filtrante

De la combinación de las ecuaciones (6) y (7) se obtiene:

$$\frac{\Delta C}{\Delta L} = \frac{1}{\beta \cdot V} \cdot \frac{\Delta \sigma}{\Delta t}$$

La ecuación (9) representa la variación de la concentración en función del espesor del medio filtrante y demuestra que la tasa de variación disminuye a medida que el depósito específico aumenta con el tiempo de operación del filtro.

Combinando las ecuaciones (8) y (9), se obtiene:

$$-\frac{\Delta C}{\Delta L} = \frac{1}{\beta \cdot V} \cdot \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta t}$$

La ecuación (10) muestra que la tasa de variación de la concentración de la suspensión, en función del espesor del medio filtrante, disminuye a medida que la porosidad decrece con el tiempo de operación.

2.4.5.4 RETENCIÓN Y ARRASTRE DE PARTÍCULAS

De acuerdo con la teoría de retención y arrastre de partículas, y considerando un caudal constante, las partículas retenidas en los poros causan el estrechamiento de los canales, lo que trae como consecuencia un aumento de la velocidad intersticial. Este incremento hace que parte de las partículas retenidas sean arrastradas a las capas inferiores, de tal modo que la cantidad arrastrada sea proporcional a la existente en cada capa. Este arrastre de una fracción del material conduce a una disminución de la tasa de incremento de $\bar{\sigma}$ para la subcapa considerada.

2.4.5.5 TASA DE FILTRACIÓN

La tasa de filtración es la velocidad de filtración de un volumen de agua tomando en consideración la superficie de filtración. Cada tipo de filtro de mesa tiene su propia tasa de filtración y decrece con el tiempo conforme la turbiedad colmata la superficie del filtro (CEPIS).

2.4.5.6 CARRERA DE FILTRACIÓN

El tiempo transcurrido en el cual la tasa de filtración disminuye hasta un mínimo por debajo de la demanda de agua (CEPIS).

2.4.5.7 PÉRDIDA DE CARGA EN LOS MEDIOS FILTRANTES

Al comenzar la operación de un filtro, los granos del lecho están limpios y la pérdida de carga se deberá solamente al tamaño, forma y porosidad del medio filtrante y a la viscosidad y velocidad del agua.

Si el fluido no tuviera partículas en suspensión, esta pérdida de carga inicial será constante a través de toda la carrera de filtración. Pero, como ordinariamente contiene sólidos en suspensión, estos irán recubriendo los granos del lecho, incrementarán su diámetro y disminuirán su porosidad inicial, con lo que la pérdida de carga irá incrementándose por la disminución del área de paso del flujo (**Romero, 1999**).

2.4.6 TIPOS DE SISTEMAS DE FILTRACIÓN

Muchos son los sistemas de filtración propuestos y construidos; sin embargo, se puede hacer una clasificación de acuerdo con la dirección de flujo, el tipo del lecho filtrante, la fuerza impulsora, la tasa de filtración y el método de control de la tasa de filtración (**Romero, 1999**).

Cuadro N° 5 Clasificación de sistemas de filtración

PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN				
Tipo del Lecho Filtrante	Dirección del Flujo	Fuerza Impulsora (carga sobre el lecho)	Control Operacional	Velocidad de Filtración (Tasa)
Simple (solo un tipo de medio filtrante)	Descendente	A gravedad	Tasa constante y nivel Variable	Lento (Tf :0.1-0.30 m /h)
Lechos doble o múltiples	Ascendente	A Presión	Tasa constante y nivel constante	Rápidos (Tf :4-20 m/h)
	Ascendente-descendente		Tasa declinante	

Elaboración propia

2.4.6.1 TIPO DEL LECHO FILTRANTE

a) Filtro de lecho simple

En los medios de arena convencionales, la permeabilidad aumenta con la profundidad del filtro. En estas condiciones, los granos más pequeños quedan arriba y los más grandes abajo. Esto significa que a medida que el flóculo penetra dentro del lecho, encuentra poros más y más grandes por donde puede pasar con más facilidad. Es obvio que debido a esta estratificación inconveniente, el mayor porcentaje de partículas queda retenido en la superficie y, por lo tanto, la capacidad de almacenamiento de flóculos es limitada.

b) Filtro de lecho múltiple

La solución lógica al problema de los filtros de lecho simple consiste en conseguir que la permeabilidad del lecho disminuya con la profundidad, de forma que los flóculos puedan penetrar y encontrar el medio más fino en las capas inferiores del filtro y el más grueso en las capas superiores. Como al emplear un solo tipo de material granular esto no es posible, pues el flujo de lavado lo estratifica en sentido contrario, se pensó en utilizar medios de diferentes densidades, de manera que los granos gruesos fueran de un material poco denso, para que el flujo ascendente de lavado los estratifique y queden encima de los granos finos, cuya densidad es mayor.

2.4.6.2 DIRECCIÓN DEL FLUJO

a) Filtro de flujo descendente

Hasta hace pocos años, los filtros descendentes por gravedad eran diseñados para funcionar únicamente con tasa constante, y generalmente iban provistos de dispositivos automáticos de control de caudal y nivel. En los últimos años se han desarrollado tecnologías que han simplificado sensiblemente la forma de operación de los filtros de gravedad, como la operación mediante tasa declinante.

Este tipo de unidades es el que normalmente se prefiere diseñar en los sistemas de abastecimiento públicos. Su mayor simplicidad garantiza una adecuada operación. No obstante que no tienen las ventajas de la filtración ascendente, son más confiables considerando la dificultad de encontrar en las plantas de tratamiento personal con una adecuada cultura de operación.

b) Filtro de flujo Ascendente

La filtración ascendente presenta la ventaja de que el agua afluyente escurre en el sentido en que los granos del medio filtrante disminuyen de tamaño, lo que hace posible que todo el medio filtrante, constituido por arena, sea efectivo en la remoción de partículas suspendidas.

Aunque en la filtración ascendente de agua decantada las carreras de filtración resultan más largas si se las compara con la filtración descendente en lecho de arena, la carga hidráulica necesaria aguas arriba de los filtros y el mayor espesor de la capa han limitado mucho el uso de la filtración ascendente.

La aplicación más ventajosa de este tipo de unidades es la filtración directa, en la que los productos químicos se aplican y dispersan en el agua cruda antes de la filtración. En seguida, el agua es conducida a los filtros por la parte inferior.

Este tipo de unidades están siendo muy utilizadas en algunos países de Europa, de América del Sur y de Centroamérica.

Las principales características comunes a estas unidades son las siguientes:

- Tasa de filtración: 120 a 200 m³/m²/día.
- Fondo de los filtros: tipo Leopold, tuberías perforadas y placas perforadas son los más comunes.
- Distribución de agua a los filtros: caja provista de vertederos, de la cual parten tuberías individuales o tuberías individuales provistas de medidores y reguladores de caudal.

2.4.6.3 FUERZA IMPULSORA

a) Filtración por gravedad

La filtración rápida, realizada por gravedad, usualmente se emplea en las plantas de tratamiento para fines de abastecimiento público. El factor económico es la variable que define su preferencia de uso. Estas unidades pueden ser de flujo ascendente (“filtro ruso”) y ser operadas con tasa de filtración constante o declinante.

b) Filtración a presión

La filtración rápida bajo presión poco difiere de la realizada por gravedad. La filtración rápida bajo presión se realiza en tanques de lámina de acero y puede ser de flujo ascendente, descendente con medios filtrantes constituidos por una o más capas y ascendente-descendente (Bi-Flow y superfiltro).

2.4.6.4 CONTROL OPERACIONAL

a) Tasa constante y nivel variable

Cuando la entrada a los filtros es hecha de modo que el caudal total afluente sea repartido equitativamente y el nivel de agua en cada filtro varíe independientemente del nivel de los demás, el caudal de filtración será constante, ya que el aumento de resistencia del filtro es acompañado por el aumento de carga hidráulica disponible. El nivel del agua en la caja del filtro variará desde un valor mínimo, cuando el medio filtrante se encuentra limpio, hasta un valor máximo, cuando el filtro deberá ser lavado. El nivel de agua será diferente entre los diversos filtros de una batería, y dependerá solamente del grado de colmatación del medio filtrante de cada uno de ellos. Al inicio de la operación, el medio filtrante estará limpio y, por lo tanto, para evitar que el nivel mínimo se localice debajo de la cima de la capa filtrante, la instalación deberá estar provista de una válvula u otro dispositivo cualquiera en la tubería efluente para ajustar el nivel mínimo. La conexión de las salidas individuales de los filtros en un canal provisto de un vertedero también podrá ser utilizada para este fin. Este método de operación se conoce como “distribución equitativa de caudal”.

2.4.6.5 VELOCIDAD DE FILTRACIÓN

a) Filtración lenta

Los filtros lentos operan con tasas que normalmente varían entre 0,10 y 0,30 m/h; esto es, con tasas como 100 veces menores que las tasas promedio empleadas en los filtros rápidos; de allí el nombre que tienen. También se les conoce como filtros ingleses, por su lugar de origen (Canepa, 2004).

b) Filtración rápida

Los filtros rápidos de arena por gravedad son habitualmente depósitos rectangulares abiertos (habitualmente de menos de 100 m²) que contienen arena de sílice (con granos de 0,5 a 1,0 mm) hasta una profundidad de 0,6 a 2,0 m. El agua fluye hacia abajo y los sólidos se concentran en las capas superiores del lecho. El caudal unitario es generalmente de 4 a 20 m³/(m²·h). El agua tratada se recoge mediante bocas situadas en el suelo del lecho. Los sólidos acumulados se retiran periódicamente descolmatando el filtro mediante inyección (a contracorriente) de agua tratada. En ocasiones, la arena se lava previamente con aire. Se produce un lodo diluido que debe desecharse (OMS, 2006).

2.4.7 TIPOS DE MEDIO FILTRANTE

2.4.7.1 ARENA

La arena es el medio filtrante más usado, posiblemente por ser el más económico. En filtros rápidos de arena la profundidad del lecho es de 60-70 cm, el TE de 0.45-0.55 mm y CU de 1.2-1.70 (15). El manual de diseño de plantas de tratamiento de AWWA (1) señala: la mayoría de los filtros rápidos de arena usan arena con TE de 0.35 -0.50 mm, aunque algunos tienen arena con TE de 0.7 mm. El CU es generalmente 1.30-1.7 y la profundidad de 60-70 cm. Una especificación típica de arena para filtros rápidos es la del cuadro N° 6.

Cuadro N° 6 Arena típica para filtros rápidos

N° Tamiz	Abertura mm	% Retención Sobre El Tamiz	
		Mínimo	Máximo
70	0.208	0	1
50	0.295	0	9
40	0.417	40	60
30	0.589	40	60
20	0.833	0	90
16	1.168	0	1

Fuente: CEPIS

La arena para filtros debe tener una solubilidad en ácido clorhídrico al 40%, en 24 horas, menor del 5%; una densidad relativa mayor a 2.5 y debe ser limpia y bien graduada, según la norma AWWA B100-53.

De acuerdo con Culp (22) el tamaño efectivo de la arena en filtros rápidos varían entre 0.35 y 0.7 mm; un valor típico es 0.5 mm. Dicho medio permite tratar aguas con turbiedades de 5-10 UTJ a tasas hasta de 120 m/d. el coeficiente de uniformidad varía entre 1.30 y 1.7.



Fotografía N° 2 Medio filtrante Arena cuarzosa

2.4.7.2 ANTRACITA

Según el estándar D 388-84 de la ASTM (17), se clasifica un carbón como antracítico cuando tiene carácter no aglomerante y cumple las especificaciones del cuadro N° 7.

Cuadro N° 7 Carbones de clase antracítica

Grupo	% Material Volátil
1. Metaantracita	≤ 14
2. Antracita	> 2 y ≤ 8
3. Semiantracita	> 8 y ≤ 14

Fuente: CEPIS

En ocasiones se usa carbón de antracita triturado en vez de arena como medio granular filtrante. Según la AWWA, estándar B100-72, la antracita para filtros de der limpia, dura, con dureza mayor a 2.7 en la escala de MOHS, de densidad relativa mayor DE 1.4, solubilidad en acido menor de 1% y coeficiente de uniformidad menor de 1.7.

En filtros de antracita se puede usar un lecho de 60 -70cm con tamaño efectivo 0.70 mm o mayor.



Figura N°6 Medio filtrante Antracita

2.4.7.3 CARBÓN ACTIVADO

Existen varios tipos de carbón el que se obtiene de las minas como la antracita, el de huesos de animales, de madera o cáscara de coco. El material es sometido a altas presiones y vapores, o expuesto a diferentes tipos de solventes, de manera que se crean cavidades en el carbón, brindándole esto una alta superficie de área con una muy buena capacidad adsorbente. Su principal aplicación es mejorar el sabor y olor del agua, mediante la remoción de compuestos orgánicos y oxidantes.

El carbón activado granular se utiliza para una variedad de usos del tratamiento de aguas. Esto incluye el retiro del cloro, de las sustancias orgánicas, de los sedimentos, olores y del color.

El área superficial granular grande, tiene una enorme capacidad de fijar impurezas por adsorción, dando por resultado el agua limpia y dulce. Ver figura N° 7.



Figura N°7 Medio filtrante Carbón activado

2.4.7.4 GRANATE

Utilizado normalmente como la capa más baja de la filtración en filtros de los multimedia. Los granos más grandes de medios en la tapa atraparán los sólidos más grandes. Un tamaño de grano uniformemente que disminuye en la dirección del flujo con los granos pequeños en el fondo hará pulir final.

La alta gravedad específica del Garnet alcanza un cargamento más alto y una retención mejor de la partícula.



Figura N°8 Medio filtrante Granate

2.4.7.5 ZEOLITA SINTÉTICA

Las Zeolitas sintéticas poseen una amplia gama de propiedades y grandes cavidades internas que permiten excelente eficiencia en sus aplicaciones como tamices moleculares. Su producción y aplicación industrial tuvo inicio en la década de 50 e actualmente se conocen más de 100 tipos de zeolitas sintéticas.

Las zeolitas sintéticas son producidas en escala industrial a través de varios métodos de síntesis que dependen de las características necesarias que su producto final deberá contar para atender aquel mercado en que se propone a su aplicación (CeltaBrasil S/A Zeolitas Sintéticas) Recuperado de <http://www.celtabrasil.com.br/destaques/zeolitas-sinteticas/>.

Las zeolitas sintéticas se utilizan para una gran variedad de aplicaciones, entre las que destacan las siguientes:

- Absorción de agua en productos para recubrimientos, selladores, adhesivos o

- Absorción de agua e impurezas en la elaboración de plásticos
- Secado de pigmentos y disolventes orgánicos



Figura N°9 Medio filtrante de Zeolita sintética

2.4.8 PLANTA DE AGUA POTABLE DE SAN MIGUEL

La Provincia de San Miguel es una de las 13 provincias que conforman el Departamento de Cajamarca, perteneciente a la Región Cajamarca, en el Perú.

Limita al norte con la provincia de Santa Cruz y la Provincia de Hualgayoc, al este con la Provincia de San Pablo, al sur con la Provincia de Contumazá, y al oeste con el Departamento de Lambayeque y el Departamento de La Libertad. La capital de la provincia es la ciudad de San Miguel, ubicada a sólo 116 km de la ciudad de Cajamarca. (Municipalidad Provincial de San Miguel, 2016 Ubicación Geográfica) Recuperado de <http://www.muni-sanmiguel.gob.pe/index.php/ciudad/ubicacion-geografica.html>.

En esta ciudad se cuenta con una planta de tratamiento de agua potable, la cual es administrada por la EPS SEDACAJ S.A.

2.4.8.1 FUENTE DE AGUA

San Miguel tiene como fuente de abastecimiento al río San Miguel a través de una derivación del mismo por medio de un canal de regadío (Canal Tayka) en una longitud aproximada de 20 km. En esta estructura se encuentra instalada la captación actual.



Fotografía N° 3 Fuente de agua cruda del canal Tayca

2.4.8.2 CAPTACIÓN

La captación está constituida por una estructura de concreto situada en el Canal Tayka situada en la cota 2,650 msnm., que tiene la forma de un desarenador. Está diseñada para un caudal de 18 lps., y tiene un área de sedimentación de 17 m².

La estructura consta de dos salidas: la primera se refiere al vertedero de demasías que cuenta con una compuerta de fondo que esta inoperativa, destinada para drenar el agua de lavado cuando se hace limpieza. La segunda se refiere a la compuerta de salida y descarga el agua desarenada a la línea que se dirige hacia la planta de tratamiento.

Actualmente se capta de dicho canal un caudal promedio de 13.50 lps, con fines de uso doméstico y en el futuro, el caudal a captar será de 18 lps. (EPS SEDACAJ.SA. 2012)



Fotografía N° 4 Captación del canal Tayca

2.4.8.3 LÍNEA DE CONDUCCIÓN.

La línea que proviene de la captación tiene una longitud de 68 metros, A.C. 150 mm. (6") de diámetro descargando por gravedad a la cámara de reunión del presedimentador. Esta línea tiene una antigüedad de 37 años, presentando un buen estado de conservación. . (EPS SEDACAJ.SA. 2012)

2.4.8.4 PLANTA DE TRATAMIENTO

El actual sistema de tratamiento de agua para consumo humano entró en operación en setiembre del año de 1996.

Está situada en la parte alta hacia el Nor-Oeste de la ciudad, en la cota promedio 2,600 msnm.

Se encuentra constituida por un presedimentador, tanques de solución de sulfato y cal, unidad de preparación de reactivos y mezcla rápida, un floculador tipo pantalla de flujo horizontal, dos sedimentadores, seis filtros rápidos a presión y una caseta de cloración. La capacidad nominal de la instalación es de 18 lps. Se ha efectuado aforos puntuales en el canal de ingreso a la planta de tratamiento obteniéndose un caudal promedio de operación actual de 10.00 lps.



Fotografía N° 5 Planta de tratamiento de agua potable- San Miguel

2.4.8.5 UNIDAD DE FILTRACIÓN

La localidad de San Miguel tiene filtros a presión de patente Degrémont que son en este caso 6 unidades.



Fotografía N° 6 Bateria de Filtros a presión

2.4.8.6 ALMACENAMIENTO

El almacenamiento de agua se realiza en un reservorio apoyado de sección circular ubicado en el área de la planta de tratamiento, con un volumen de 250 m³. La cota de fondo del reservorio es de 2604 m.s.n.m. La estructura fue construida en el año 2011. (EPS SEDACAJ.SA, 2012)



Fotografía N° 7 Reservorio circular de agua potable

CAPITULO III.

METODOLOGÍA

3.1 MATERIALES Y MÉTODOS DE LA TESIS

Según el propósito de la investigación y la naturaleza del problema a investigar esta es una investigación aplicada, por la aplicación de los conocimientos y la solución de un problema inmediato.

Según su técnica de contrastación es una investigación experimental por la manipulación de la variable independiente (medio filtrante) en condiciones de riguroso control.

Según su naturaleza y profundidad se trata de una investigación explorativa por que el objetivo consiste en examinar un tema poco estudiado.

La metodología aplicada para la elaboración de la investigación fue diseñar, construir y usar un modelo a escala piloto del filtro a presión existente; utilizando como medio filtrante la zeolita de origen natural con una granulometría similar al medio filtrante que este caso la arena cuarzosa y comparar las eficiencias del proceso de filtración. El filtro experimental fue diseñado con los parámetros con el cual trabaja el filtro existente (calidad de agua del ingreso, carga de energía disponible y condiciones ambientales).

Durante el proceso se realizó la evaluación los parámetros de calidad del agua producida, tasa de filtración, carrera de filtración y velocidad de lavado de los medios filtrantes, indicadores presentes en el proceso de filtración del agua.

3.1.1 MATERIALES, INSUMOS Y EQUIPOS

a) Materiales:

- Tubería PVC UF DN 160mm
- Pegamento PVC
- Codos de PVC de ½"
- Codos de PVC de ¾"
- Teé de PVC de ½"
- Teé de PVC de ¾"
- Tubería de PVC de ¾"
- Tubería de PVC de ½"
- Tapones de PVC de 160mm
- Uniones de PVC presión rosca de ½"
- Uniones de PVC rosca de ½"
- Uniones de PVC de Simple presión de ½"
- Uniones de PVC de 1"
- Tapones de PVC de ½"
- Tapones de PVC de 1"
- Niples de PVC de ½" x 2"
- Alambre N° 16
- Madera de 2" x 2" x 2.00m

- Manguera de $\frac{3}{4}$ "
- Válvulas de PVC de $\frac{1}{2}$ "
- Válvulas de PVC de $\frac{3}{4}$ "
- Cemento
- Arena gruesa
- Agua
- Clavos de 4"
- Cinta teflón

b) Insumos:

- Zeolita Natural

c) Equipos:

- Balanza de 50 kilos
- Mallas N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 , N° 100 , N° 200
- Turbidímetro
- Colorímetro
- Medidor de PH
- Probetas
- Vasos
- Frasco
- Hoja se sierra
- Brocas $\frac{1}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", 1"
- Nivel de mano
- Plumones
- Balde de 4 litros
- Balde de 18 litros
- Costales
- Comba de 12 libras
- Martillo

3.1.2 METODOLOGÍA

La metodología empleada para realizar el estudio experimental se describe en los siguientes sub capítulos:

a) Preparación Del Medio Filtrante De Zeolita Natural

La zeolita natural se obtuvo gracias a la compra que se hizo a la empresa FERTIMEXYL SAC. Luego se realizaron las siguientes acciones:

- En primer lugar se realizó el tratamiento granulométrico de la siguiente manera: la zeolita natural se tamizó preliminarmente y se obtuvo que su diámetro promedio estaba con 4mm, por lo que se procedió a realizar el triturado manualmente utilizando para este fin una comba manual de 10 libras (Ver fotografía N° 08).



Fotografía N° 8 Trituración de la zeolita natural

- Luego se procedió al tamizado de la Zeolita natural con las mallas N°8, N°16, N°32, N°50 y N°100 hasta alcanzar un peso proporcional a lo calculado para obtener la granulometría similar al del medio filtrante utilizado actualmente en la PTAP San Miguel (Ver fotografía N° 09)



Fotografía N° 9 Tamizado de la zeolita natural

- Durante la investigación se usó la cantidad de 10.50kilogramos de zeolita con granulometría establecida para cada uno de las unidades de filtración piloto construidos, en total se utilizó de 31.50 kilogramos
- b) Captación e ingreso del agua cruda.
- El agua cruda que se usará en el proceso de filtración provendrá de la unidad de decantación. La razón es utilizar la misma calidad de agua en los dos filtros y de esta manera poder comparar la eficiencia del proceso de filtración del filtro Degrémont que usa un medio filtrante a base de arena de tipo cuarzosa con el filtro Piloto que utiliza como medio filtrante a la Zeolita de origen Natural.
- c) Sistema de ingreso y salida de agua al filtro piloto.
- El sistema de ingreso de agua decantada a los filtros pilotos se realizó utilizando una manguera de 3/4” de diámetro, conduciendo aguas abajo del agua decantada, donde se ubicó la planta piloto. Esta planta está en la parte baja, a unos 3 metros de los filtros rápidos patentados Degrémont (Ver fotografía N° 10).



Fotografía N° 10 Toma de agua decantada mediante manguera

La salida del agua filtrada de los filtros que utiliza como medio filtrante zeolita de origen Natural se dispuso en la unidad de cámara de contacto de cloro con la finalidad de no desperdiciar el agua tratada.

d) Descripción del diseño y construcción del filtro piloto.

El diseño del filtro piloto a presión tipo Degrémont, con medio filtrante a base de Zeolita Natural tendrá un flujo vertical de manera descendente.

El ingreso al filtro será por la parte superior y atravesará el medio filtrante con la granulometría siguiente: la primera capa del medio filtrante según el flujo de agua a filtrar será las zeolitas trituradas retenidas en las mallas N° 200, 100 y 50 en peso de 0.511 kilogramos según la granulometría diseñada, y con una altura de 0.03 metros. La segunda capa de material filtrante será también de zeolita con una granulometría comprendida al material retenido en las mallas N° 8, 16 y 30 con un peso de 16.34 kilogramos y con una altura de 0.87 metros. Finalmente la tercera capa estará conformada por grava de diámetro mayor a 2.5mm y hasta 4.5mm de

diámetro en una altura de 0.30m en donde se colocará la tubería perforada para la recolección del agua filtrada.

El área ocupada por los filtros compactos a presión tipo Degrémont es de 0.25 m² por cada unidad de filtro, que en este caso son 3 unidades (Ver fotografía N° 11).



Fotografía N° 11 Proceso de construcción de los filtros piloto

La estructura del modelo experimental fue construida con material de Tubería de PVC de 160mm clase 7.5 con un espesor de 4.5mm, con una altura de 1.50 metros y a los extremos se taparon con tapones de PVC y utilizando pegamento para PVC para evitar fugas durante el proceso de filtración. Los ingresos y salidas del filtro construido fueron hechas con tubería de PVC con diámetros de $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ " clase 10 además de contar las válvulas de control para el ingreso, salida y lavado de filtros (Ver fotografías N° 12).



Fotografía N° 12 Materiales utilizados para la construcción del filtro piloto

La recepción del agua filtrada se hizo por tubería perforada de $\frac{1}{2}$ " con orificios a los costados con una abertura de 2.5mm y un espaciamiento entre ellos de 3 cm. También al filtro piloto se le instaló una salida para desfogue en la parte inferior de la estructura de PVC con la utilización de tapón de $\frac{1}{2}$ " PVC con rosca.

Cuadro N° 8 Codificación de muestras y puntos de muestreo

CÓDIGO DE MUESTRA	PUNTO DE MUESTREO
AAD	Salida del agua Decantada de la PTAP (Agua Cruda)
AFC	Salida de los filtros compactos Degrémont –medio filtrante convencional
AFZ	Salida de los filtros experimental – con medio filtrante zeolita

FUENTE: Elaboración Propia

e) Operación del filtro Piloto

La operación del filtro experimental se realizó de la siguiente manera:

- Ingreso del agua decantada a través de una manguera de diámetro $\frac{3}{4}$ " ubicada en la cota 2673 m.s.n.m, en el día 1.

- Antes del ingreso a los filtros piloto se ubicó una válvula de control de ½” con la finalidad de utilizar solo el caudal de diseño establecido.
- Se instaló las 3 unidades piloto de filtros compactos con medio filtrante a base de zeolita de origen natural (Ver fotografía N° 14).
- El ingreso del agua decantada a ser filtrada es por la parte superior de los filtros.
- Las válvulas de control para el ingreso del agua a cada uno de los filtro piloto están abiertas en su totalidad.
- Las válvulas de control para la limpieza de cada uno de los filtros tipo piloto estarán cerradas al momento de la operación.



Fotografía N° 13 Operación del filtro piloto

Las características fisicoquímicas promedio del agua cruda al ingreso a los filtros se muestran en el cuadro N° 09.

Cuadro N° 9 Características del agua decantada (Cruda) empleada en la investigación

PARÁMETRO	PROMEDIO
FISICOQUÍMICO	
PH	7.11
Color (UCV/escala Pt/Co)	15
Turbiedad (NTU)	12.74
Alcalinidad (mg/l)	17
Temperatura (°C)	15.72
MICROBIOLÓGICO	
Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP/100ml)	0.00
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	0.00

Lab control calidad SEDACAJ. S.A.

f) Monitoreo

Para el proceso de monitoreo se eligieron tres puntos para la toma de muestra. El primer punto está ubicado a la salida de la unidad de decantación de la planta de tratamiento de agua potable del distrito de san Miguel; el segundo punto está ubicado a la salida del filtro experimental construido y que utiliza como medio filtrante a la zeolita natural y finalmente el tercer punto está ubicada a la salida del agua filtrada del filtro Degrémont existente, en este caso en la descarga del tanque de filtración Degrémont.

La codificación de las muestras tomadas en cada uno de los puntos de muestreo se detalla en el cuadro N° 10.

Cuadro N° 10 Puntos de muestreo

CÓDIGO DE MUESTRA	PUNTO DE MUESTREO
ACD	Salida del agua Decantada de la PTAP (Agua Cruda)
AFC	Salida de los filtros compactos Degrémont –medio filtrante convencional
AFZ	Salida de los filtros experimentales – con medio filtrante zeolita natural

FUENTE: Elaboración propia

Finalmente se realizó el muestreo del agua filtrada a través del medio filtrante a base de Zeolita Natural en un periodo de 70 días, tomando 6 muestras entre los meses de abril mayo y junio (Ver fotografía N° 14).



Fotografía N° 14 Toma de muestra de agua a la salida del filtro piloto.

Durante el proceso de investigación se realizaron 6 muestreos en un periodo de 70 días y del 24 de abril al 24 junio se optó por tomar la muestra aleatoriamente sea en las horas de la mañana, mediodía y en la tarde.

Se realizó un muestreo simple y representativo, para lo cual se tomaron los días establecidos en horarios escogidos aleatoriamente.

Las muestras obtenidas de cada una de las campañas para verificación de la calidad del agua en los parámetros físicos y microbiológicos fueron tomadas y transportadas bajo condiciones estándares de protección y resguardo de muestra al laboratorio de la EPS SEDACAJ. S.A, para su respectivo análisis (ver fotografía N° 15).



Fotografía N° 15 Medición de la turbiedad

3.2 PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para la recolección de la información de la variable (medio filtrante) independiente se siguió el siguiente proceso:

- Se calculó las características del medio filtrante existente (arena cuarzosa) su granulometría, porosidad y densidad que presenta, para ello se realizó estudio granulométrico en el laboratorio de Mecánica de suelos de la UNASAM.
- Luego de ser triturado y posteriormente pesado, se procedió a determinar las características del medio filtrante propuesto (zeolita natural), estableciendo su granulometría, porosidad y densidad, dicha determinación fue efectuado en el laboratorio de mecánica de suelos de la UNASAM.

Para la recolección de la información de la variable dependiente (eficiencia del proceso de filtración) se siguió el siguiente proceso:

- Para el indicador de calidad fisicoquímica y microbiológica del, agua, en primer lugar se tomaron muestras del agua a filtrar (agua decantada) y después se prosiguió a determinar su calidad fisicoquímica y microbiológica en el laboratorio de calidad de agua de la EPS Sedacaj S.A., de la misma manera se tomaron muestras de los efluentes de los filtros existente y piloto para su respectivo análisis en 6 oportunidades durante 70 días calendario.
- Para el indicador de carrera de filtración En primer lugar se realizaron los lavados de los filtros existente y piloto constituidos con material filtrante a base de arena cuarzosa y zeolita natural respectivamente. Se Anotó el inicio del proceso de filtración una vez culminado el lavado de los filtros luego se realizó la medición de la turbiedad en simultáneo al ingreso y la salida de los filtros cada 12 horas en un periodo de 7 (siete) días, en el mismo periodo de tiempo también se midieron los caudales a la salida de los filtro existente y piloto cada 24 horas durante los 7 (siete) días.
- Para el indicador de tasa de filtración del filtro existente, se procedió a la determinación del caudal de ingreso a la planta de tratamiento, observando el valor que se registra el macromedidor , luego se calculó el área útil de la estructura del tanque metálico del filtro a presión de patente Degrémont midiendo la circunferencia externa de la estructura y restándole dos veces el espesor con que cuenta, así como realizando las operaciones matemáticas. Finalmente se realizó la división entre el caudal que atraviesa el medio filtrante y el área superficial del medio filtrante. Las unidades con que se puede representar la tasa de filtración son $m^3/m^2/dia$ o m/d o m/h .
- Para el indicador de tasa de filtración del filtro piloto se procedió a aforar el caudal que planteamos que sea ingresado al filtro piloto, con la ayuda de un balde y un cronómetro luego se determinó el área del filtro piloto con la ayuda de una wincha, midiendo el diámetro de la estructura de PVC y realizando las operaciones

matemáticas. Realizar la división entre el caudal que atraviesa el medio filtrante y el área superficial del medio filtrante. Las unidades con que se puede representar la tasa de filtración son $m^3/m^2/dia$ o m/d o m/h

- Realizada la medición de la turbiedad y caudal se procedió a graficar. Realizando el lavado siempre y cuando el caudal a la salida de los filtros construidos con medio filtrante a base de zeolita natural sea mucho menor o no salga agua del filtro.
- Toda la operación de los filtros a Presión se realizó durante 70 días calendario de manera continua, y en cada día se realizaron los aforos del caudal de salida de los filtros y se tomaron muestras físicas de la calidad del agua al ingreso y salida de filtro piloto, así como también a la salida del filtro existente con medio filtrante convencional.
- La calidad del agua a filtrar tanto en el filtro con medio filtrante convencional y el filtro experimental con medio filtrante a base de Zeolita natural fue la misma y se obtuvo de la salida de las unidades de decantación de la planta de tratamiento de agua potable de san Miguel.

3.3 DISEÑO ESTADÍSTICO POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 POBLACIÓN

Es estudio se realizó en beneficio de una población de 5,076 habitantes que son los usuarios de servicio de agua potable del distrito de San Miguel,, que consumen en totalidad un caudal de 10 l/s.

3.3.2 MUESTRA

Se tomó una muestra que equivale en caudal a la cincuentaava parte del total, esto filtro piloto beneficiaria a una población muestral de 102 habitantes.

3.4 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

3.4.1 PARA LA VARIABLE INDEPENDIENTE

El mecanismo de recolección de la información será usar los resultados de las pruebas de laboratorio.

Las muestras obtenidas de cada uno de los medios filtrantes utilizados durante la realización del estudio de investigación fueron analizadas por el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNASAM (Ver fotografía N° 16).



Fotografía N° 16 Determinación de la granulometría del medio filtrante

3.4.2 PARA LA VARIABLE DEPENDIENTE

Los instrumentos para recolección de la información de la variable dependiente, eficiencia del proceso de filtración, es utilizar los resultados de los análisis fisicoquímico y microbiológico de las muestras obtenidas de cada uno de los puntos de tomados y que fueron procesadas de acuerdo a los estándares establecidos para el análisis de aguas crudas por el Laboratorio de control de calidad de la EPS SEDACAJ. S.A.

Los métodos utilizados para cada de los parámetros utilizados se muestran el cuadro N° 11.

Cuadro N° 11 Métodos para control de parámetros

PARÁMETRO	UND. DE MEDIDA	MÉTODO	LIMITE DE DETECCIÓN
FISICOQUÍMICO			
PH	und	Part. 4500 - H B.	....
Color	(UCV/escala Pt/Co)	Part. 2120 B.	0.5
Turbiedad	(NTU)	Part. 2130 B.	0.01
Alcalinidad	(mg CaCO ₃ /l)	Part. 2320 B.	0.1
Temperatura	(°C)	Part. 2550 B	0.1
MICROBIOLÓGICO			
Coliformes Fecales o Termotolerates	(NMP/100ml)	Part. 9222 D.	< 1
Coliformes Totales	(NMP/100 ml)	Part. 9222 B.	< 1

FUENTE: Lab control calidad SEDACAJ. S.A.

El instrumento para recolectar la información de la remoción de la turbiedad del agua que atraviesa el filtro rápido con medio filtrante a base de Arena de tipo cuarzosa (filtro convencional), es utilizar el Turbidímetro digital, procediendo con el siguiente método: se analizó la turbiedad al ingreso de los filtros, o sea en el canal del decantador en UNT, con la ayuda del turbidímetro digital luego se analizó la turbiedad del agua filtrada en los filtros rápidos Degrémont a la salida de estos que se encuentra antes del ingreso a la cámara de contacto de cloro, con la ayuda de turbidímetro digital. Y finalmente se calculó la diferencia de turbiedad que hay entre el ingreso y salida de los filtros.

El instrumento para la recolección de la información para la carrera de filtración fue fueron tomados por el Turbidímetro digital, durante una semana de trabajo cada 12 horas.

El mecanismo con el cual se obtuvo la información para desarrollar el análisis de la tasa de filtración con el cual operan los filtros existentes, se basó en los cálculos realizados ver anexo 1

CAPITULO IV.

RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante el proceso de la investigación, los cuales contrastan y demuestran la hipótesis planteada, para lo cual se tomaron los siguientes parámetros como indicadores de la eficiencia del proceso de filtración: tasa de filtración, carrera de filtración y remoción de la turbiedad y color.

Para la investigación se estableció 3 puntos de muestreo, y por cada punto se realizaron 6 campañas de muestreo. Los puntos de muestreo están definidos como:

ACD: Salida del agua Decantada de la PTAP (Agua Cruda)

AFC: Salida de los filtros compactos Degrémont –medio filtrante convencional

AFZ: Salida de los filtros experimentales – con medio filtrante zeolita natural

4.1 CAUDALES PROMEDIOS DE INGRESO A LOS FILTROS

Se realizó el aforo de los caudales de ingreso al filtro experimental, así como también se tomó el valor que registra el macromedidor de la planta de tratamiento antes del ingreso a los floculadores como el caudal de operación de los filtros patentados Degrémont. Estos caudales de operación de los filtros patentados Degrémont existente y los filtros experimentales tipo piloto, se describen en la tabla N° 03.

Tabla N° 03 : Caudales promedios de operación de los filtros rápidos

CAUDALES DE OPERACIÓN DE LOS FILTROS RÁPIDOS		
DÍA	CAUDAL DE OPERACIÓN FILTRO EXISTENTE (L/S)	CAUDAL PARA EL FILTRO PILOTO (AFORO) L/S
1	10.10	0.21
2	10.20	0.22
3	10.10	0.21
4	10.00	0.20
5	9.95	0.19
6	9.90	0.19
PROMEDIO	10.04	0.20

FUENTE: Elaboración propia

Interpretación:

El caudal promedio de operación de la materia de filtros a presión tipo Degrémont es de un valor de 10.04 l/s y el filtro existente llegó a operar con un caudal promedio de 0.20 l/s, siendo este último la cincuentaava parte del caudal operación la PTAP de san Miguel.

4.2 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS

➤ PUNTO DE MUESTREO ACD

Tabla N° 04 Resultados de la evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua decantada que ingresa a los filtros existentes y piloto

PARÁMETRO	N° de análisis						Promedio
	1	2	3	4	5	6	
	15/04/2016	18/04/2016	24/05/2016	29/05/2016	08/06/2016	23/06/2016	
ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS							
PH	7.00	7.00	6.90	7.88	6.90	7.00	7.11
Color (UCV/escala Pt/Co)	14	16	17	14	16	15.0	15
Turbiedad (NTU)	12.00	13.01	14.00	11.88	13.04	12.53	12.74
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /l)	18	20	14	18	14	20	17
Temperatura (°C)	15.50	16.60	15.20	15.10	16.10	15.80	15.72
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO							
Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP/100 ml)	0	0	0	0	0	0	0
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

El agua decantada presenta valores de turbiedad y color no muy altos además no hay presencia de contaminación microbiológica.

➤ PUNTO DE MUESTREO AFC

Tabla N° 05 Resultados de la evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua filtrada en los filtros existentes

PARÁMETRO	N° de análisis						Promedio
	1	2	3	4	5	6	
	15/04/2016	18/04/2016	24/05/2016	29/05/2016	08/06/2016	23/06/2016	
ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS							
PH	8.20	7.00	7.00	7.00	7.10	7.00	7.22
Color (UCV/escala Pt/Co)	2	3	2	1	2	2	2.00
Turbiedad (UNT)	2.80	3.31	2.89	2.13	2.81	3.15	2.85
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /l)	24	20	20	21	20	23	21.33
Temperatura (°C)	16.00	16.80	16.40	15.20	16.30	15.60	16.05
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO							
Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP/100 ml)	0	0	0	0	0	0	0
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación

El agua filtrada a través del filtro de arena cuarzosa, presenta, valores turbidez y color, que se encuentran en los límites de agua para consumo que establece DIGESA.

➤ PUNTO DE MUESTREO AFZ

Tabla N° 06 Resultados de la evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua filtrada en los filtros piloto

PARÁMETRO	N° de análisis						Promedio
	1	2	3	4	5	6	
	15/04/2016	18/04/2016	24/05/2016	29/05/2016	08/06/2016	23/06/2016	
ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS							
PH	8.10	7.00	7.00	7.00	7.10	7.00	7.20
Color (UCV/escala Pt/Co)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.00
Turbiedad (UNT)	2.16	2.24	1.96	1.26	1.62	1.44	1.78
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /l)	23	21	20	21	22	24	21.83
Temperatura (°C)	16.20	16.90	16.30	15.20	16.40	15.90	16.15
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO							
Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP/100 ml)	0	0	0	0	0	0	0
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	0	0	0	0	0	0	0

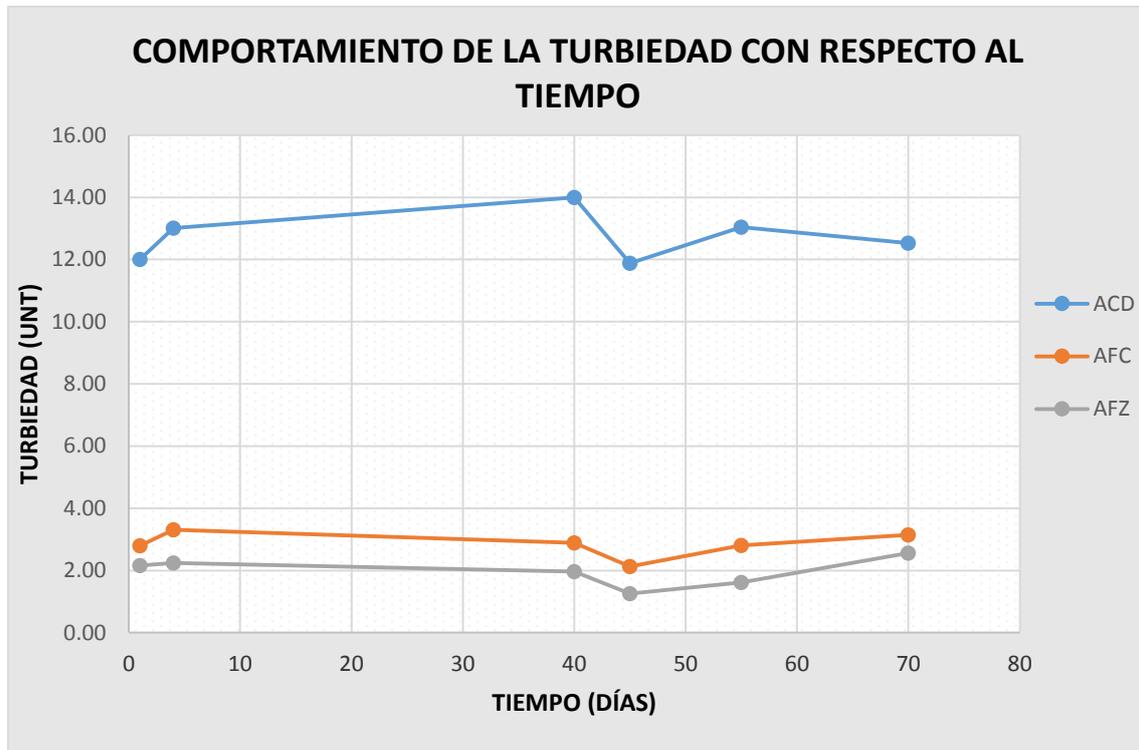
Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

El agua filtrada a través de filtro de zeolita natural, presenta valores de turbidez y color menor que el efluente del filtro de arena cuarzosa

4.3 HISTOGRAMAS DE COMPORTAMIENTO DE PARÁMETROS ANALIZADOS

4.3.1 COMPORTAMIENTO DE LA TURBIDEZ CON RESPECTO AL TIEMPO



Grafica N° 1 Comportamiento de la turbidez con respecto al tiempo

Interpretación:

En la gráfica se muestra que el comportamiento de la turbiedad a lo largo de los días de muestreo se observa que la remoción es más eficiente cuando se utiliza el medio filtrante a base de zeolita natural alcanzado menor nivel que el efluente del filtro convencional que utiliza la arena cuarzosa como lecho filtrante.

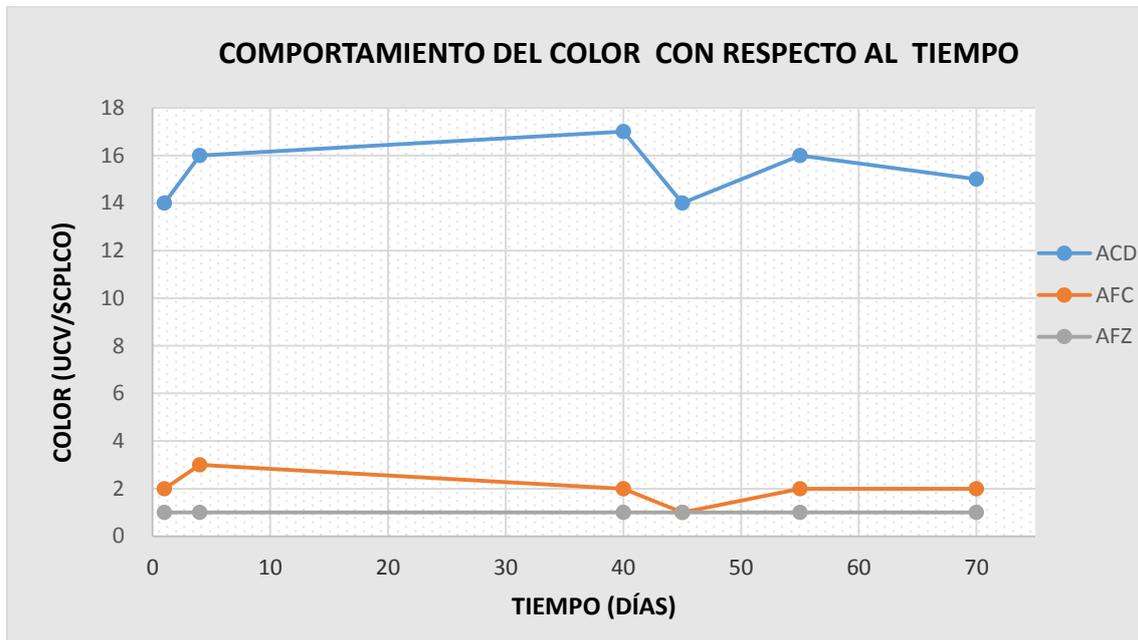
Este comportamiento de la remoción de turbiedad sucede porque el filtro de zeolita retiene mayor capacidad de solidos suspendidos representados en forma de turbiedad.

ACD: Salida del agua decantada de la PTAP (agua cruda)

AFC: Salida de los filtros compactos Degrémont –medio filtrante convencional

AFZ: Salida de los filtros experimentales con medio filtrante zeolita

4.3.2 COMPORTAMIENTO DEL COLOR CON RESPECTO AL TIEMPO



Grafica N° 2 Comportamiento del color con respecto al tiempo

Interpretación:

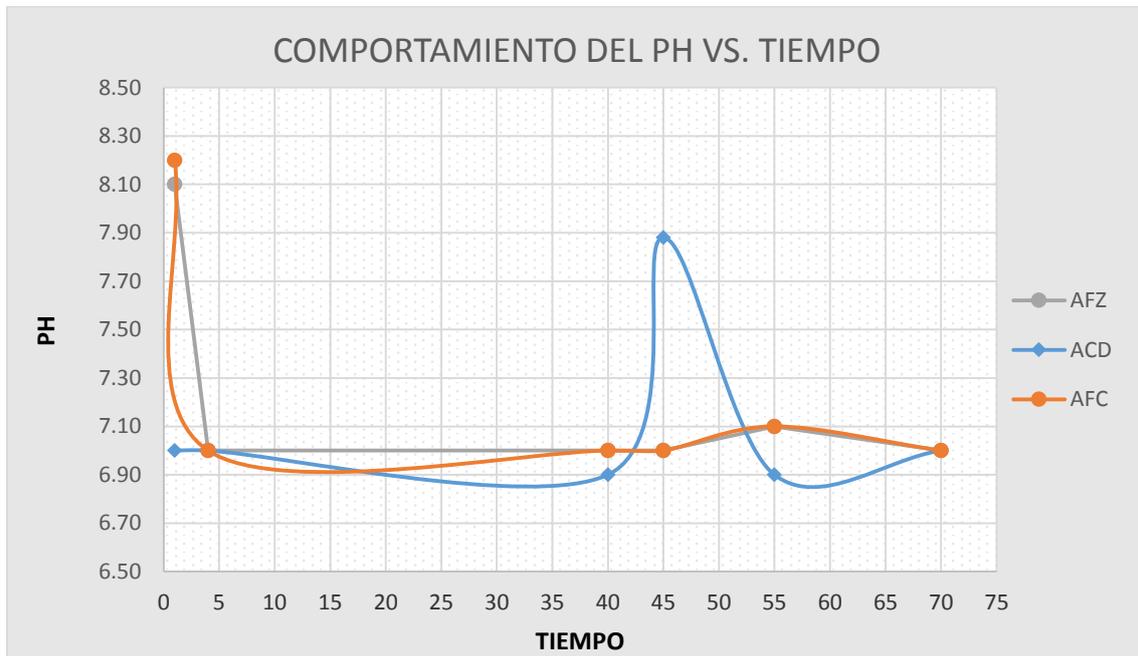
En la gráfica se muestra la remoción del color a través de dos tipos medios filtrantes, el medio filtrante que utilizó la zeolita natural remueve mayor cantidad de color que el filtro de arena cuarzosa. Este efecto sucede porque la zeolita natural absorbe iónicamente mejor las partículas disueltas del agua decantada.

ACD: Salida del agua decantada de la PTAP (agua cruda)

AFC: Salida de los filtros compactos Degremont –medio filtrante convencional

AFZ: Salida de los filtros experimentales con medio filtrante zeolita

4.3.3 COMPORTAMIENTO DEL PH CON RESPECTO AL TIEMPO



Grafica N° 3 Comportamiento del PH con respecto al tiempo

Interpretación

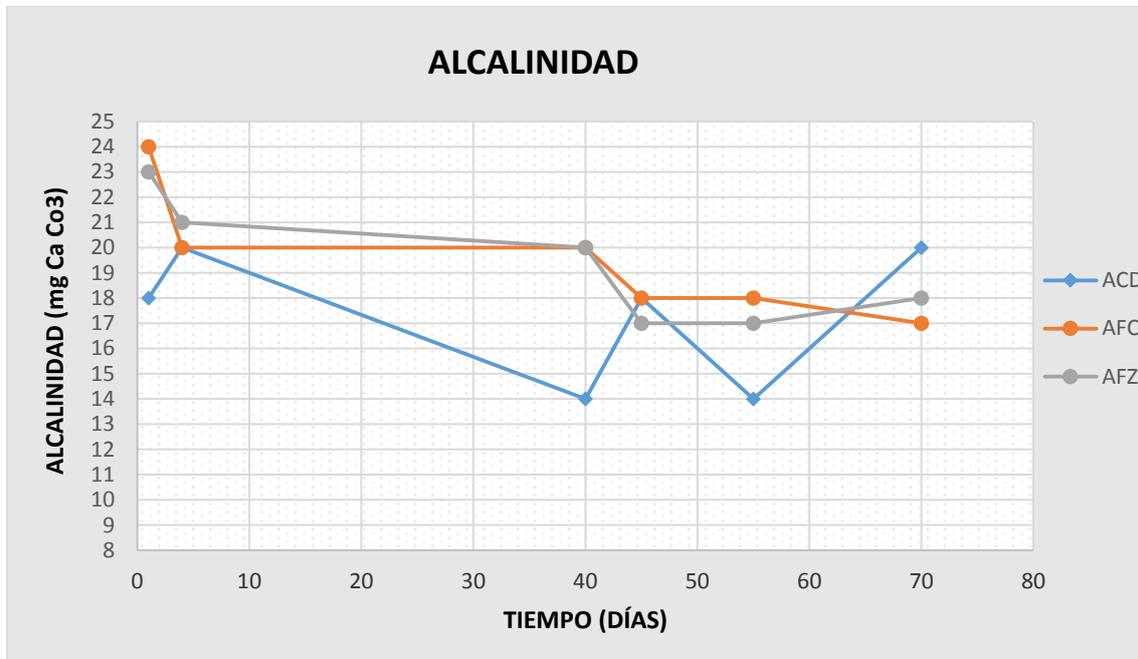
En la gráfica se muestra que el PH, de los efluentes de los filtros con el del afluente de estos y se observó que no sufren mayor variación, además se pudo observar que los efluentes de los filtros estudiados presentaron una tendencia mínima a estar con un PH básico esto porque los medios filtrantes utilizados tienen características alcalinas.

ACD: Salida del agua decantada de la PTAP (agua cruda)

AFC: Salida de los filtros compactos Degrémont –medio filtrante convencional

AFZ: Salida de los filtros experimentales con medio filtrante zeolita

4.3.4 COMPORTAMIENTO DE LA ALCALINIDAD CON RESPECTO AL TIEMPO



Grafica N° 4 Comportamiento de la alcalinidad con respecto al tiempo

Interpretación

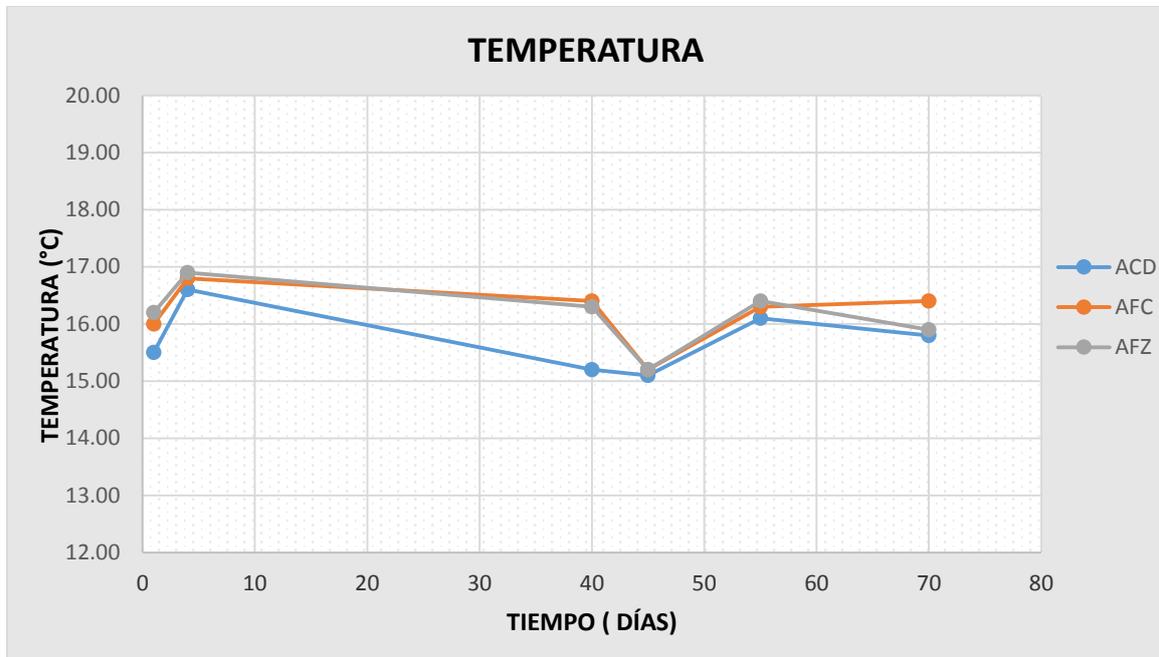
En la gráfica se muestra que la alcalinidad, de los efluentes con del afluente no sufren mayor variación pero se pudo apreciar que tiende a incrementarse la alcalinidad del efluente del filtro de zeolita este efecto sucede porque la zeolita natural tiene estructura alcalina.

ACD: Salida del agua decantada de la PTAP (agua cruda)

AFC: Salida de los filtros compactos Degrémont –medio filtrante convencional

AFZ: Salida de los filtros experimentales con medio filtrante zeolita

4.3.5 COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA CON RESPECTO AL TIEMPO



Grafica N° 5 Comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo

Interpretación

En esta gráfica se muestra que temperatura del agua a filtrar y los efluentes pos filtración y no presentan mayor variación, presentando una temperatura que oscila entre los valores 15 °C y 17 °C.

La temperatura del agua no varía significativamente del ingreso a la salida de los filtros porque no hay ninguna reacción química que altera la temperatura inicial.

ACD: Salida del agua decantada de la PTAP (agua cruda)

AFC: Salida de los filtros compactos Degrémont –medio filtrante convencional

AFZ: Salida de los filtros experimentales con medio filtrante zeolita

4.4 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS EN LOS EFLUENTES DE LOS FILTROS CONVENCIONAL Y DE ZEOLITA NATURAL CON RESPECTO AL AGUA CRUDA

Tabla N° 07 Eficiencia de remoción de los parámetros físicos en los efluentes de los filtros convencional y de zeolita natural con respecto al agua cruda

PARÁMETRO	Agua Decantada	Filtro Convencional		Filtro de Zeolita natural	
	² ACD	³ AFC	% Eficiencia	⁴ AFZ	% Eficiencia
FISICOQUÍMICO					
Color (UCV/escala Pt/Co)	15.00	2.00	86.67%	1.00	93.33%
Turbiedad (UNT)	12.74	2.85	77.64%	1.78	86.03%

Elaboración Propia

Interpretación

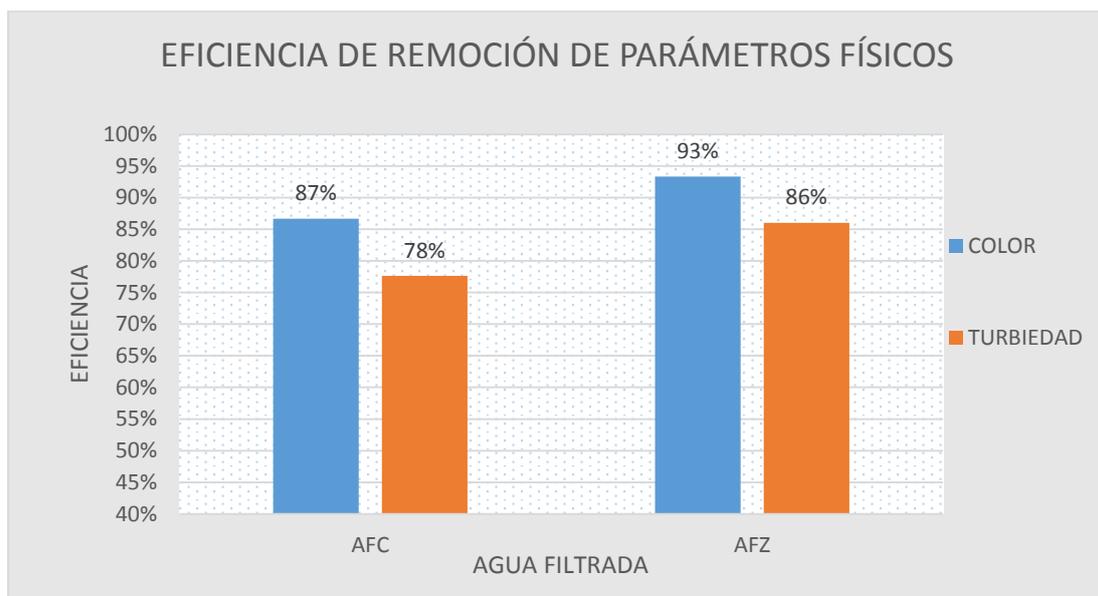
En este cuadro se observa, que el filtro de zeolita natural remueve mayor cantidad de turbidez y color a comparación del filtro de convencional de arena cuarsoza, con respecto al agua que ingresa a estos filtros mencionados.

² Salida del agua decantada de la PTAP (agua cruda)

³ Salida de los filtros compactos Degrémont –medio filtrante convencional

⁴ Salida de los filtros experimentales con medio filtrante zeolita

4.5 DIAGRAMA DE BARRAS DE LA EFICIENCIA DE LA REMOCIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS UTILIZANDO EL MEDIO FILTRANTE CONVENCIONAL Y LA ZEOLITA NATURAL



Grafica N° 6 Eficiencia de la remoción de la turbiedad y color

Interpretación

En la gráfica se muestra la eficiencia de remoción de los parámetros físicos de turbidez y color, es mayor para aquel filtro que utiliza a la zeolita como lecho filtrante, que aquel filtro que utiliza a la arena cuarzosa, alcanzando valores de remoción de 93% y 88% para el color y turbiedad respectivamente.

AFC: Salida de los filtros compactos Degremont –medio filtrante convencional
 AFZ: Salida de los filtros experimentales con medio filtrante zeolita

4.6 COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LOS EFLUENTES ANALIZADOS CON RESPECTO A LA NORMATIVIDAD NACIONAL E INTERNACIONAL

Cuadro N° 12 Comparación de los efluentes de los filtros existente y piloto con la normatividad nacional e internacional

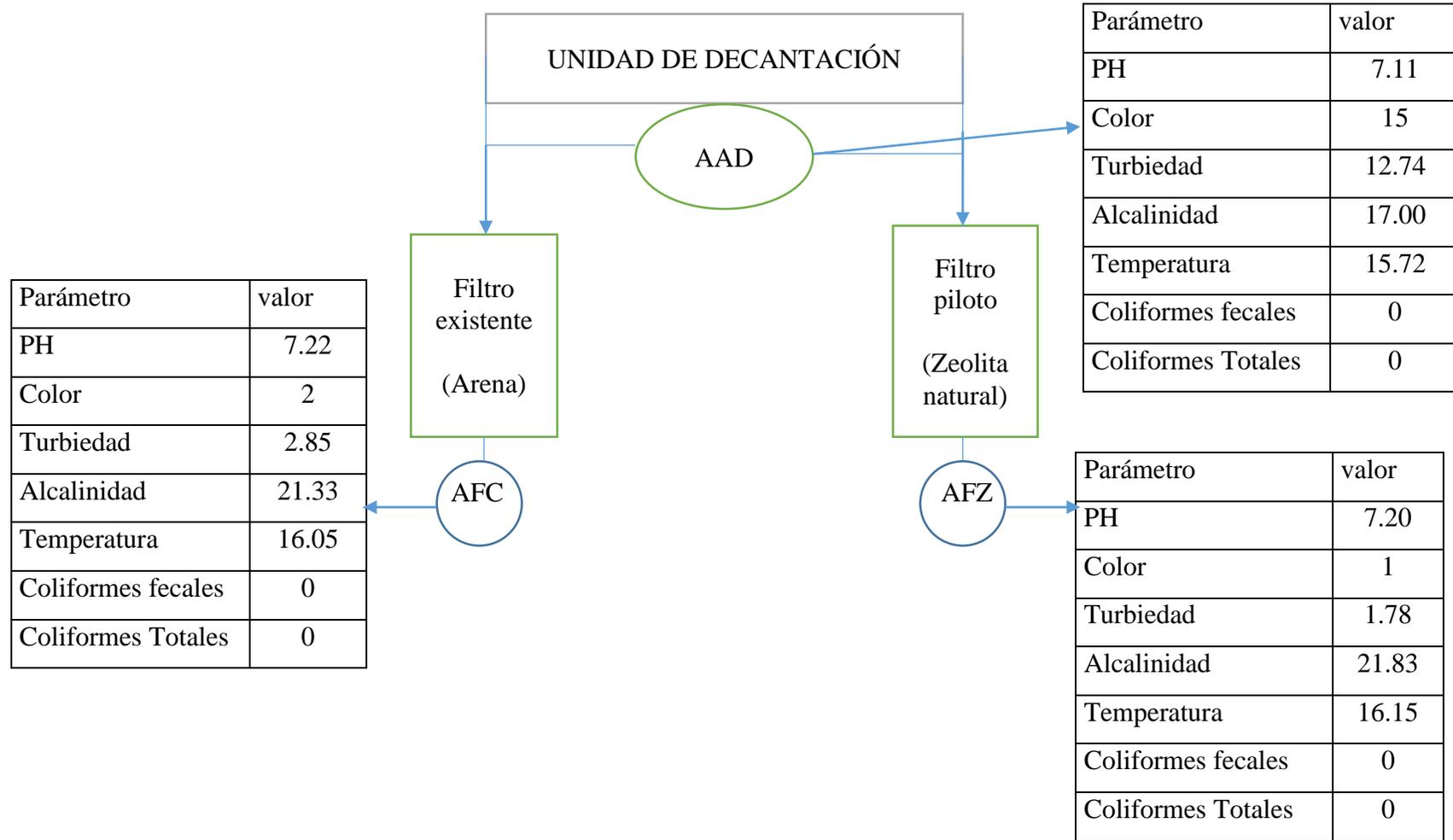
PARÁMETRO	Unidad	FILTROS A PRESIÓN		LMP para agua de consumo humano, 2010	Guidelines for Drinking- Water Quality OMS, 1996
		Filtro de arena	Filtro de zeolita		
FÍSICOS					
PH	Und	7.22	7.20	6.5 - 8.5	-
Color	UCV/ escala Pt/Co	2	1	15	15
Turbiedad	UNT	2.85	1.78	5	1
MICROBIOLÓGICOS					
Coliformes fecales	NMP/100 ml	0	0	0	0
Coliformes totales	NMP/100 ml	0	0	0	0

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación

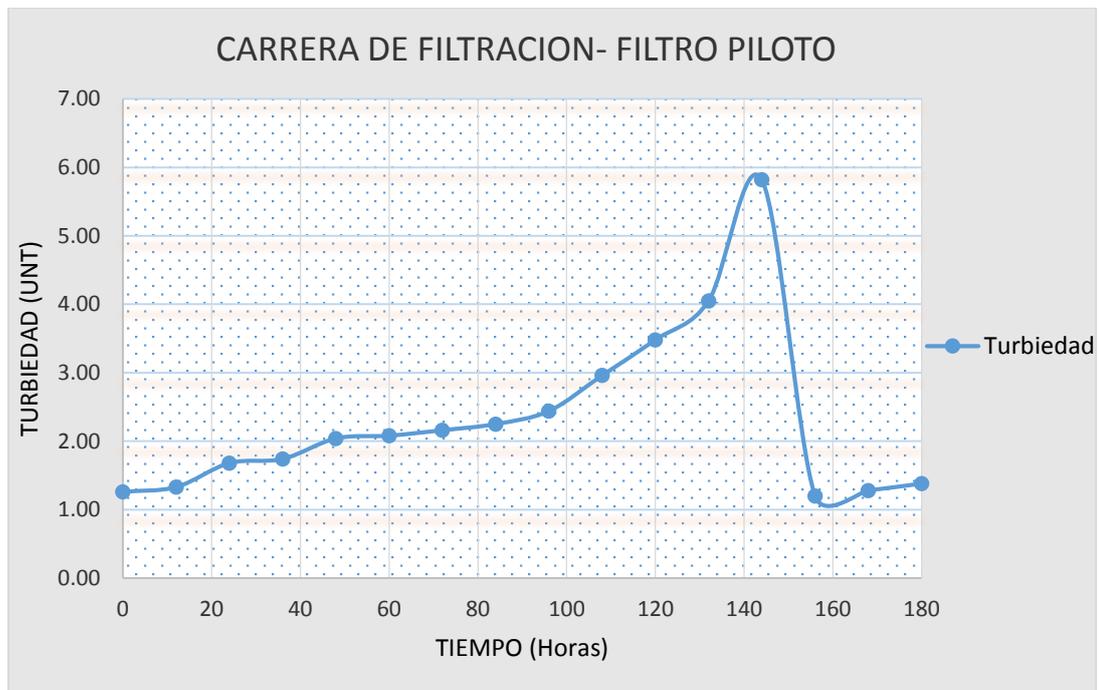
En el cuadro se muestra una comparación de la calidad fisicoquímica de los efluentes de los filtros con relación a las normas de calidad de aguas nacionales e internacionales.

4.7 DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS SISTEMAS DE FILTRACIÓN



4.8 DETERMINACIÓN DE LAS CARRERAS DE FILTRACIÓN

4.8.1 DETERMINACIÓN DE LA CARRERA DE FILTRACIÓN DEL FILTRO PILOTO RESPECTO A LA TURBIEDAD

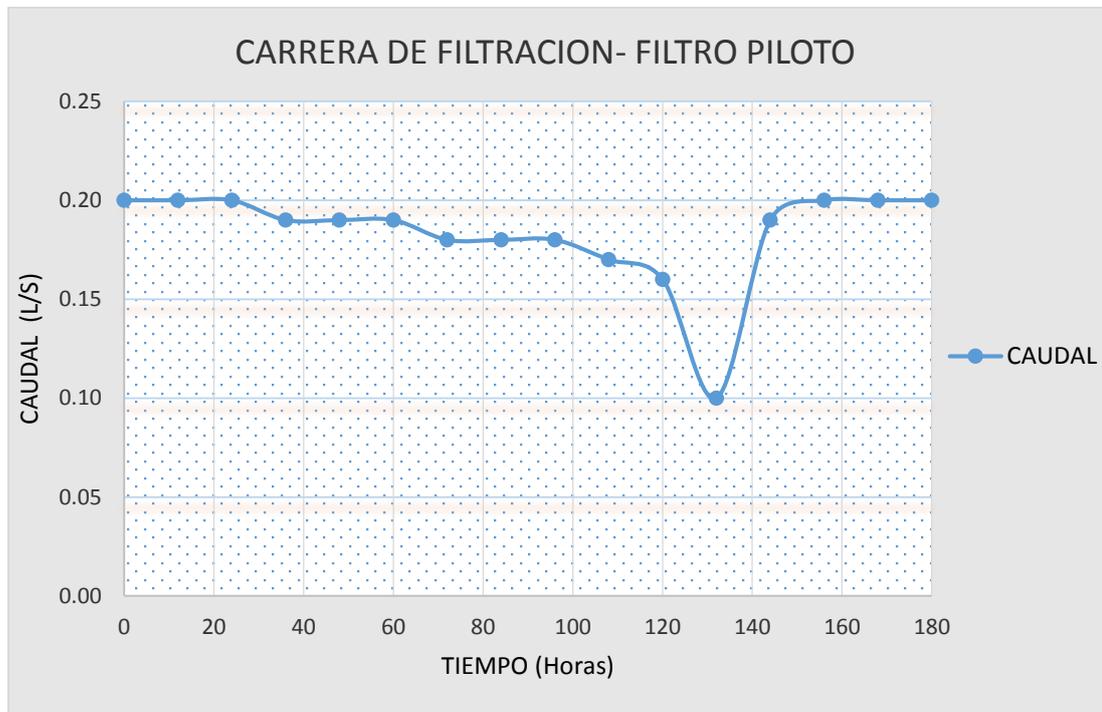


Grafica N° 7 Carrera de filtración de la zeolita con respecto a la turbiedad

Interpretación

En el gráfico se muestra, la duración de la carrera de filtración por el filtro piloto con material filtrante zeolita natural duró 143 horas y la turbiedad se eleva considerablemente.

4.8.2 DETERMINACIÓN DE LA CARRERA DE FILTRACIÓN DEL FILTRO PILOTO RESPECTO AL CAUDAL

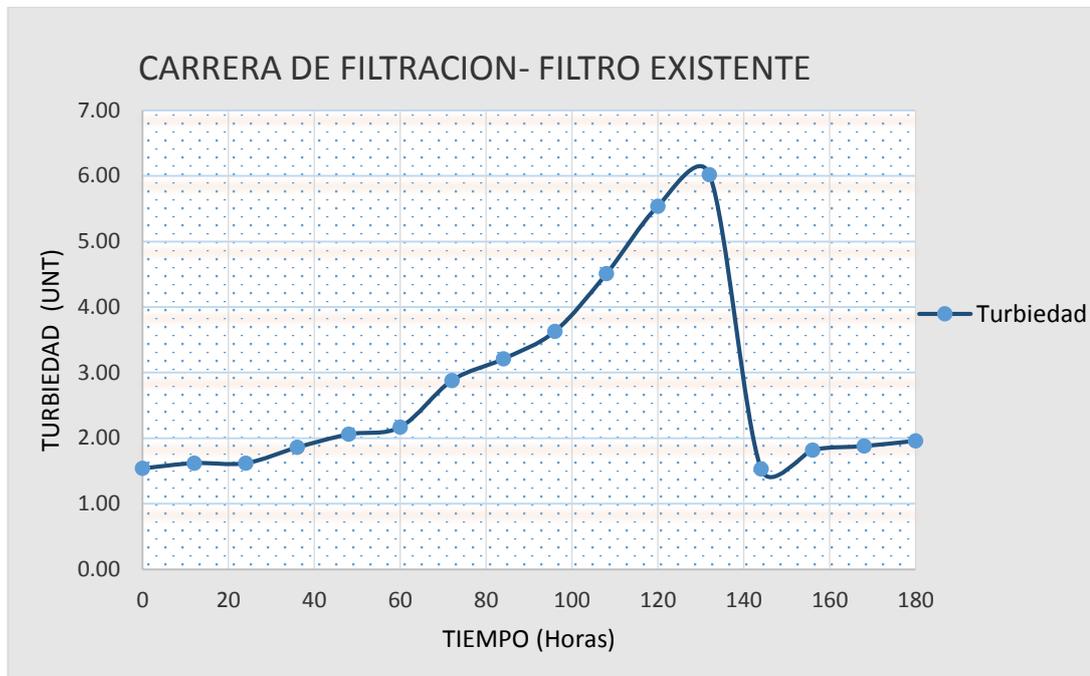


Grafica N° 8 Carrera de filtración de la zeolita con respecto al caudal

Interpretación

En el gráfico se muestra, la duración de la carrera de filtración por el filtro piloto con material filtrante zeolita natural duró 130 horas tomando en cuenta que a las 130 horas de iniciado la carrera de filtración el caudal del agua filtrado se reduce.

4.8.3 DETERMINACIÓN DE LA CARRERA DE FILTRACIÓN DEL FILTRO EXISTENTE RESPECTO A LA TURBIEDAD

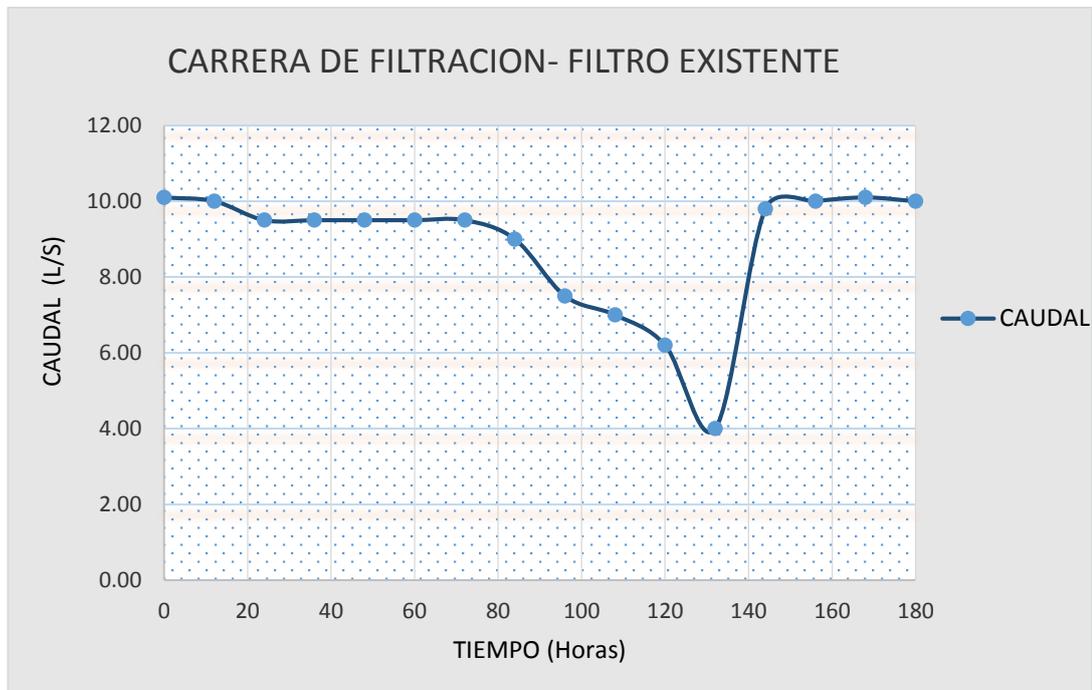


Grafica N° 9 Carrera de filtración de la arena respecto a la turbiedad

Interpretación

En el grafico se muestra, la duración de la carrera de filtración par el filtro existente con material filtrante de arena cuarzosa duró 130 horas.

4.8.4 DETERMINACIÓN DE LA CARRERA DE FILTRACIÓN DEL FILTRO EXISTENTE RESPECTO AL CAUDAL



Grafica N° 10 Carrera de filtración de la arena con respecto al caudal

Interpretación

En el grafico se muestra, la duración de la carrera de filtración por el filtro existente con material a base de arena cuarzosa duró 128 horas tomando en cuenta que a las 128 horas de iniciado la carrera de filtración el caudal del agua filtrado se reduce.

4.9 COMPARACIÓN DE LAS VELOCIDADES DE LAVADO DE LOS FILTROS EXISTENTE Y PILOTO

Cuadro N° 13 Comparación de las velocidades del lavado de los filtros

Filtro	Medio Filtrante	Velocidad real de Lavado del filtro	Velocidad teórica de Lavado del filtro	Velocidad típica * según granulometría
Existente	Arena Cuarzosa	0.39 m/min.	0.92 m/min.	0.67 m/min.
Piloto	Zeolita natural	0.68 m/min.	1.01 m/min.	0.67 m/min.

Fuente: elaboración propia

* Degrémont

Interpretación

En el cuadro se muestra que el filtro con material filtrante a base de zeolita natural, presente una velocidad de lavado muy cercana a lo recomendado para la operación de filtros a presión según el manual Degrémont, mientras que el filtro existe que opera actualmente con arena cuarzosa presenta una velocidad de lavado inferior a lo recomendado por el manual.

4.10 OBSERVACIONES REALIZADAS EN CAMPO DURANTE EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN

Durante el proceso de investigación se pudo realizar diferentes observaciones:

- En el Filtro Piloto se observó:

A la media hora de que el filtro piloto comenzara a operar, la turbiedad del efluente del filtro comenzó a incrementarse; esto debido a que hubo una pequeña cantidad de zeolita con granulometría pequeña que se desintegró y estaba en forma de limo. Luego, a las dos horas después de iniciar el proceso de operación, la turbiedad seguía incrementándose por lo que se realizó el lavado del medio filtrante de zeolita natural, observándose durante este proceso gran cantidad de turbiedad,

principalmente debida a las partículas pequeñas de la zeolita notándose un color característico similar al del material filtrante.

➤ En el Filtro existente se observó:

Cuando se estaba realizando el proceso de filtración en las unidades existentes se pudo observar la fuerte presión que se presenta en la cámara rompe presión ubicada antes del ingreso del agua filtrada a la unidad de contacto de cloro. Esto debido a la baja velocidad de filtración que ocasiona poca pérdida de carga durante el proceso de filtración y por ello mantiene una presión alta.

CAPITULO V.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS DE LOS CAUDALES PROMEDIOS DE INGRESO A LOS FILTROS

Una vez realizados los cálculos estadísticos se determinó el promedio de los resultados de las muestras observándose que no hay diferencia significativa entre las medias del caudal de ingreso al filtro piloto construido con medio filtrante a base de Zeolita Natural. Lo mismo sucede con la media del caudal de ingreso al filtro existente de patente Degremont con medio filtrante compuesto de arena cuarzosa. Es necesario aclarar que hay una diferencia cuantitativa entre los caudales de ingreso a los dos tipos de filtros, siendo el caudal promedio de ingreso al filtro piloto 0.20 l/s y 10.04 l/s el caudal con que opera normalmente el filtro a presión existente; esto debido a que el filtro piloto

construido está operando a una escala menor que el filtro patentado existente. Esta operación con diferentes valores de caudales no se ve afectada, puesto a que hay una relación entre los caudales de ingreso a ambos filtros.

5.2 ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS

➤ PUNTO DE MUESTREO ⁵ACD

Las características promedio del agua decantada que sirve de afluente a los filtros existente y piloto presentan una turbidez que varía de 11.88 a 14.0 ⁶UNT, pero que a la vez no es muy elevada. Obteniendo un promedio de turbidez de 12.74 ⁶UNT durante el periodo de muestreo.

Con respecto al color que presenta el agua antes del ingreso a los filtros rápidos se observa que presenta un valor de 14 a 17 ⁷UCV/escala Pt/Co, siendo no muy alta.

Los resultados de los análisis de los otros parámetros fisicoquímicos como PH, alcalinidad y temperatura no muestran mayor variación durante el periodo que se realizó el muestreo

Los análisis microbiológicos del agua decantada muestran la ausencia total de coliformes fecales y coliformes totales durante el periodo de muestreo.

➤ PUNTO DE MUESTREO ⁸AFC

Las características promedio del agua filtrada a través de los filtros patentados existentes que utilizan como medio filtrante a la arena cuarzosa presentan una turbidez que varía de 2.13 a 3.31 ⁶UNT, siendo una turbidez baja, obteniendo un promedio de 2.85 ⁶UNT durante el periodo de muestreo.

⁵ Salida del agua decantada de la PTAP (agua cruda)

⁶ Unidad nefelométrica de turbiedad

⁷ Unidad de color verdadero escala platino cobalto

⁸ Salida de los filtros compactos Degrémont –medio filtrante convencional

En cuanto al color del agua que es filtrada a través del medio filtrante a base de arena de tipo cuarzosa presenta una variación entre 1 y 3 ⁹UCV/ escala Pt/Co obteniendo un valor promedio del agua filtrada en el filtro existente de patente Degrémont de 2 ⁹UCV/escala Pt/Co.

Los resultados de los análisis de los otros parámetros fisicoquímicos como PH, alcalinidad y temperatura no muestran mayor variación durante el periodo que se realizó el muestreo.

Los análisis microbiológicos del agua filtrada muestran la ausencia total de coliformes fecales y coliformes totales durante el periodo de muestreo.

➤ PUNTO DE MUESTREO ¹⁰AFZ

Las características promedio del agua filtrada a través de los filtros piloto construidos que utilizan como medio filtrante la zeolita natural presentan una turbidez que varía de 1.26 a 2.24 ¹¹UNT, siendo una turbidez baja, obteniendo un promedio de 1.78 ¹¹UNT durante el periodo de muestreo.

En cuanto a color que presenta el agua filtrada a través de medio filtrante de zeolita natural se obtiene valores muy bajos siendo la mínima unidad de color registrada por el colorímetro 1 ⁹UVC /escala Pt/Co.

Los resultados de los análisis de los otros parámetros fisicoquímicos como PH, alcalinidad y temperatura no muestran mayor variación durante el periodo que se realizó el muestreo.

Los análisis microbiológicos del agua filtrada muestran la ausencia total de coliformes fecales y coliformes totales durante el periodo de muestreo.

⁹ Unidad de color verdadero escala platino cobalto

¹⁰ Salida de los filtros experimentales con medio filtrante zeolita

¹¹ Unidad nefelométrica de turbiedad

5.3 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS

De acuerdo a los histogramas elaborados para cada uno de los parámetros se observa lo siguiente:

El comportamiento de la turbiedad del agua que ingresa a los filtros existentes y piloto es homogénea durante el periodo de muestro; la turbidez del efluente del filtro convencional que usa lecho de arena es mayor que la turbidez que presenta el agua filtrada a través del lecho filtrante a base de zeolita natural que remueve mejor la turbidez del agua cruda.

En cuanto al color, el agua del efluente del decantador presenta un rango de color variable, pero a la vez no es muy alta; además se analiza que la remoción del color con el uso del medio filtrante de zeolita natural obtiene menor valor con respecto a la remoción del color por parte del medio filtrante a base de arena.

En cuanto al comportamiento del PH se analiza que no hay cambios significativos entre el agua del efluente del decantador y el agua filtrada a través de los dos tipos de medios filtrantes.

En cuanto al comportamiento de la alcalinidad de los efluentes de agua filtrada a través de los dos tipos de medios filtrantes con respecto al efluente del decantador, se nota un ligero incremento de la alcalinidad en la mayoría de las muestras tomadas durante la realización del estudio.

En cuanto al comportamiento de la temperatura del agua decantada y filtrada se observa en la mayoría de los casos no hay variación durante el proceso de filtración rápida.

5.4 ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN PARÁMETROS FÍSICOS EN LOS FILTROS EXISTENTE Y PILOTO CON RESPECTO AL AGUA CRUDA

En relación a los parámetros físicos se observa una mayor eficiencia en cuanto a la remoción de la turbiedad y el color por parte de la zeolita natural que la de la arena de tipo cuarzosa, durante el proceso de filtración rápida en al PTAP San Miguel.

Se observa una eficiencia muy alta en cuanto a la remoción del color por parte del medio filtrante a base de zeolita natural llegando al valor de 93% y con respecto a la turbidez llegando al 86 %., la arena presenta una eficiencia en torno al color y turbidez 87% y 78 % respectivamente.

5.5 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE LOS EFLUENTES DE LOS FILTROS CON RESPECTO A LA NORMATIVIDAD NACIONAL

Luego de realizar el análisis de resultados que comparó la calidad del agua filtrada en el medio filtrante zeolita natural así como también el agua proveniente del filtro de arena tipo cuarzosa se determinó que presentan unas características muy deseables y están dentro del rango que establece el reglamento de calidad de agua para consumo humano del estado peruano. Se observa que los parámetros del efluente de dichos filtros están dentro de los límites máximos permisibles en cuanto a la turbiedad, color, PH, coliformes fecales y coliformes totales, presentado valores por muy por debajo de los límites establecidos.

5.6 COMPARACIÓN DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS EFLUENTES DE LOS FILTROS EXISTENTE Y PILOTO CON LA NORMATIVIDAD INTERNACIONAL

Se comparó los principales parámetros físicos en cuanto a la calidad del agua filtrada a través de los medios filtrantes de arena y zeolita natural evidenciando que el

agua filtrada a través de la zeolita natural obtiene menor grado de turbidez y color, encontrándose dentro de los estándares de calidad de agua para consumo humano según la OMS. Sucede caso contrario en cuanto al agua que es filtrada en un medio filtrante convencional que obtiene valores que están fuera de los estándares de calidad de agua para consumo humano según la OMS.

5.7 COMPARACIÓN DE LAS CARRERAS DE FILTRACIÓN

Se observa que la carrera de filtración que presenta la batería de filtros patentados Degremont existentes y la batería de los filtros piloto son diferentes, evidenciándose que el filtro existente que opera con medio filtrante a base de arena tipo cuarzosa presenta una carrera de filtración más corta con respecto al filtro piloto que opera con medio filtrante a base de zeolita natural, siendo el tiempo de la carrera de filtración para el medio filtrante convencional de arena de 130 horas y la carrera de filtración para el filtro piloto que utiliza zeolita natural de 143 horas, observándose una diferencia de 13 horas entre ambas carreras de filtración.

5.8 COMPARACIÓN DE LAS VELOCIDADES DE LAVADO DE LOS FILTROS EXISTENTE Y PILOTO

Se observa que la velocidad de lavado con que operan el filtro existente y filtro piloto difieren mucho en la práctica evidenciando una diferencia significativa entre los valores obtenidos. La velocidad de lavado del filtro existente resultó ser 0.39 m/min. y la velocidad del filtro piloto resultó obtener un valor de 0.68 m/min. Es preciso mencionar que la velocidad de lavado del filtro existente que utiliza medio filtrante a base de arena de tipo cuarzosa es muy baja y no está dentro de los rangos de operación que recomienda el diseño de su patente Degremont.

5.9 COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE FILTRACIÓN UTILIZANDO EL MEDIO FILTRANTE CONVENCIONAL Y LA ZEOLITA

Se puede analizar que durante el proceso de filtración del agua para consumo en la PTAP San Miguel, que el medio filtrante conformado por la zeolita natural presenta

mayores ventajas a comparación del medio filtrante a base de Arena cuarzosa, tomando en cuenta la eficiencia en la remoción de la turbiedad y color, obtiene mayores porcentajes; teniendo además en cuenta que presenta una mayor porosidad que la arena cuarzosa y en las pruebas realizadas en los filtros piloto obtiene mayor tasa de filtración sin perder su calidad en el efluente, además de operar con carreras de filtración más largas.

5.10 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La Hipótesis Planteada se afirma:

“La zeolita natural como medio filtrante es más eficiente que el medio filtrante convencional a base de arena cuarzosa en el proceso de filtración rápida en el tratamiento de agua para consumo humano”.

CAPITULO VI.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Luego de realizar la presente investigación y obtener los resultados del proceso de filtración utilizando como medio filtrante a la zeolita y el medio filtrante convencional de arena con antracita se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Se utilizó la zeolita Natural como medio filtrante en el proceso de filtración rápida en la planta de tratamiento de agua potable del distrito de San Miguel, provincia de San Miguel, dpto. de Cajamarca y se obtuvo excelentes resultados.

- Se determinó que durante el proceso de filtración rápida utilizando el medio filtrante de zeolita natural, se obtuvo una alta eficiencia en cuanto a la remoción de la turbiedad y el color reportando un valor de 86% y 93% respectivamente. Además se determinó que la batería de filtros piloto pudo operar con una tasa de filtración alto presentado un valor de 325.95 m³/m²/día y finalmente se determinó que el filtro piloto pudo realizar sus operaciones con una buena carrera de filtración que duró 143 horas. En conclusión el medio filtrante a base de zeolita natural presenta altos indicadores de eficiencia durante el proceso de tratamiento de agua para consumo humano.
- Se realizó un modelo a escala piloto de la unidad de filtración con tubería de PVC, con la ejecución de tres unidades de filtros a presión tipo Degremont utilizando como medio filtrante la zeolita natural para el proceso de filtración.
- Se determinó que durante el proceso de filtración de agua a través del medio filtrante a base de arena, se obtuvo una eficiencia alta en cuanto a la remoción de la turbiedad y el color, estando por encima del 78 % y 87% respectivamente. No obstante se obtuvo un valor bajo en cuanto a la tasa de filtración con el que opera actualmente el filtro existente de patente Degremont presentando una tasa de filtración de 93.54 m³/m²/día, siendo este valor muy inferior a lo recomendado para los filtros que operan a presión y por último se determinó una duración corta de la carrera de filtración obteniendo un valor 130 horas.
- Se comparó la eficiencia del proceso de filtración donde se utilizaron dos tipos de medios filtrantes, la zeolita natural y, la arena de tipo cuarzosa y se obtuvo que la zeolita natural resulta ser más eficiente en cuanto a la remoción de la turbiedad y el color obteniendo valores de 8 % y 7% por encima que el medio filtrante existente a base de arena de tipo cuarzosa. El filtro piloto construido en la PTAP San Miguel opera con una tasa de filtración superior a la del filtro existente de patente Degremont siendo la diferencia entre tasas de filtración en un valor de 230.41. m³/m²/día y finalmente se comparó la duración de las carreras de filtración para ambos filtros, obteniéndose una diferencia de 11

horas a favor del filtro que utiliza a la zeolita natural con respecto al filtro que opera con la arena tipo cuarzosa.

6.2 RECOMENDACIONES

Se considera conveniente realizar las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda optar por el uso de la zeolita natural como medio filtrante en el proceso filtración de agua.
- Se recomienda utilizar la zeolita natural como medio filtrante en el proceso de filtración rápida con fines de potabilización de agua ya que se demostró su alta eficiencia durante la remoción de la turbiedad y color; además de poseer una porosidad mayor que la arena, operar sin problemas a una tasa de filtración alta y trabajar con una óptima carrera de filtración.
- Llevar a cabo otros estudios de investigación a escala piloto a fin de estudiar de forma más detallada la acción de la zeolita natural y de otros medios filtrantes en el proceso de filtración del agua con fines de consumo humano.
- Comparar el medio filtrante a base de zeolita natural con otros tipos de medios filtrantes para demostrar su real eficiencia en el proceso de potabilización del agua para consumo humano, su velocidad real durante su operación, su tasa correcta de filtración.
- Con la finalidad de mejorar el proceso de filtración en la PTAP San Miguel se recomienda mejorar la velocidad de lavado del medio filtrante.
- Se recomienda el uso de la zeolita natural como medio filtrante solo para instalaciones pequeñas por el alto costo del material. Que operen con caudales pequeños no mayores a 10.00 l/s.

CAPITULO VII.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASCUÑAN C, SOCA M, (1995) Zeolitas y su uso en diferentes ramas de la industria, Escuela de ingeniería Química Benemérita-Universidad Autónoma de Puebla México.
- CASALS CORELLA, Cosme.(1998), La Zeolita Mineral del Siglo XX, Cuba , Ediciones Publicigraf
- COSTAFREDA MUSTELIER, Jorge Luis (2011), Tectosilicatos con características especiales: las zeolitas naturales, Madrid (España), Editorial: Fundación Gómez-Pardo
- CANEPA DE VARGAS L., MALDONADO YÁCTAYO ,V. (2004) Tratamiento de agua para consumo Humano - Plantas de filtración Rápida, Manual Teoría Tomo I, Lima , CEPIS/OPS

- CANEPA DE VARGAS L., MALDONADO YÁCTAYO ,V. (2004) Tratamiento de agua para consumo Humano - Plantas de filtración Rápida, Manual Teoría Tomo II, Lima , CEPIS/OPS.
- DEGRÉMONT. (1979), Manual Técnico de Agua, , Bilbao, (4ª ed.).
- GIANNETTO P.G., MONTES R.A., RODRÍGUEZ I.G. “Zeolitas: Características, Propiedades y Aplicaciones Industriales”. 2ª ed. Caracas, Venezuela: Editorial Innovación Tecnológica; 1990: 22-25.
- TRABAJO DE INVESTIGACIÓN: *Comparación entre un proceso de filtración simple y múltiple para tratar agua subterránea con alto índice de fierro (Fe+2) - Centro Poblado Alianza, San Martín, 2014*” Betsabeth Padilla Macedo, Diana Leiva Sobrino y Patty Flores Chuquilin, universidad peruana Unión – Tarapoto- Perú.
- PERÚ MINISTERIO DE SALUD - DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL. (2011), *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, DS N° 031-2010-S.A.* Lima.
- PIÑA SOBERANIS, M. DE LOURDES HUERTA, M. (2000), Remoción de hierro y manganeso en fuentes subterráneas de abastecimiento de agua potable mediante un proceso de adsorción-oxidación en continuo, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).
- ROMERO ROJAS J. A., (1999). Potabilización del agua, México, Alfa Omega Grupo Editor S.A.
- SMART L. AND MOORE E. “Química del estado sólido”. México: Addison-Wesley Iberoamericana, S.A; 1995.
- VERGUINIA PETKOVA, S., *Remoción de Fierro y Manganeso por medios de Contacto No Convencionales*, Cuernavaca, México, Instituto Mexicano de tecnología del agua.

PÁGINAS WEW:

- Municipalidad Provincial de San Miguel, recuperado de <http://www.muni-sanmiguel.gob.pe/index.php/ciudad/ubicacion-geografica.html> (26 enero 2016)
- Celta Brasil, (2016 junio) recuperado de <http://www.celtabrasil.com.br/destaques/zeolitas-sinteticas/>
- Biblioteca INIFAP recuperado de http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3919/CIRCE_010208153800039686ok.pdf?sequence=1. (14 abril 2016)
- Ingeniero Ambiental Recuperado de: <http://www.ingenieroambiental.com/newinformes/zeolitas.pdf>
- (Verguinia Petkova Simeonova, 1996. Zeocat) Recuperado de: <http://www.zeocat.es/docs/aguafemn4.pdf>.
- (Padilla, Leiva y Flores, 2015) Revista de invesigacion: ciencia, tecnología y desarrollo. Recuperado de: http://revistascientificas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/409/419

ANEXOS

ANEXO 1
DISEÑO DEL SISTEMA

1.0 DISEÑO DEL SISTEMA

1.1 PARÁMETROS DE DISEÑO DEL FILTRO PILOTO

Los parámetros que se consideraron para el diseño de los filtros rápidos experimentales fueron:

CAUDAL DE DISEÑO

Se consideró un caudal de diseño de 0.20 l/s para el dimensionamiento preliminar de las unidades experimentales de filtración rápida, cuyo valor numérico es la cincuentaava parte de caudal de original con que se operan los filtros existentes en la PTAP de San Miguel.

TURBIEDAD AL INGRESO DE LOS FILTROS PILOTO

El valor de la turbiedad con el cual se diseñó los filtros experimentales con medio filtrante a base de Zeolita Natural estuvo en un rango de *10 a 17* UNT, y se optó por el valor más alto. Este valor se tomó puesto que la turbiedad más alta presentada en la unidad de decantación fue de *15* UNT, siendo el promedio anual de turbiedad que se alcanza en la mencionada unidad de *12* UNT

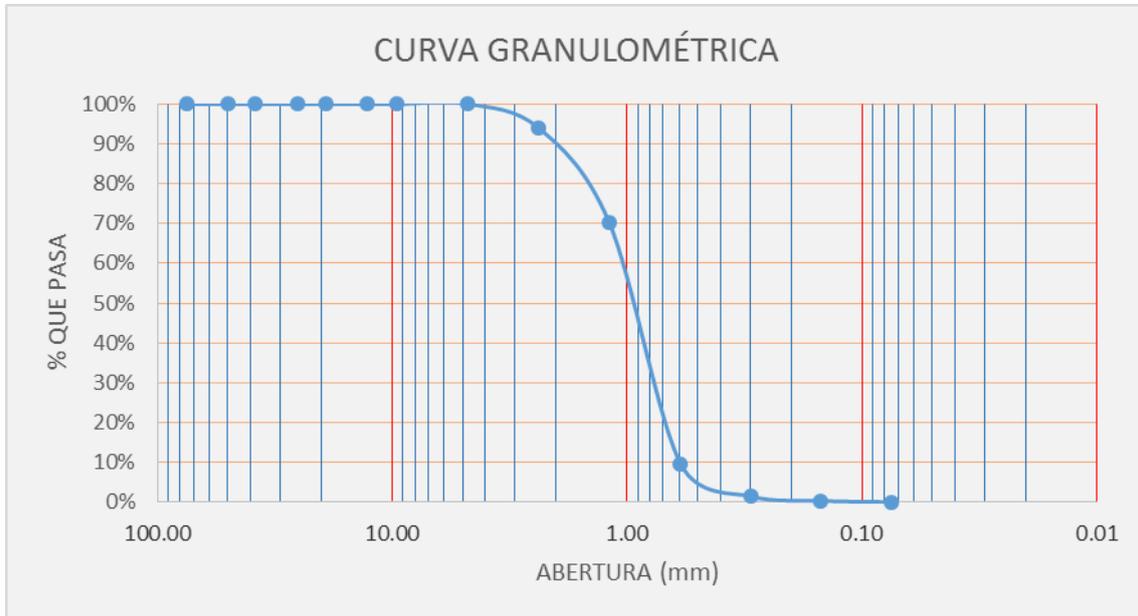
TURBIEDAD A LA SALIDA DE LOS FILTROS PILOTO

El diseño de las unidades de filtros rápidos experimentales espera alcanzar un valor máximo de turbiedad de *1* UNT, a fin de cumplir con los estándares de calidad de agua según la OMS.

GRANULOMETRÍA DEL MEDIO FILTRANTE.

El medio filtrante utilizado para el diseño de los filtros piloto es la zeolita natural, que cuenta con una granulometría con las siguientes características: el diámetro efectivo D10

=0.60mm, y el coeficiente de uniformidad $CU=1.75$ según el estudio granulométrico realizado.
Ver gráfica N° 11



Fuente: Estudio de mecánica de suelos

Grafica N° 1 Curva granulométrica de la zeolita natural

POROSIDAD DEL MEDIO FILTRANTE PROPUESTO

La porosidad del medio filtrante, en este caso la zeolita natural tiene un valor de $\epsilon = 51\%$ según el estudio de mecánica de suelos (Ver Anexo 2).

ÁREA DEL FILTRO PILOTO

Se planteó el diseño de los filtros experimentales para que operen con un área superficial de 0.020 m^2 por cada unidad de filtro construido. En este caso se diseñaron tres unidades de filtros a presión. $A = 0.020 \text{ m}^2$

ALTURA DEL FILTRO PILOTO.

La altura de cada uno de los filtros piloto que se diseñó en la PTAP San Miguel fue de 1.50 m . con una estructura de material de PVC.

VOLUMEN DEL FILTRO PILOTO

El volumen del filtro piloto diseñado fue con un área de 0.02 m² y altura de 1.50 m construido con tubería de PVC de 200mm (ver fotografía N° 14), siendo el volumen de la estructura $V_e = 0.30$ m³ y el volumen útil será calculado para una altura del material filtrante de 1.20 m teniendo en cuenta que la altura del soporte de grava es 0.30 m y la altura del medio filtrante con una granulometría determinada es de 0.90m resultando un $V_u = 0.024$ m³.

TASA DE FILTRACIÓN

La tasa de filtración propuesta para el diseño del filtro rápido de tipo piloto que opera a presión fue de un valor de $V = 325.95$ m³/m²/día., valor que se asumió para filtros que operan a presión según Degremont, estos varían 5-50 m/h o 120-1200 m/día (Degremont ,1979- pág. 275)

1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO Y OPERACIÓN DE LOS FILTROS EXISTENTES

Los parámetros que se describen a continuación fueron considerados en el diseño y construcción de los filtros existentes de Patenten Degremont al inicio de su operación en el año 1996, además de los parámetros con que actualmente operan dichos filtros.

CAUDAL DE OPERACIÓN

La unidad de filtración rápida de la PTAP de San Miguel cuenta con 6 baterías de filtros a presión y en conjunto operan para un caudal máximo diario de producción de agua decantada de 10.04 l/s.

TURBIEDAD AL INGRESO DE LOS FILTROS EXISTENTES

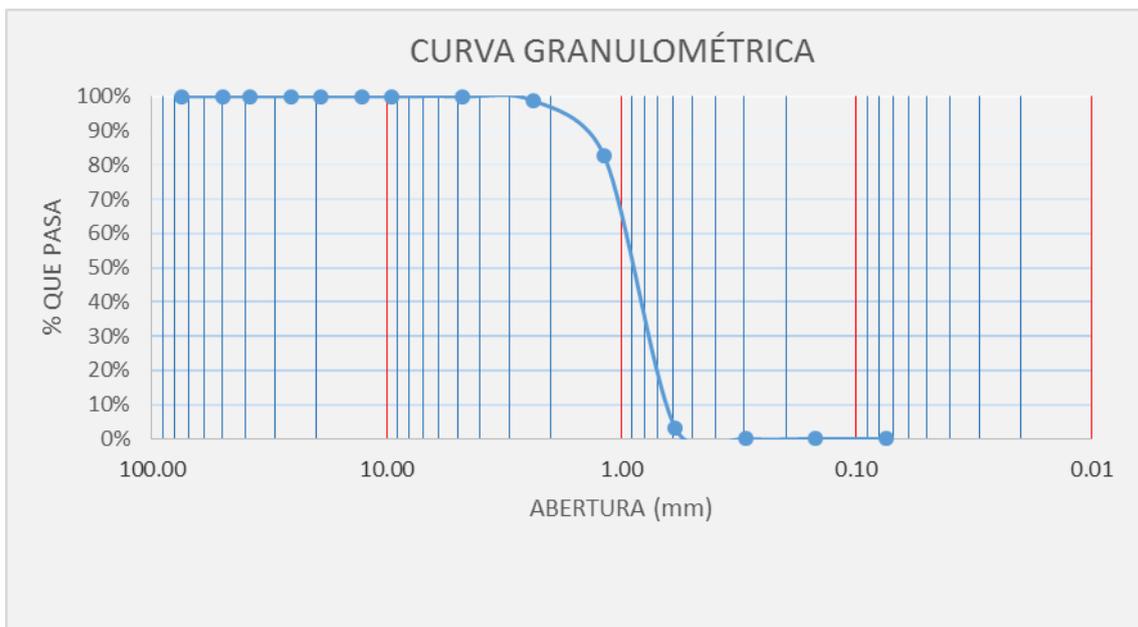
El valor de la turbiedad con el cual se diseñó los filtros existentes con medio filtrante a base de arena estuvo en un rango de 20 - 30 UNT, según los operadores de la PTAP San Miguel.

TURBIEDAD A LA SALIDA DE LOS FILTROS EXISTENTES

El diseño con el cual fue construida la unidad de filtración de la PTAP San Miguel deberá producir un agua filtrada con una turbiedad menor a 5 UNT para que cumpla con el reglamento de la calidad del agua para consumo humano.

GRANULOMETRÍA DEL MEDIO FILTRANTE EXISTENTE

El medio filtrante que se utiliza en la PTAP San Miguel, cuenta con una granulometría con las siguientes características: el diámetro efectivo $D_{10} = 0.65\text{mm}$, y el coeficiente de uniformidad $CU = 1.46$ según el estudio granulométrico realizado a una muestra del material filtrante. Ver gráfica N° 12



Fuente: Estudio de mecánica de suelos

Grafica N° 2 Curva granulométrica de la arena cuarzosa

POROSIDAD DEL MEDIO FILTRANTE EXISTENTE.

La porosidad del medio filtrante, en este caso la arena tipo cuarzosa tiene un valor de $\epsilon = 44\%$ según el estudio de mecánica de suelos (ver anexo 2).

ÁREA DE LOS FILTROS A PRESIÓN EXISTENTES.

Se planteó el diseño de los filtros experimentales para que operen con área superficial de 1.54 m² por cada unidad de filtro existente, en este caso se cuentan con 6 unidades de filtros a presión de patente Degrémont.

ALTURA DE LOS FILTROS EXISTENTES.

La altura de cada uno de los filtros existentes de Patente Degrémont que opera en la PTAP San Miguel es de 1.60 m. con una estructura metálica en forma de cilindro y una forma de cono en la parte inferior.

VOLUMEN DE LOS FILTROS EXISTENTES

El volumen del filtro existente cuenta con un área de 1.54 m² y altura de 1.60 m construido con una estructura metálica (ver foto 6), siendo el volumen de la estructura $V_e = 2.46$ m³ y el volumen útil será calculado para una altura del material filtrante de 1.20 m resultando un $V_u = 1.848$ m³.

TASA DE FILTRACIÓN

La tasa de filtración con el cual operan los filtros a presión de Patente Degrémont es de un valor de $V = 93.53$ m³/m²/día.

ANEXO 2
MEMORIA DE CÁLCULO

2.0 MEMORIA DE CÁLCULO

En este capítulo se presentan los cálculos realizados durante el proceso de la investigación, los cuales ayudarán a entender mejor la metodología de la investigación y demostrarán la hipótesis planteada.

En primer lugar se realizaron los cálculos reales del funcionamiento del filtro rápido patentado con el fin de determinar los parámetros de diseño del filtro experimental. Se calculó el caudal de ingreso a los filtros a presión, la granulometría del medio filtrante, la pérdida de carga en filtro, la duración de la carrera de filtración, la turbiedad del agua filtrada; luego se diseñó el filtro experimental con medio filtrante a base de zeolita natural .y se calculó la eficiencia del proceso del filtración, tomando en cuenta como indicador base la turbidez del agua filtrada y la cantidad de Coliformes Termotolerantes a la salida de los filtros.

2.1 MEMORIA DE CÁLCULO DEL DISEÑO DEL FILTRO PILOTO

DISEÑO DEL FILTRO PILOTO

DATOS DE DISEÑO

DATOS HIDRÁULICOS

Caudal de Diseño	17.28	m ³ /día
Área de cada filtro a presión	0.02	m ²
Nº de unidades filtros	3	und
Caudal de diseño por unidad de filtro	5.76	m ³ /día
Tasa de Filtración	325.95	m ³ /m ² /día
Tiempo de retención hidráulico	3.98	minutos
Velocidad de Darcy	0.23	m/min.
Velocidad real de paso por el filtro	0.53	m/min.
Profundidad del lecho filtrante	0.90	m

Porosidad del lecho filtrante (zeolita N)	51%	
Carga de energía disponible	3.00	m
PARÁMETROS FÍSICOS DEL AGUA		
PH	7.11	
Turbiedad	12.74	UNT
Alcalinidad	17	mg CaCO ₃
Temperatura de agua Cruda	15.72	°C
Densidad	999.10	kg/m ³
Viscosidad Cinemática	1.12E-06	m ² /s
Viscosidad Dinámica	1.12E-03	N.s/m ²

Cuadro N° 1 CÁLCULOS HIDRÁULICOS DEL MEDIO FILTRANTE ZEOLITA NATURAL

NÚMERO TAMIZ	TAMAÑO PROMEDIO di, cm	ARENA RETENIDA Pi, %	NRE	CDI	Pi/di	CDiPi/di
1	2	3	4	5	6	7
3/8.-4	0.925	0.00	22.227	2.1	0.00	0.00
4.-8	0.451	5.98	10.837	3.5	13.26	45.96
8. 16	0.228	23.76	5.479	6.0	104.21	625.51
16. 30	0.115	60.69	2.763	10.8	527.74	5715.34
30. - 50	0.055	8.11	1.322	21.1	147.45	3112.69
50. - 100	0.025	1.15	0.601	44.2	46.00	2031.47
100. -200	0.0101	0.24	0.243	105.3	23.76	2502.66
	1.8091	99.93			868.43	14040.62

Fuente: Elaboración propia

D60 (mm)= 1.05

D10 (mm)= 0.60

Cu = 1.75

VELOCIDAD DE FILTRACIÓN *	V =	325.95	m3/día	*360m3/dia
DIÁMETRO	d =	0.020106	m	
Viscosidad Cinemática (15.72 °C)	U=	1.57E-06	m2/S	
*Degrémont 5-50m/h, 15m/h				

DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE CARGA I. EN EL MEDIO FILTRANTE

$$hf = 0.178 \frac{v^2}{ge^4} \cdot \frac{\alpha}{\beta} \sum CDi \cdot \frac{Pi}{Di} L$$

$$hf = 0.289 \text{ m}$$

DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE CARGA TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN

$$hf = 10.647 \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} D^{4.75}} \cdot L$$

CF: (Decantador) :	2675.25	m.s.n.m.
CLL: (Filtro existente) :	2667.8	m.s.n.m.

Longitud tubería :	37.84	m
Diámetro :	150.00	mm
Material: ©	130	°F°F
Caudal (Q):	0.0002	m3/s
Hf=	0.000	m
Presión de Salida=	7.450	m

DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE CARGA TUBERÍA DE DERIVACIÓN

Determinación de la longitud equivalente de los accesorios

Accesorios:	cantidad:	Le	le x cant	
Teé 150mm x 100mm	1		1	1

Codo de 90° x100mm	2	2.21	4.42
Válvula Compuerta de 100mm	1	1.09	1.09
Teé 110mm x 100mm	1	0.9	0.9
Longitud Equivalente Total			7.41

Presión entrada	7.450	m
Longitud tubería+ Le :	10.41	m
Diámetro :	100.00	mm
Material:	130	°F°F
Caudal Unitario (q):	0.0001	m/s
Hf=	0.000	m
Presión de Salida=	7.450	m

DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE CARGA A SALIDA DEL FILTRO

Determinación de la longitud equivalente de los accesorios

Accesorios:	cantidad:	Le	le x cant
Teé 150mm x 100mm	1	1	1
Válvula Compuerta de 100mm	1	1.09	1.09
Longitud Equivalente Total			2.09

Presión entrada	7.450	m
Longitud tubería+ Le :	5.09	m
Diámetro :	100.00	mm
Material:	130	°F°F
Caudal Unitario (q):	0.0001	m/s
Hf=	0.000	m
Presión de salida:(m)	7.450	

DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE CARGA TOTAL

$$HF = 0.289$$

DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD TEÓRICA DEL LAVADO DE LOS FILTROS

Velocidad del lavado de los Filtros

$$V_{bT} = v_b \cdot 20 \cdot uT^{-1/3}$$

$$V_b = D_{60}$$

$$V_b = 1.05 \text{ m/min}$$

$$V_{bT} = 1.01 \text{ m/min}$$

Velocidad de fluidificación lavado de los Filtros

$$V_{bf} = 0.51 \text{ m/min}$$

$$\text{Expansión del medio filtrante} \quad E = \frac{Ee - E0}{1 - E0}$$

$$E = 0.26$$

DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD REAL DEL LAVADO DEL FILTRO PILOTO

Considerando la velocidad de retorno del agua para realizar la limpieza de los filtros

Invertir el flujo

$$Q_i = 17.28 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Área del filtro a lavar:} \quad 0.02 \text{ m}^2$$

$$\text{Velocidad Real de Lavado:} \quad 40.74 \text{ m/min.}$$

2.2 MEMORIA DE CÁLCULO DEL FUNCIONAMIENTO DEL FILTRO EXISTENTE DEGRÉMONT

DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DEL FILTRO EXISTENTE DEGRÉMONT

DATOS DEL DISEÑO Y OPERACIÓN

DATOS HIDRÁULICOS

Caudal de Diseño	864	m3/día
Área de cada filtro a presión	1.54	m2
Nº de unidades filtros	6	und
Caudal de diseño por unidad de filtro	144	m3/día
Tasa de Filtración	93.54	m3/m2/día
Tiempo de retención hidráulico	13.85	minutos
Velocidad de Darcy	0.06	m/min.
Velocidad real de paso por el filtro	0.18	m/min.
Profundidad del lecho filtrante	0.90	m
Porosidad del lecho filtrante	44%	
Carga de energía disponible	7.45	m

PARÁMETROS FÍSICOS DEL AGUA

PH	7.11	und
Turbiedad	12.74	NTU
Alcalinidad	17	mg CaCO3

Temperatura de agua Cruda	15.72 °C
Densidad	999.10 kg/m ³
Viscosidad Cinemática	1.12E-06 m ² /s
Viscosidad Dinamica	1.12E-03 N.s/m ²

Cuadro N° 2 CÁLCULOS HIDRÁULICOS DEL MEDIO FILTRANTE ARENA

NÚMERO TAMIZ	TAMAÑO PROMEDIO di, cm	ARENA RETENIDA Pi, %	NRE	CDI	Pi/di	CDiPi/di
1	2	3	4	5	6	7
3/8.-4	0.925	0.00	6.379	5.3	0.00	0.00
4.-8	0.451	1.18	3.110	9.8	2.62	25.53
8. 16	0.228	16.01	1.572	18.0	70.22	1263.72
16. 30	0.115	79.76	0.793	34.0	693.57	23561.60
30. - 50	0.055	2.98	0.379	68.5	54.18	3710.82
50. - 100	0.025	0.05	0.172	146.8	2.00	293.55
100. -200	0.0101	0.01	0.070	356.3	0.99	352.76
	1.8091	99.99			823.57	29207.98

D60 (mm)= 0.95

D10 (mm)= 0.65

Cu = 1.46

VELOCIDAD DE FILTRACIÓN V = 93.54 m³/día

DIÁMETRO d = 1.76715 m

Viscosidad Cinemática (15.72 °C) U= 1.57E-06 m²/S

DETERMINACIÓN DE LA PERDIDA DE CARGA EN EL MEDIO FILTRANTE

$$hf = 0.178 \frac{v^2}{ge^4} \cdot \frac{\alpha}{\beta} \sum CDi \cdot \frac{Pi}{Di} L$$

hf= 0.090 m

DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE CARGA TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN

$$hf = 10.647 \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} D^{4.75}} \cdot L$$

CF: (Decantador) : 2675.25 m.s.n.m.

CLL: (Filtro existente) : 2667.8 m.s.n.m.

Longitud tubería : 37.84 m

Diámetro : 150.00 mm

Material: © 130 °F°F

Caudal (Q): 0.01 m³/s

Hf= 0.079 m

Presión de Salida= 7.371 m

DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE CARGA TUBERÍA DE DERIVACIÓN

Determinación de la longitud equivalente de los accesorios

Accesorios:	cantidad:	Le	le x cant
Teé 150mm x 100mm	1	1	1
Codo de 90° x100mm	2	2.21	4.42
Válvula Compuerta de 100mm	1	1.09	1.09
Teé 110mm x 100mm	1	0.9	0.9
Longitud Equivalente Total			7.41

Presión entrada : 7.371 m

Longitud tubería+ Le : 10.41 m

Diámetro : 100.00 mm

Material: 130 °F°F
 Caudal Unitario (q): 0.0017 m/s
 Hf= 0.005 m
 Presión de Salida= 7.365 m

DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE CARGA A SALIDA DEL FILTRO

Determinación de la longitud equivalente de los accesorios

Accesorios:	cantidad:	Le	le x cant
Teé 150mm x 100mm	1	1	1
Válvula Compuerta de 100mm	1	1.09	1.09
Longitud Equivalente Total			2.09

Presión entrada : 7.365 m
 Longitud tubería+ Le : 5.09 m
 Diámetro : 100.00 mm
 Material: 130 °F°F
 Caudal Unitario (q): 0.0017 m/s
 0.003 m
 Presión de salida:(m): 7.363

DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE CARGA TOTAL

HF= 0.177

DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD TEÓRICA DEL LAVADO DE FILTROS

Velocidad del lavado de los Filtros

$V_{bT} = V_{b20} \times u_f^{-1/3}$
 $V_b = D_{60}$
 $V_b = 0.95 \text{ m/min.}$
 $V_{bT} = 0.91 \text{ m/min.}$

Velocidad de fluidificación lavado de los Filtros

$$V_{bf} = 0.24 \text{ m/min.}$$

Expansión del medio filtrante

$$E = \frac{E_e - E_0}{1 - E_0}$$

$$E = 0.20$$

DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD REAL DE LAVADO DEL FILTRO EXISTENTE

Considerando la velocidad de retorno del agua para realizar la limpieza de los filtros

Invertir el flujo

$$Q_i = 864.00 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Área del filtro a lavar: } 1.54 \text{ m}^2$$

$$\text{Velocidad Real de Lavado: } 23.39 \text{ m/min.}$$

ANEXO 3

METRADO DEL PROYECTO PROPUESTO

HOJA DE METRADOS

EL USO DE LA ZEOLITA NATURAL EN EL PROCESO DE FILTRACIÓN RÁPIDA, EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, PROVINCIA DE SAN MIGUEL –CAJAMARCA 2015”

Item	Descripción	N° Veces	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Parcial	Und.
01	FILTROS A PRESIÓN DE ZEOLITA NATURAL PROPUESTO Q=10.0l/s						
01.01	TRABAJOS PRELIMINARES						
01.01.01	LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL					36.00	m2
	Plano general: Área Bateria de Filtros aPresión	1.00	9.00	4.00		36.00	
01.01.02	TRAZO Y REPLANTEO					36.00	m2
	Plano general: Área Bateria de Filtros aPresión	1.00	9.00	4.00		36.00	
01.01.03	TRAZO Y REPLANTEO LINEA CONDUCCIÓN					23.92	m
	Plano general: línea de conducción	1.00	23.92	1.00	0.00	23.92	
01.02	CAMARA DE VÁLVULAS						
01.02.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS						
01.02.01.01	EXCAVACIÓN DE ZANJA PARA CÁMARA DE VÁLVULAS					0.80	m3
	Plano general- cámara de válvulas	1.00	1.00	1.00	0.80	0.80	
01.02.01.02	REFINE Y NIVELACIÓN DE ZANJA					1.00	m2
	Plano general- cámara de válvulas	1.00	1.00	1.00		1.00	
01.02.01.03	ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE					1.00	m3
	Eliminación de desmante	1.25	1.00	1.00	0.80	1.00	
01.02.02	OBRAS DE CONCRETO SIMPLE						
01.02.02.01	CONCRETO 1:12 C:H PARA SOLADOS Y/O SUB BASES					0.10	m3
	Solado	1.00	1.00	1.00	0.10		
01.02.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL					5.44	m2
	Cara Externa	4.00	1.00		0.80	3.20	
	Cara Interna	4.00	0.70		0.80	2.24	
01.02.02.03	CONCRETO fc= 175 kgf/cm2 Muros					0.41	m3
	Muros de 1.0x1.0x0.15m	4.00	0.85	0.15	0.80		
01.02.03	OBRAS DE CONCRETO ARMADO						
01.02.03.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL					1.51	m2
	Soporte de Tapa	1.00	1.10	1.10		1.21	
	Descuento de Tapa metálica de 0.60*0.60m	1.00	0.60	0.60		0.36	
	Laterales	4.00	1.10		0.15	0.66	
		N° veces	largo (m)	D (pulg)	densidad(kg/r	parcial	Und.
01.02.03.02	ACERO DE REFUERZO Fy=4,200 Kg/cm2					6.00	kg
	Acero soporte de Techo	12.00	1.00	3/4"	0.50	6.00	
		N° Veces	largo (m)	ancho (m)	alto(m)	parcial	Und.
01.02.03.03	CONCRETO F'c= 210 kgf/cm2 Techo					0.18	m3
	Concreto techo	1	1.10	1.10	0.15	0.18	
01.02.04	ACCESORIOS Y VÁLVULAS						
01.02.04.01	SUMINISTRO E INST. DE TEE °F°G DE 100mm x 100mm					1.00	und
	Suministro e inst. de tee °F°G de 100mm x100mm	1.00				1.00	
01.02.04.02	SUMINISTRO E INST. DE BRIDAS °F°G DE 100mm					4.00	und
	Suministro e inst. de Bridas de 100mm	4.00				4.00	
01.02.04.03	SUMINISTRO E INST. DE VÁLVULA COMPUERTA HD- D= 110Mmm					2.00	und
	Suministro e inst. de valvula compuerta	2.00				2.00	
01.02.05	CARPINTERÍA METÁLICA						
01.02.05.01	SUMIN. E INST. DE TAPA METÁLICA °F°G 0.60X 0.60m E= 3/16"					1.00	und
	Tapa Metálica de °F°G de 0.60x 0.60 e =3/16"	1.00				1.00	
01.03	RED DE CONDUCCIÓN DECANTADOR-FILTRO A PRESIÓN						
01.03.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS						
01.03.01.01	EXCAVAC. DE ZANJA, TERRENO NORMAL					23.92	m
	Excavacion de zanja Manual	1.00	23.92			23.92	
01.03.01.02	REFINE Y NIVELACIÓN DE ZANJA					23.92	m
	Refine y nivelación de fondo de zanja	1.00	23.92			23.92	
01.03.01.03	RELLENO COMP. ZANJA TERR. NORMAL DN = 110mm H= 0.80m					23.92	m
	Relleno y compactación de Zanja	1.00	23.92			23.92	
01.03.01.04	ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE					2.69	m3
	Eliminación de Desmante	1.25	23.92	0.60	0.15	2.69	
01.03.02	TUBERÍAS						
01.03.02.01	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA HFD D=110mm					23.92	m
	Tuberia DN=110mm	1.00	23.92			23.92	
01.03.02.02	PRUEBA HIDRÁULICA PARA REDES DE AGUA					23.92	m
	Prueba Hidráulica para agua potable	1.00	23.92			23.92	
01.03.03	ACCESORIOS						
01.03.03.01	SUMIN. E INST. DE CODO DN 110mm X 90°					1.00	und
	codo de 110mm x90°	1.00				1.00	
01.03.03.02	SUMIN. E INST. DE CODO DN 110mm X 45°					1.00	und
	codo de 110mm x45°	1.00				1.00	
01.04	FILTRO A PRESIÓN (5 UND)						
01.04.01	OBRAS CIVILES						

HOJA DE METRADOS

EL USO DE LA ZEOLITA NATURAL EN EL PROCESO DE FILTRACIÓN RÁPIDA, EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, PROVINCIA DE SAN MIGUEL –CAJAMARCA 2015”

Item	Descripción	N° Veces	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Parcial	Und.
01.04.01.01	MOVIMIENTO DE TIERRA						
01.04.01.01.01	EXCAVACIÓN DE ZANJA					7.20	m3
	Excavación manual de zanja	1.00	9.00	4.00	0.20		
01.04.01.01.02	REFINE Y NIVELACIÓN DE ZANJA					36.00	m2
	Refine y nivelación de Zanja	1.00	9.00	4.00			
01.04.01.01.03	ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE					9.00	m3
	Eliminación de Desmonte	1.25	9.00	4.00	0.20		
01.04.01.02	OBRAS DE CONCRETO SIMPLE						
01.04.01.02.01	CONCRETO 1:12 C:H PARA SOLADOS Y/O SUB BASES					1.60	m2
	Solado de base	1.00	8.00	4.00	0.05		
01.04.01.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL					3.60	m2
	Cara Externa	2.00	12.00		0.15	3.60	
01.04.01.02.03	CONCRETO fc= 210 kfg/cm2 LOSA MACIZA					5.40	m3
	Loza maciza de H= 0.15m	1.00	9.00	4.00	0.15		
01.04.01.03	COLUMNAS (UND)						
01.04.01.03.01	EXCAVACIÓN DE ZANJA					0.27	m3
	Excavación de zanja para Columna 0.30x 0.30 x 0.50m	6.00	0.30	0.30	0.50	0.27	
01.04.01.03.02	ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE					0.34	m3
	Eliminación de excedentes	1.25				0.27	
01.04.01.03.03	CONCRETO 1:12 C:H PARA SOLADOS Y/O SUB BASES					0.03	m2
	Solado de base	6.00	0.30	0.30	0.05	0.03	
01.04.01.03.04	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL					3.20	m2
	Cara Externa	4.00	1.00		0.80	3.20	
		N° veces	largo (m)	D (pulg)	densidad(kg/m3)	parcial	Und.
01.04.01.03.05	ACERO DE REFUERZO Fy=4,200 Kg/cm2					149.63	kg
	Acero para columnas/ vertical	24.00	3.50	1/2"	1.00	84.00	
	Acero para columnas/ horizontal	105.00	1.25	3/8"	0.50	65.63	
		N° Veces	largo (m)	ancho (m)	alto(m)	parcial	Und.
01.04.01.03.06	CONCRETO COLUMNAS fc= 175 kfg/cm2					1.89	m3
	Columnas 0.30 x 0.30m	6.00	0.30	0.30	3.50		
01.04.02	TECHADO						
01.04.02.01	VIGAS DE MADERA PARA SOPORTE DE TECHO					36.00	m
	Vigas Horizontales (Vista Forntal)	4.00	4.00			16.00	
	Vigas Vertical (V perfil)	5.00	4.00			20.00	
01.04.02.02	TECHO CON CALAMINA FIBRA FORTE					42.75	m2
	Techo con calamina fibra forte	1.00	9.50	4.50		42.75	
01.04.03	TUBERÍAS DE INGRESO						
01.04.03.01	SUMINISTRO E INST. DE TUBERÍA HFD D=110mm					4.70	m
	Tubería vertical	1.00	2.50		2.50	2.50	
	Tubería Horizontal	1.00	2.20			2.20	
01.04.04	ACCESORIOS						
01.04.04.01	SUMIN. E INST. DE CODO DN 110mm X 90°					3.00	und
	Codo de Dn = 110mm x90°	3.00				3.00	
01.04.05	TUBERÍAS DE DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES						
01.04.05.01	SUMINISTRO E INST. DE TUBERÍA HFD D=110mm					6.27	m
	Tubería de distribución CT: 2065+1.80 ver plano filtro propueto.	1.00	6.27			6.27	
01.04.06	ACCESORIOS DE DISTRUBUCION						
01.04.06.01	SUMIN. E INST. DE TEE 110 X110mm					5.00	und
	Tee de 110 x 110mm	5.00				5.00	
01.04.06.02	SUMIN. E INST. DE TAPÓN DN 110mm					1.00	und
	Tapón de 110mm	1.00				1.00	
01.04.07	SISTEMA DE INGRESO A CADA FILTRO (5 UND)						
01.04.07.01	TUBERÍAS						
01.04.07.01.01	SUMINISTRO E INST. DE TUBERÍA HFD D=110mm					4.00	m
	Tubería DN= 110mm	5.00	0.80			4.00	
01.04.07.02	ACCESORIOS						
01.04.07.02.01	SUMIN. E INST. DE CODO DN 110mm X 90°					10.00	und
	codo de 110mm x90°	10.00				10.00	
01.04.07.02.02	SUMINISTRO E INST. DE TEE °F°G DE 100mm x 100mm					5.00	und
	Tee de 110 x 110mm	5.00				5.00	
01.04.07.03	VÁLVULAS						
01.04.07.03.01	SUMINISTRO E INST. DE VÁLVULA COMPUERTA HD- D= 110Mmm					5.00	und
	Válvula compuerta de DN= 110mm	5.00				5.00	
01.04.08	SISTEMA DE LIMPIEZA						
01.04.08.01	TUBERÍAS						
01.04.08.01.01	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERÍA HFD D=110mm					7.06	m
	Tubería DN= 110mm	1.00	7.06			7.06	
01.04.08.02	ACCESORIOS						
01.04.08.02.01	SUMINISTRO E INST. DE TEE °F°G DE 100mm x 100mm					5.00	und
	Tee de 110 x 110mm	5.00				5.00	
01.04.08.02.02	SUMIN. E INST. DE CODO DN 110mm X 90°					1.00	und
	codo de 110mm x90°	1.00				1.00	
01.04.08.02.03	SUMIN. E INST. DE TAPÓN DN 110mm					1.00	und
	Tapón de 110mm	1.00				1.00	

HOJA DE METRADOS

EL USO DE LA ZEOLITA NATURAL EN EL PROCESO DE FILTRACIÓN RÁPIDA, EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, PROVINCIA DE SAN MIGUEL –CAJAMARCA 2015”

Item	Descripción	N° Veces	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Parcial	Und.
01.04.08.03	VÁLVULAS						
01.04.08.03.01	SUMINISTRO E INST. DE VÁLVULA COMPUERTA HD- D= 110Mmm					5.00	und
	Válvula compuerta de DN= 110mm	5.00				5.00	
01.04.09	SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUA FILTRADA (5 UND)						
01.04.09.01	TUBERÍAS						
01.04.09.01.01	SUMINISTRO E INST. DE TUBERÍA HFD D=110mm					11.23	m
	Tubería DN= 110mm salida del filtro	5.00	0.80			4.00	
	Tubería DN= 110mm recolectora	1.00	7.23			7.23	
01.04.09.02	ACCESORIOS						
01.04.09.02.01	SUMINISTRO E INST. DE TEE °F°G DE 100mm x 100mm					5.00	und
	Tee de 110 x 110mm	5.00				5.00	
01.04.09.02.02	SUMIN. E INST. DE TAPÓN DN 110mm					1.00	und
	Tapón de 110mm	1.00				1.00	
01.04.09.03	VÁLVULAS						
01.04.09.03.01	SUMINISTRO E INST. DE VÁLVULA COMPUERTA HD- D= 110Mmm					6.00	und
	Válvula compuerta de DN= 110mm	6.00				6.00	
01.04.10	SISTEMA ENTREGA A LA CÁMARA DE CONTACTO DE CLORO						
01.04.10.01	CÁMARA ROMPE PRESIÓN H=2.50 m						
01.04.10.01.01	CÁMARA ROMPE PRESIÓN H=2.50 m Y ACCESORIOS					1.00	und
	Cámara de rompe presión Dn= 200mm	1.00				1.00	
01.04.10.01.02	SUMINISTRO E INST. DE VÁLVULA COMPUERTA HD- D= 110Mmm					1.00	und
	Válvula compuerta de DN= 110mm	1.00				1.00	
01.04.10.01.03	SUMINISTRO E INST. DE TUBERÍA HFD D=110mm					9.20	m
	Tubería DN= 110mm	1.00	9.20			9.20	
01.04.11	TANQUES DE FILTROS A PRESIÓN (5 UND)						
01.04.11.01	SUMINISTRO E INST. DE FILTRO DE ACERO D=0.85 m					5.00	und
	Tanque de acero para filtro a presión	5.00				5.00	
			Area(m2)				
01.04.11.02	FILTRO SOPORTE DE GRAVA DE 3"- 2"					2.26	m3
	Grava de 3-2"	5.00	1.51		0.30	2.26	
01.04.11.03	FILTRO DE ZEOLITA D10 = 0.60m					6.79	m3
	Zeolita Natural de D10= 0.60m	5.00	1.51		0.90	6.79	
01.04.12	SISTEMA DE VENTILACIÓN DEL FILTRO A PRESIÓN						
01.04.12.01	SUMINISTRO E INST. DE SISTEMA DE VENTILACIÓN D=3/4"					5.00	und
	sistema de ventilacion para filtro a presión	5.00				5.00	
01.04.13	PRUEBA HIDRÁULICA PARA FILTROS A PRESIÓN						
01.04.13.01	PRUEBA HIDRÁULICA PARA FILTROS A PRESIÓN					1.00	Gbl
	Prueba hidráulica para sisteam de filtración	1.00				1.00	
01.05	DESAGUE DEL LAVADO DE FILTROS						
01.05.01	CAJA DE DESCARGA DEL LAVADO DE LOS FILTROS						
01.05.01.01	EXCAVACIÓN DE ZANJA EN TERRENO NORMAL					0.51	m3
	Excavción manual de zanja	1.00	0.80	0.80	0.80	0.51	
01.05.01.02	ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE					0.64	m3
	Eliminación de Desmonte	1.25	0.80	0.80	0.80	0.64	
01.05.01.03	CONCRETO 1:12 C:H PARA SOLADOS Y/O SUB BASES					0.64	m2
	Solado de concreto	1.00	0.80	0.80		0.64	
01.05.01.04	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL					2.56	m2
	Cara Interna	4.00		0.80	0.80	2.56	
01.05.02	CANAL DE DESAGUE						
01.05.02.01	EXCAVACIÓN DE ZANJAS					14.56	m
	Excavción manual de zanja	1.00	14.56	0.60	0.60	14.56	
01.05.02.02	ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE					6.55	m3
	Eliminación de Desmonte	1.25	14.56	0.60	0.60	6.55	
01.05.02.03	CONCRETO 1:12 C:H PARA SOLADOS Y/O SUB BASES					8.74	m2
	Solado de concreto	1.00	14.56	0.60		8.74	
01.05.02.04	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL					17.47	m2
	Caras laterales	2.00	14.56		0.60	17.47	
01.05.02.05	CONCRETO fc= 175 kfg/cm2 Muros					3.49	m3
	Muros de 1.0x1.0x0.15m	2.00	14.56	0.15	0.80	3.49	

ANEXO 4

PRESUPUESTO DEL PROYECTO PROPUESTO

Presupuesto

Presupuesto 1107001 FILTRO A PRESIÓN
 Subpresupuesto 001 FILTRO A PRESIÓN
 Cliente UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO
 Lugar CAJAMARCA - SAN MIGUEL - SAN MIGUEL

Costo al

11/02/2017

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	FILTROS A PRESIÓN PROPUESTO DE ZEOLITA NATURAL Q=10.0 l/s				120,754.10
01.01	TRABAJOS PRELIMINARES				224.93
01.01.01	LIMPIEZA DEL TERRENO MANUAL	m2	36.00	1.52	54.72
01.01.02	TRAZO Y REPLANTEO DEL AREA DEL FILTRO	m2	36.00	4.15	149.40
01.01.03	TRAZO Y REPLANTEO INICAL DE LINEA DE CONDUCCIÓN	m	23.92	0.87	20.81
01.02	CÁMARA DE VÁLVULAS				2,933.90
01.02.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				60.60
01.02.01.01	EXCAVACIÓN DE ZANJA PARA CÁMARA DE VÁLVULAS	m3	0.80	40.76	32.61
01.02.01.02	REFINE Y NIVELACIÓN DE ZANJAS	m2	1.00	3.06	3.06
01.02.01.03	ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	1.00	24.93	24.93
01.02.02	CONCRETO SIMPLE				367.18
01.02.02.01	CONCRETO F'c=100 Kg/cm2 PARA SOLADOS	m3	0.10	247.05	24.71
01.02.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	5.44	32.41	176.31
01.02.02.03	CONCRETO f'c=175 kg/cm2	m3	0.41	405.28	166.16
01.02.03	OBRAS DE CONCRETO ARMADO				128.39
01.02.03.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	1.51	32.41	48.94
01.02.03.02	ACERO DE REFUERZO fy=4,200 kg/cm2	kg	6.00	5.83	34.98
01.02.03.03	CONCRETO F'c=210 Kg/cm2	m3	0.18	247.05	44.47
01.02.04	ACCESORIOS Y VÁLVULAS				2,198.94
01.02.04.01	SUMINISTRO E INST. DE TEE °F°G DE 110mm x 110mm	und	1.00	296.72	296.72
01.02.04.02	SUMINISTRO E INST. DE BRIDAS °F°G DE 110mm	und	4.00	190.16	760.64
01.02.04.03	SUMINISTRO E INST. DE VÁLVULA COMPUERTA HD- D= 110Mmm	und	2.00	570.79	1,141.58
01.02.05	CARPINTERIA METALICA				178.79
01.02.05.01	SUMIN. E INST. DE TAPA METÁLICA °F°G 0.60X 0.60m E= 3/16"	und	1.00	178.79	178.79
01.03	RED DE CONDUCCIÓN DECANTADOR-FILTRO A PRESIÓN				2,498.04
01.03.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				952.11
01.03.01.01	EXCAVACIÓN DE ZANJAS EN TERRENO NORMAL	m	23.92	15.29	365.74
01.03.01.02	REFINE Y NIVELACIÓN DE ZANJAS	m	23.92	3.06	73.20
01.03.01.03	RELLENO COMP. ZANJA TERR. NORMAL DN = 110mm H= 0.80m	m	23.92	18.65	446.11
01.03.01.04	ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	2.69	24.93	67.06
01.03.02	TUBERIAS				1,253.41
01.03.02.01	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA HFD, DN=110 MM.	m	23.92	48.24	1,153.90
01.03.02.02	PRUEBA HIDRAULICA PARA REDES DE AGUA	m	23.92	4.16	99.51
01.03.03	ACCESORIOS				292.52
01.03.03.01	SUMIN. E INST. DE CODO DN 110mm X 90°	und	1.00	148.26	148.26
01.03.03.02	SUMIN. E INST. DE CODO DN 110mm X 45°	und	1.00	144.26	144.26
01.04	FILTRO A PRESIÓN (5 UND)				112,372.32
01.04.01	OBRAS CIVILES				3,917.97
01.04.01.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				628.00
01.04.01.01.01	EXCAVACION DE ZANJA	m3	7.20	40.76	293.47
01.04.01.01.02	REFINE Y NIVELACION DE ZANJAS	m2	36.00	3.06	110.16
01.04.01.01.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	9.00	24.93	224.37
01.04.01.02	OBRAS DE CONCRETO SIMPLE				1,483.33
01.04.01.02.01	CONCRETO 1:12 C.H PARA SOLADOS Y/O SUB BASES	m2	1.60	20.36	32.58
01.04.01.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	3.60	32.41	116.68
01.04.01.02.03	CONCRETO f'c= 210 kfg/cm2 LOSA MACIZA	m3	5.40	247.05	1,334.07
01.04.01.03	COLUMNAS (UND)				1,806.64
01.04.01.03.01	EXCAVACION DE ZANJA	m3	0.27	40.76	11.01
01.04.01.03.02	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	0.34	24.93	8.48

Presupuesto

Presupuesto 1107001 FILTRO A PRESIÓN
 Subpresupuesto 001 FILTRO A PRESIÓN
 Cliente UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO
 Lugar CAJAMARCA - SAN MIGUEL - SAN MIGUEL

Costo al 11/02/2017

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01.04.01.03.03	CONCRETO 1:12 C:H PARA SOLADOS Y/O SUB BASES	m2	0.03	20.36	0.61
01.04.01.03.04	ENCOFRADO Y DEENCOFRADO NORMAL	m2	3.20	32.41	103.71
01.04.01.03.05	ACERO DE REFUERZO fy=4,200 kg/cm2	kg	149.63	5.83	872.34
01.04.01.03.06	CONCRETO COLUMNAS fc=175 kg/cm2	m3	1.89	428.83	810.49
01.04.02	TECHADO				4,022.55
01.04.02.01	VIGAS DE MADERA PARA SOPORTE DE TECHO	m	36.00	58.68	2,112.48
01.04.02.02	TECHO CON CALAMINA FIBRA FORTE	m2	42.75	44.68	1,910.07
01.04.03	TUBERIAS DE INGRESO				226.73
01.04.03.01	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA HFD, DN=110 MM.	m	4.70	48.24	226.73
01.04.04	ACCESORIOS				444.78
01.04.04.01	SUMIN. E INST. DE CODO DN 110mm X 90°	und	3.00	148.26	444.78
01.04.05	TUBERÍAS DE DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES				302.46
01.04.05.01	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA HFD, DN=110 MM.	m	6.27	48.24	302.46
01.04.06	ACCESORIOS DE DISTRIBUCIÓN				1,648.00
01.04.06.01	SUMIN. E INST. DE TEE 110 X110mm	und	5.00	296.72	1,483.60
01.04.06.02	SUMIN. E INST. DE TAPON DN 110mm	und	1.00	164.40	164.40
01.04.07	SISTEMA DE INGRESO A CADA FILTRO (5 UND)				6,013.11
01.04.07.01	TUBERIAS				192.96
01.04.07.01.01	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA HFD, DN=110 MM.	m	4.00	48.24	192.96
01.04.07.02	ACCESORIOS				2,966.20
01.04.07.02.01	SUMIN. E INST. DE CODO DN 110mm X 90°	und	10.00	148.26	1,482.60
01.04.07.02.02	SUMINISTRO E INST. DE TEE °F°G DE 110mm x 110mm	und	5.00	296.72	1,483.60
01.04.07.03	VALVULAS				2,853.95
01.04.07.03.01	SUMINISTRO E INST. DE VÁLVULA COMPUERTA HD- D= 110Mmm	und	5.00	570.79	2,853.95
01.04.08	SISTEMA DE LIMPIEZA (5 UND)				4,990.78
01.04.08.01	TUBERIAS				340.57
01.04.08.01.01	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA HFD, DN=110 MM.	m	7.06	48.24	340.57
01.04.08.02	ACCESORIOS				1,796.26
01.04.08.02.01	SUMINISTRO E INST. DE TEE °F°G DE 110mm x 110mm	und	5.00	296.72	1,483.60
01.04.08.02.02	SUMIN. E INST. DE CODO DN 110mm X 90°	und	1.00	148.26	148.26
01.04.08.02.03	SUMIN. E INST. DE TAPON DN 110mm	und	1.00	164.40	164.40
01.04.08.03	VALVULAS				2,853.95
01.04.08.03.01	SUMINISTRO E INST. DE VÁLVULA COMPUERTA HD- D= 110Mmm	und	5.00	570.79	2,853.95
01.04.09	SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUA FILTRADA (5 UND)				5,614.48
01.04.09.01	TUBERIAS				541.74
01.04.09.01.01	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA HFD, DN=110 MM.	m	11.23	48.24	541.74
01.04.09.02	ACCESORIOS				1,648.00
01.04.09.02.01	SUMINISTRO E INST. DE TEE °F°G DE 110mm x 110mm	und	5.00	296.72	1,483.60
01.04.09.02.02	SUMIN. E INST. DE TAPON DN 110mm	und	1.00	164.40	164.40
01.04.09.03	VALVULAS				3,424.74
01.04.09.03.01	SUMINISTRO E INST. DE VÁLVULA COMPUERTA HD- D= 110Mmm	und	6.00	570.79	3,424.74
01.04.10	SISTEMA ENTREGA A LA CÁMARA DE CONTACTO DE CLORO				3,350.48
01.04.10.01	CÁMARA ROMPE PRESIÓN				3,350.48
01.04.10.01.01	CÁMARA ROMPE PRESIÓN H=2.50 m Y ACCESORIOS	und	1.00	2,335.88	2,335.88
01.04.10.01.02	SUMINISTRO E INST. DE VÁLVULA COMPUERTA HD- D= 110Mmm	und	1.00	570.79	570.79
01.04.10.01.03	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA HFD, DN=110 MM.	m	9.20	48.24	443.81
01.04.11	TANQUES DE FILTROS A PRESIÓN (5 UND)				79,291.56
01.04.11.01	SUMINISTRO E INST. DE FILTRO DE ACERO D=0.85 m	und	5.00	13,472.02	67,360.10
01.04.11.02	FILTRO SOPORTE DE GRAVA DE 3"- 2"	m3	2.26	116.75	263.86

Presupuesto

Presupuesto 1107001 FILTRO A PRESIÓN
 Subpresupuesto 001 FILTRO A PRESIÓN
 Cliente UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO
 Lugar CAJAMARCA - SAN MIGUEL - SAN MIGUEL

Costo al 11/02/2017

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01.04.11.03	FILTRO DE ZEOLITA D10 = 0.60m	m3	6.79	1,718.35	11,667.60
01.04.12	SISTEMA DE VENTILACIÓN DEL FILTRO A PRESIÓN				645.10
01.04.12.01	SUMINISTRO E INST. DE SISTEMA DE VENTILACIÓN D=3/4"	und	5.00	129.02	645.10
01.04.13	PRUEBA HIDRÁULICA PARA FILTROS A PRESIÓN				1,904.32
01.04.13.01	PRUEBA HIDRAULICA PARA FILTROS A PRESIÓN	glb	1.00	1,904.32	1,904.32
01.05	DESAGUE DEL LAVADO DE FILTROS				2,724.91
01.05.01	CAJA DE DESCARGA DEL LAVADO DE LOS FILTROS				132.75
01.05.01.01	EXCAVACION DE ZANJA EN TERRENO NORMAL	m3	0.51	40.76	20.79
01.05.01.02	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	0.64	24.93	15.96
01.05.01.03	CONCRETO 1:12 C:H PARA SOLADOS Y/O SUB BASES	m2	0.64	20.36	13.03
01.05.01.04	ENCOFRADO Y DEENCOFRADO NORMAL	m2	2.56	32.41	82.97
01.05.02	CANAL DE DESAGUE				2,592.16
01.05.02.01	EXCAVACION DE ZANJAS	m	14.56	15.29	222.62
01.05.02.02	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	6.55	24.93	163.29
01.05.02.03	CONCRETO 1:12 C:H PARA SOLADOS Y/O SUB BASES	m2	8.74	20.36	177.95
01.05.02.04	ENCOFRADO Y DEENCOFRADO NORMAL	m2	17.47	32.41	566.20
01.05.02.05	CONCRETO MUROS $f_c=175 \text{ kg/cm}^2$	m3	3.49	418.94	1,462.10
	Costo Directo				120,754.10
	SON : CIENTO VEINTE MIL SETECIENTOS CINCUENTICUATRO Y 10/100 NUEVOS SOLES				

ANEXO 5
PANEL FOTOGRAFICO

PANEL FOTOGRÁFICO



Fotografía N° 1 Pesado de la muestra retenida en las mallas



Fotografía N° 2 Toma de muestra de la salida del agua decantada



Fotografía N° 3 Toma de muestra de agua a la salida del filtro existente.



Fotografía N° 4 Construcción del filtro a presión piloto



Fotografía N° 5 Determinación de la alcalinidad



Fotografía N° 6 Medición del PH y temperatura del agua



Fotografía N° 7 Peso de la muestra del medio filtrante.



Fotografía N° 8 Realizando el ensayo de peso específico del medio filtrante



Fotografía N° 9 Realizando el ensayo de porosidad del medio filtrante.

ANEXO 6

REPORTES DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD SEDACAJ S.A.

REPORTE DE ANALISIS DE AGUA

REMITENTE: : RAZON SOCIAL
: DIRECCION

: ROBER CARLOS HARO AGUILA
: SAN MIGUEL - CAJAMARCA

MUESTRA: : TIPO
: PROCEDE
MUESTREO : RESPONSABLE
FECHA DE MUESTREO : 15 DE ABRIL 2016

: AGUA CRUDA (AGUA DECANTADA), AGUA DEL FILTRO CONVENCIONAL, AGUA FILTRO DE ZEOLITA
: PTAP- SAN MIGUEL
: ROBER CARLOS HARO AGUILA
: 15 DE ABRIL 2016

N°	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	AAD	AFC	AFZ
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS							
1	PH	Und	Part. 4500 - H+B	.....	7.00	8.20	8.10
2	Color	UCV/escala Pt/Co	Part. 2120 B.	0.5	14.0	2.0	1.0
3	Turbiedad	(UNT)	Part. 2130 B.	0.01	12.00	2.80	2.16
4	Alcalinidad	(mg CaCO ₃ /l)	Part. 2320 B.	0.1	18	24	23
5	Temperatura	(°C)	Part. 2550B	0.1	15.50	16.00	16.20
6							
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO							
7	Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	Part. 9222 D.	< 1	0	0	0
8	Coliformes Totales	NMP/100 ml	Part. 9222 B.	< 1	0	0	0

Puntos de Muestreo:

AAD: Agua Alimentacion del Decantador Hora: 9:20 a.m.
AFC: Agua del filtro Convencional Hora: 9:22 a.m.
AFZ: Agua del filtro de Zeolita Hora: 9:23 a.m.



Ing. Walter Haro Contreras
CONTROL DE CALIDAD
EPS SEDACAJ S. A.

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD SEDACAJ S.A.

REPORTE DE ANALISIS DE AGUA

REMITENTE: : RAZON SOCIAL
: DIRECCION

: ROBER CARLOS HARO AGUILA
: SAN MIGUEL - CAJAMARCA

MUESTRA: : TIPO
: PROCEDE
MUESTREO : RESPONSABLE
FECHA DE MUE: ANALISIS

: AGUA CRUDA (AGUA DECANTADA), AGUA DEL FILTRO CONVENCIONAL, AGUA FILTRO DE ZEOLITA
: PTAP- SAN MIGUEL
: ROBER CARLOS HARO AGUILA
: 18 DE ABRIL 2016

N°	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	AAD	AFC	AFZ
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS							
1	PH	Und	Part. 4500 - H+B	.....	7.00	7.00	7.00
2	Color	UCV/escala Pt/Co	Part. 2120 B.	0.5	16.00	3.00	1.00
3	Turbiedad	(UNT)	Part. 2130 B.	0.01	13.01	3.31	2.24
4	Alcalinidad	(mg CaCO ₃ /l)	Part. 2320 B.	0.1	20	20	21
5	Temperatura	(°C)	Part. 2550B	0.1	16.60	16.80	16.90
6							
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO							
7	Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	Part. 9222 D.	< 1	0	0	0
8	Coliformes Totales	NMP/100 ml	Part. 9222 B.	< 1	0	0	0

Puntos de Muestreo:

AAD: Agua Alimentacion del Decantador Hora: 3:00 p.m.
AFC: Agua del filtro Convencional Hora: 3:02 p.m.
AFZ: Agua del filtro de Zeolita Hora: 3:03 p.m.



EPS SEDACAJ S. A.
CONTROL DE CALIDAD
EPS SEDACAJ S. A.

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD SEDACAJ S.A.

REPORTE DE ANALISIS DE AGUA

REMITENTE: : RAZON SOCIAL
: DIRECCION

: ROBER CARLOS HARO AGUILA
: SAN MIGUEL - CAJAMARCA

MUESTRA: : TIPO
: PROCEDURE

: AGUA CRUDA (AGUA DECANTADA), AGUA DEL FILTRO CONVENCIONAL, AGUA FILTRO DE ZEOLITA
: PTAP- SAN MIGUEL

MUESTREO : RESPONSABLE
FECHA DE MUESTREO

: ROBER CARLOS HARO AGUILA
: 24 DE MAYO 2016

N°	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	AAD	AFC	AFZ
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS							
1	PH	Und	Part. 4500 - H+B	.....	6.90	7.00	7.00
2	Color	UCV/escala Pt/Co	Part. 2120 B.	0.5	17.0	2.0	1.0
3	Turbiedad	(UNT)	Part. 2130 B.	0.01	14.00	2.89	1.96
4	Alcalinidad	(mg CaCO ₃ /l)	Part. 2320 B.	0.1	14	20	20
5	Temperatura	(°C)	Part. 2550B	0.1	15.20	16.40	16.30
6							
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO							
7	Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	Part. 9222 D.	< 1	0	0	0
8	Coliformes Totales	NMP/100 ml	Part. 9222 B.	< 1	0	0	0

Puntos de Muestreo:

AAD: Agua Alimentacion del Decantador Hora: 11.: 15 a.m.
AFC: Agua del filtro Convencional Hora: 11.: 17 a.m.
AFZ: Agua del filtro de Zeolita Hora: 11.: 19 a.m.



EPS SEDACAJ S.A.
CONTROL DE CALIDAD
EPS SEDACAJ S.A.

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD SEDACAJ S.A.

REPORTE DE ANALISIS DE AGUA

REMITENTE: : RAZON SOCIAL
: DIRECCION

: ROBER CARLOS HARO AGUILA
: SAN MIGUEL - CAJAMARCA

MUESTRA: : TIPO
: PROCEDE
MUESTREO : RESPONSABLE
FECHA DE MUESTREO:

: AGUA CRUDA (AGUA DECANTADA), AGUA DEL FILTRO CONVENCIONAL, AGUA FILTRO DE ZEOLITA
: PTAP- SAN MIGUEL
: ROBER CARLOS HARO AGUILA
: 29 DE MAYO 2016

N°	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	AAD	AFC	AFZ
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS							
1	PH	Und	Part. 4500 - H+B	.....	7.88	7.00	7.00
2	Color	UCV/escala Pt/Co	Part. 2120 B.	0.5	14.0	1.0	1.0
3	Turbiedad	(UNT)	Part. 2130 B.	0.01	11.88	2.13	1.26
4	Alcalinidad	(mg CaCO ₃ /l)	Part. 2320 B.	0.1	18	21	21
5	Temperatura	(°C)	Part. 2550B	0.1	15.10	15.20	15.20
6							
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO							
7	Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	Part. 9222 D.	<1	0	0	0
8	Coliformes Totales	NMP/100 ml	Part. 9222 B.	<1	0	0	0

Puntos de Muestreo:

AAD: Agua Alimentacion del Decantador Hora: 8:42 a.m.
AFC: Agua del filtro Convencional Hora: 8:44 a.m.
AFZ: Agua del filtro de Zeolita Hora: 8:45 a.m.



EPS SEDACAJ S. A.
Laboratorio de Control de Calidad
Cajamarca

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD SEDACAJ S.A.

REPORTE DE ANALISIS DE AGUA

REMITENTE: : RAZON SOCIAL
: DIRECCION

: ROBER CARLOS HARO AGUILA
: SAN MIGUEL - CAJAMARCA

MUESTRA: : TIPO

: AGUA CRUDA (AGUA DECANTADA), AGUA DEL FILTRO CONVENCIONAL, AGUA FILTRO DE ZEOLITA

: PROCEDURE

: PTAP- SAN MIGUEL

MUESTREO : RESPONSABLE

: ROBER CARLOS HARO AGUILA

FECHA DE MUESTREO

: 8 DE JUNIO 2016

N°	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	AAD	AFC	AFZ
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS							
1	PH	Und	Part. 4500 - H+B	.....	6.90	7.10	7.10
2	Color	UCV/escala Pt/Co	Part. 2120 B.	0.5	16.0	2.0	1.0
3	Turbiedad	(UNT)	Part. 2130 B.	0.01	13.04	2.81	1.62
4	Alcalinidad	(mg CaCO ₃ /l)	Part. 2320 B.	0.1	14	20	22
5	Temperatura	(°C)	Part. 2550B	0.1	16.10	16.30	16.40
6							
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO							
7	Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	Part. 9222 D.	< 1	0	0	0
8	Coliformes Totales	NMP/100 ml	Part. 9222 B.	< 1	0	0	0

Puntos de Muestreo:

AAD: Agua Alimentacion del Decantador Hora: 12:25 p.m.
AFC: Agua del filtro Convencional Hora: 12:28 p.m.
AFZ: Agua del filtro de Zeolita Hora: 12:31 p.m.



REGISTRO NACIONAL DE ORGANISMOS DE CONTROL DE CALIDAD
INstituto Nacional de Control de Calidad
CONTROL DE CALIDAD
S.P.S. SEDACAJ S. A.

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD SEDACAJ S.A.

REPORTE DE ANALISIS DE AGUA

REMITENTE: : RAZON SOCIAL
: DIRECCION

: ROBER CARLOS HARO AGUILA
: SAN MIGUEL - CAJAMARCA

MUESTRA: : TIPO
: PROCEDE
MUESTREO: : RESPONSABLE

: AGUA CRUDA (AGUA DECANTADA), AGUA DEL FILTRO CONVENCIONAL, AGUA FILTRO DE ZEOLITA
: PTAP- SAN MIGUEL
: ROBER CARLOS HARO AGUILA
: 23 DE JUNIO 2016

FECHA DE MUESTREO:

N°	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	AAD	AFC	AFZ
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS							
1	PH	Und	Part. 4500 - H+B	.....	7.00	7.00	7.00
2	Color	UCV/escala Pt/Co	Part. 2120 B.	0.5	15.0	2.0	1.0
3	Turbiedad	(UNT)	Part. 2130 B.	0.01	12.53	3.15	1.44
4	Alcalinidad	(mg CaCO ₃ /l)	Part. 2320 B.	0.1	20	23	24
5	Temperatura	(°C)	Part. 2550B	0.1	15.80	15.60	15.90
6							
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO							
7	Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	Part. 9222 D.	< 1	0	0	0
8	Coliformes Totales	NMP/100 ml	Part. 9222 B.	< 1	0	0	0

Puntos de Muestreo:

AAD: Agua Alimentacion del Decantador Hora: 2:36 p.m.
AFC: Agua del filtro Convencional Hora: 2:38 p.m.
AFZ: Agua del filtro de Zeolita Hora: 2:42 p.m.



EPS SEDACAJ S. A.
CONTROL DE CALIDAD
EPS SEDACAJ S. A.

ANEXO 7

REPORTES DE ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA, PESO ESPECÍFICO Y
POROSIDAD



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM - D - 421

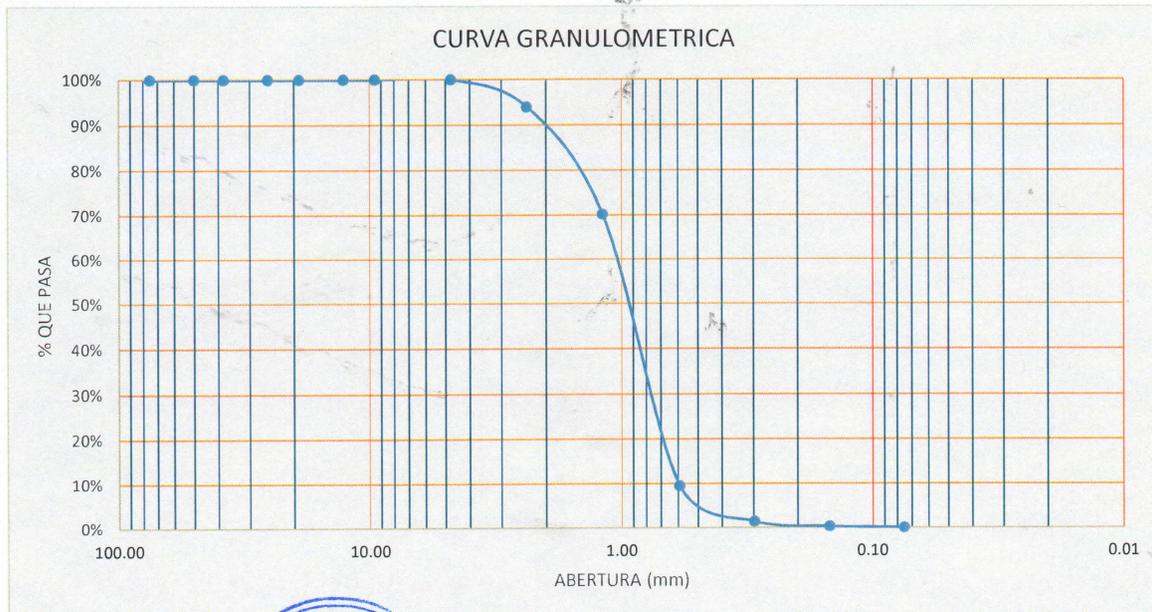


TESIS: "EL USO DE LA ZEOLITA NATURAL EN EL PROCESO DE FILTRACION RAPIDA, EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, PROVINCIA DE SAN MIGUEL CAJAMARCA ,2015"	LUGAR : SAN MIGUEL MUESTRA : BM-C2-ZEOLITA NATURAL TIPO : ZEOLITA NATURAL FECHA : JUNIO 2016
---	---

Peso Inicial Seco (gr) = 1439.50 % Que Pasa la Malla 200 = 0.08%
 Peso Lavado y Seco (gr) = 1439.50 P. Retenido de 3"(gr) = 0%

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RET. (gr)	% RETENIDO	% ACUMULADO	
				RETENIDO	QUE PASA
3"	75.000		0.00%	0.00%	100.00%
2"	50.000		0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100		0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.400		0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.060	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.700	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.525	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
#4	4.750	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
#8	2.380	86.100	5.98%	5.98%	94.02%
#16	1.190	342.000	23.76%	29.74%	70.26%
#30	0.590	873.600	60.69%	90.43%	9.57%
#50	0.297	116.700	8.11%	98.53%	1.47%
#100	0.149	16.600	1.15%	99.69%	0.31%
#200	0.075	3.400	0.24%	99.92%	0.08%

RESUMEN	
D60 (mm)=	1.05
D30 (mm)=	0.8
D10 (mm)=	0.6
Cu =	1.75
Cc =	1.02
Grava (%)	0.00%
Arena (%)	90.43%
Finos (%)	9.50%





ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM - D - 421

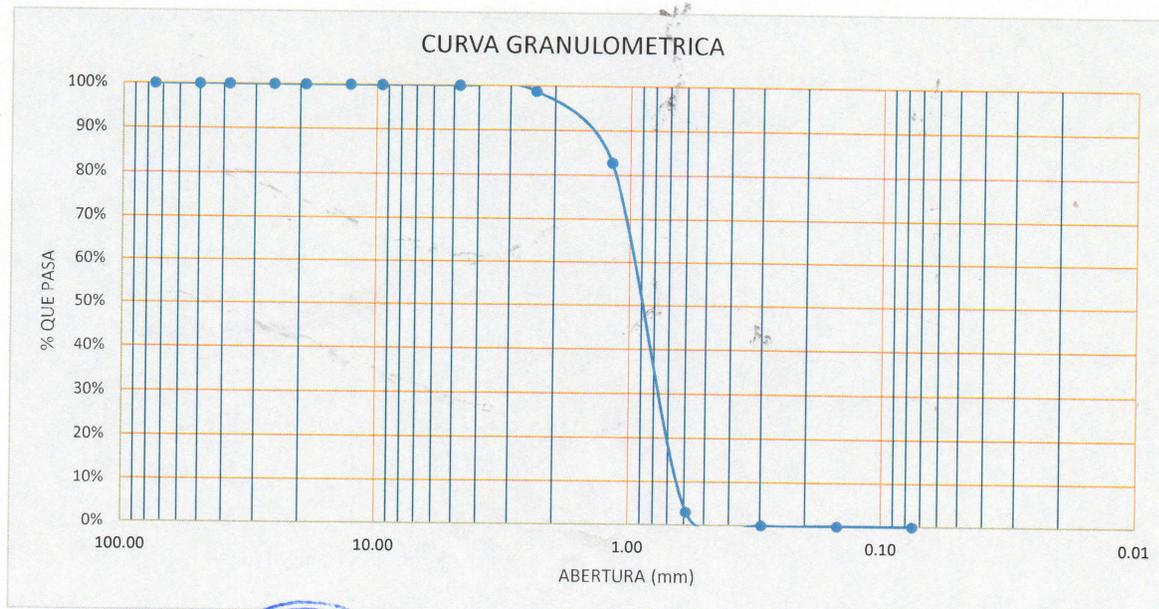


TESIS: "EL USO DE LA ZEOLITA NATURAL EN EL PROCESO DE FILTRACION RAPIDA, EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, PROVINCIA DE SAN MIGUEL CAJAMARCA ,2015"	LUGAR : SAN MIGUEL MUESTRA : BM-C1-MEDIO FILTRANTE EXISTENTE TIPO : ARENA CUARZOSA FECHA : JUNIO 2016
---	--

Peso Inicial Seco (gr) = 879.60 % Que Pasa la Malla 200 = 0.01%
 Peso Lavado y Seco (gr) = 879.60 P. Retenido de 3"(gr) = 0%

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RET. (gr)	% RETENIDO	% ACUMULADO	
				RETENIDO	QUE PASA
3"	75.000		0.00%	0.00%	100.00%
2"	50.000		0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.100		0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.400		0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.060	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.700	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.525	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
#4	4.750	0.000	0.00%	0.00%	100.00%
#8	2.380	10.400	1.18%	1.18%	98.82%
#16	1.190	140.800	16.01%	17.19%	82.81%
#30	0.590	701.600	79.76%	96.95%	3.05%
#50	0.297	26.200	2.98%	99.93%	0.07%
#100	0.149	0.400	0.05%	99.98%	0.02%
#200	0.075	0.100	0.01%	99.99%	0.01%

RESUMEN	
D60 (mm)=	0.95
D30 (mm)=	0.78
D10 (mm)=	0.65
Cu =	1.46
Cc =	0.99
Grava (%)	0.000
Arena (%)	96.95%
Finos (%)	3.04%



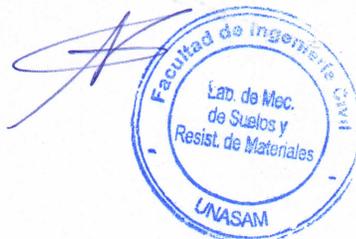


PESO ESPECÍFICO Y POROSIDAD



TESIS:	"EL USO DE LA ZEOLITA NATURAL EN EL PROCESO DE FILTRACION RAPIDA, EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, PROVINCIA DE SAN MIGUEL CAJAMARCA ,2015"	LUGAR : SAN MIGUEL
		MUESTRA : BM-C1A-MEDIO FILTRANTE EXISTENTE
		TIPO : ARENA CUARZOSA
		FECHA : JUNIO 2016

PESO ESPECÍFICO		
PESO DEL FRASCO + AGUA	= (A)	675.50 g.
PESO MAT. Y SUP SECA EN EL AIRE	= (B)	200.00 g.
MAT. SAT. + AGUA + FRASCO A+B	= (C)	875.50 g.
PESO GLOBAL CON DESPLAZ. DE VOL	= (D)	794.20 g.
PESO VOL. MASA+ VOL VACIOS C-D	= (E)	81.30 g.
PESO ESPECÍFICO APARENTE		1.50 g/cm ³
PESO ESPECÍFICO RELATIVO B/E		2.46 g/cm³
POROSIDAD		
VOLUMEN DEL RECIPIENTE		813.00 ml.
PESO DEL RECIPIENTE		67.20 g.
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA		1208.80 g.
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA + AGUA		1559.70 g.
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA EN ESTUFA A 315 °C		1199.50 g.
PESO DE MUESTRA SOLIDA SECA		1132.30 g.
VOLUMEN DE SOLIDOS		460.28 ml.
VOLUMEN DE VACIOS		360.20 ml.
RELACION DE VACIOS		0.78
POROSIDAD		44%





PESO ESPECÍFICO Y POROSIDAD



TESIS:	"EL USO DE LA ZEOLITA NATURAL EN EL PROCESO DE FILTRACION RAPIDA, EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, PROVINCIA DE SAN MIGUEL CAJAMARCA ,2015"	LUGAR : SAN MIGUEL
		: BM-C2A-MEDIO FILTRANTE
		MUESTRA ZEOLITA
		TIPO : ZEOLITA NATURAL
		FECHA : JUNIO 2016

PESO ESPECÍFICO		
PESO DEL FRASCO + AGUA	= (A)	661.00 g.
PESO MAT. Y SUP SECA EN EL AIRE	= (B)	200.00 g.
MAT. SAT. + AGUA + FRASCO A+B	= (C)	861.00 g.
PESO GLOBAL CON DESPLAZ. DE VOL	= (D)	771.20 g.
PESO VOL. MASA+ VOL VACIOS C-D	= (E)	89.80 g.
PESO ESPECÍFICO APARENTE		1.05 g/cm ³
PESO ESPECÍFICO RELATIVO B/E		2.23 g/cm³
POROSIDAD		
VOLUMEN DEL RECIPIENTE		820.00 ml.
PESO DEL RECIPIENTE		71.80 g.
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA		1000.70 g.
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA + AGUA		1341.80 g.
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA EN ESTUFA A 25 °C		940.70 g.
PESO DE MUESTRA SOLIDA SECA		868.90 g.
VOLUMEN DE SOLIDOS		390.14 ml.
VOLUMEN DE VACIOS		401.10 ml.
RELACION DE VACIOS		1.03
POROSIDAD		51%



ANEXO 8

CERTIFICADO DE ANÁLISIS DE LA ZEOLITA

Bogotá, D. C. 03 de Septiembre De 2015

CERTIFICADO DE ANÁLISIS

Nombre de la muestra: **ZEOLITA**
 Lote N°: **ZN 2015 AGOSTO**
 Fecha de Formulación: **NO SUMINISTRADA.**
 Procedencia: **FERTIMEXYL SAC**
 N° de Laboratorio: **16469-6903**
 Fecha de Ingreso: **2015-08-21**
 Fecha de expedición de los resultados: **2015-09-03**

Resultados de análisis

Aspecto de la muestra: **Sólido en polvo de color beige.**

Parámetro evaluado	Concentración	Unidad	Metodología analítica de referencia
Nitrógeno Total (N)	-	-	Kjeldahl - Norma Técnica NTC 370
Nitrógeno Nítrico (N)	-	-	Kjeldahl - Norma Técnica NTC 209/211
Nitrógeno Nítrico (N)	-	-	Colorimétrico – Método Interno ME-CCF-026
Nitrógeno Amoniacal (N)	-	-	Kjeldahl - Normas Técnicas NTC 211
Nitrógeno Ureico (N)	-	-	Kjeldahl - Norma Técnica NTC 370 – Método Interno ME-CCF- 027
Fósforo total (P ₂ O ₅)	-	-	Colorimetría - Norma Técnica NTC 234
Fósforo asimilable (P ₂ O ₅)	-	-	
Fósforo Soluble en agua (P ₂ O ₅)	-	-	
Potasio soluble en agua (K ₂ O)	-	-	Fotometría de llama - Norma Técnica NTC 202
Azufre Total (S)	-	-	Turbidimetría - Norma Técnica NTC 1154
Azufre elemental (S)	-	-	Yodometría - Norma Técnica NTC 2141
Calcio Total (CaO) X (CaCO ₃)	-	-	Absorción Atómica – Norma Técnica NTC 1369
Magnesio Total (MgO) X (MgCO ₃)	-	-	
Cobre Total (Cu)	-	-	
Hierro Total (Fe)	-	-	
Zinc Total (Zn)	-	-	
Manganeso Total (Mn)	-	-	
Molibdeno Total (Mo)	-	-	
Molibdeno Total (Mo)	-	-	
Boro Total (B)	-	-	Complexometría – Método interno ME-CCF-018
Sodio Total (Na)	-	-	Colorimetría - Norma Técnica NTC 1860
Metales Pesados_ X	-	-	Absorción Atómica – Norma Técnica NTC 5167 Método Interno ME-CCF-032
Cadmio Total (Cd)	-	-	Absorción Atómica – Método Interno ME-ORG-020
Plomo Total (Pb)	-	-	Absorción Atómica – Método Interno ME-ORG-020
Níquel Total (Ni)	-	-	Absorción Atómica – Método Interno ME-ORG-020
Arsénico Total (As)	-	-	Absorción Atómica – Método Interno ME-ORG-020
Cromo Total (Cr)	-	-	Absorción Atómica – Método Interno ME-ORG-020
Silicio Total (SiO ₂)	68.83	%	Absorción Atómica – Método Interno ME-ORG-021
Biuret	-	-	Colorimetría - Norma Técnica NTC 354
Solubilidad en Agua a 20°C	-	-	Gravimétrico – Norma Técnica NTC 5527
Conductividad Eléctrica (Relación 1:100)	-	-	Conductímetro – Norma Técnica NTC 5527
Residuos Insolubles	-	-	Gravimétrico – Norma Técnica NTC 5527
Sólidos Insolubles en Agua	-	-	Gravimétrico – Método Interno ME-ORG-022
Humedad	4.89	%	Secado - Norma Técnica NTC 35
pH (Sin 10%)	7.53	-	Potenciometría – Método interno ME-CCF-015
Densidad a Real	1.061	g/cm3	Gravimetría – Norma Técnica Colombiana NTC 5167
Granulometría	Ver Anexo	-	Tamizado vía seca – Método interno ME-CCF-006
Otro: X Capacidad de Intercambio Catiónico	101.4	Cmol/kg	Acetato de Amonio 1N pH 7 - Norma Técnica Colombiana NTC 5167

Aura Marcela Niño R.
AURA MARCELA NIÑO R.
 Química PQ 2088
 Líder de Laboratorio

Dr. Jorge E. Fuentes C.

Laboratorio de Análisis Agrícola / R.U.C.: 1700811134001

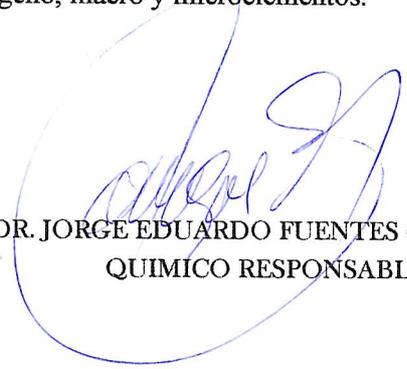
Análisis químico de zeolita

Propietario: ZEOLITA FERTIMEXYL
Ubicación: GUAYAQUIL
Solicitado por: LUPE ACURIA

Ingreso: 18 DE JULIO DE 2014
Salida: 07 DE AGOSTO DE 2014

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	MnO	ZnO	CuO	CIC	pH	CE	
	%										meq/100	u.	u. mhos
1	72,34	7,82	2,07	5,2	6,16	6,30	0,068	0,0143	0,031	>100	8,15	122	
2	74,17	7,99	2,72	4,9	3,99	6,12	0,069	0,0174	0,021	>101	8,22	116	
3	74,92	7,87	3,46	5,4	1,36	6,86	0,069	0,0324	0,027	>102	8,28	114	
	Relación												
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃												
1	9,3												
2	9,3												
3	9,5												

Observación: El material en estudio (zeolita) es adecuado para uso como intercambiador iónico, especialmente para: nitrógeno, macro y microelementos.


DR. JORGE EDUARDO FUENTES CARRILLO
QUIMICO RESPONSABLE



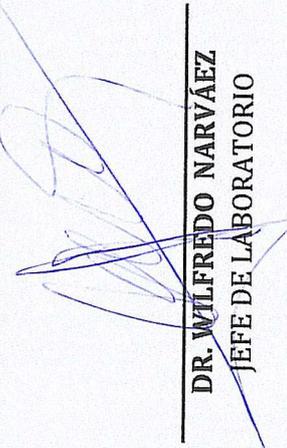
NEMALAB
Laboratorio de análisis agrícola

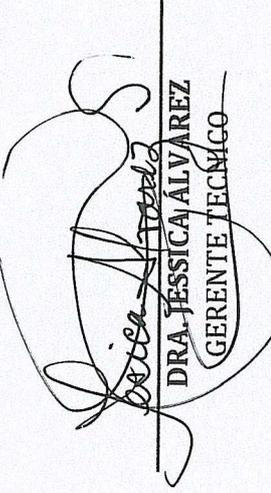
PROPIETARIO: ZEOLITA FERTIMEXYL
REMITENTE: ING. JORGE GALLEGOS
PROPIEDAD: FERTIMEXYL
LOCALIZACIÓN: GUAYAQUIL - GUAYAS

N° DE DOCUMENTO: 13489
FECHA DE MUESTREO: 15/01/2015
FECHA DE INGRESO: 15/01/2015
FECHA DE SALIDA: 20/01/2015

RESULTADOS DE CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

N° DE LAB.	IDENTIF. MUESTRA	BASES CAMBIABLES: *Ac NH ₄ OH. 1N					SUMATORI A DE BASES	% DE SATURACIÓN				
		meq/100g.						BASES	K	Ca	Mg	Na
		K	Ca	Mg	Na	C.I.C.						
1876	1	1,96	47,60	4,40	41,50	89,30	95,46	106,90	2,19	53,30	4,93	46,47


DR. WILFREDO NARVÁEZ
JEFE DE LABORATORIO

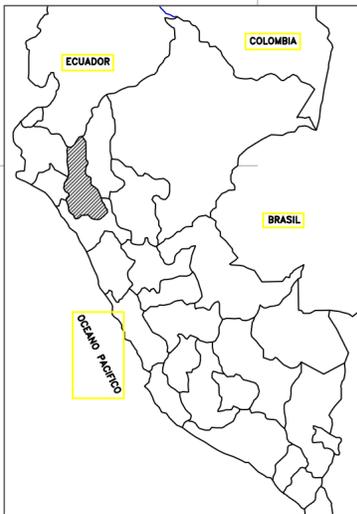
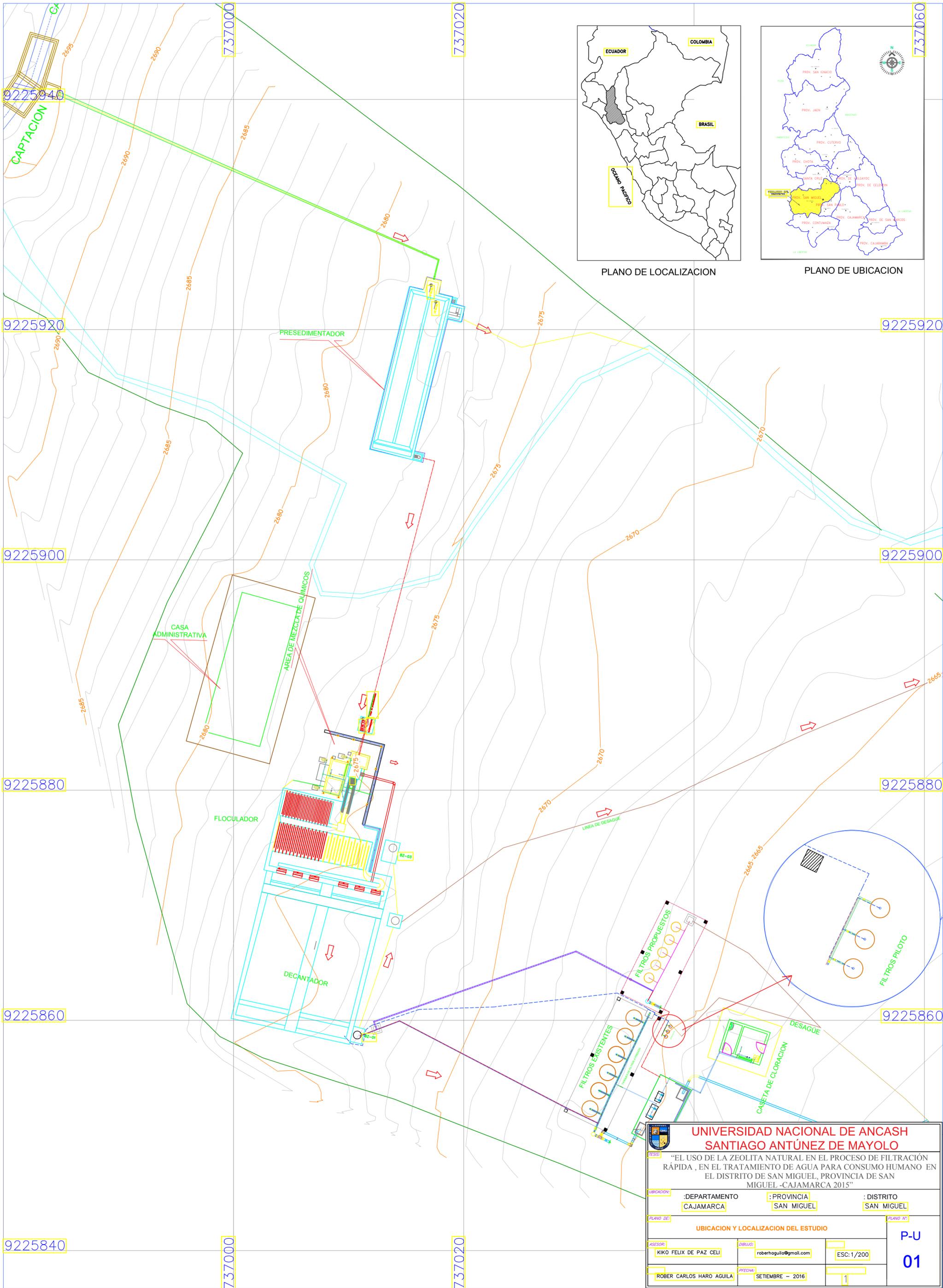

DRA. JESSICA ALVAREZ
GERENTE TÉCNICO


TEC. VANYNA CÁRDENAS
SECRETARIA

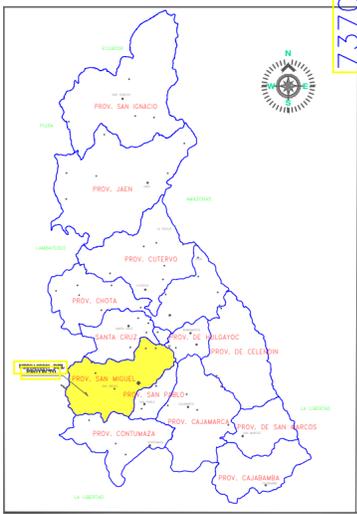
"ESTOS RESULTADOS PUEDEN SER SUJETOS DE COMPARACIÓN SIEMPRE Y CUANDO SE UTILICE LA MISMA METODOLOGIA USADA EN ESTE LABORATORIO"

ANEXO 9

PLANOS

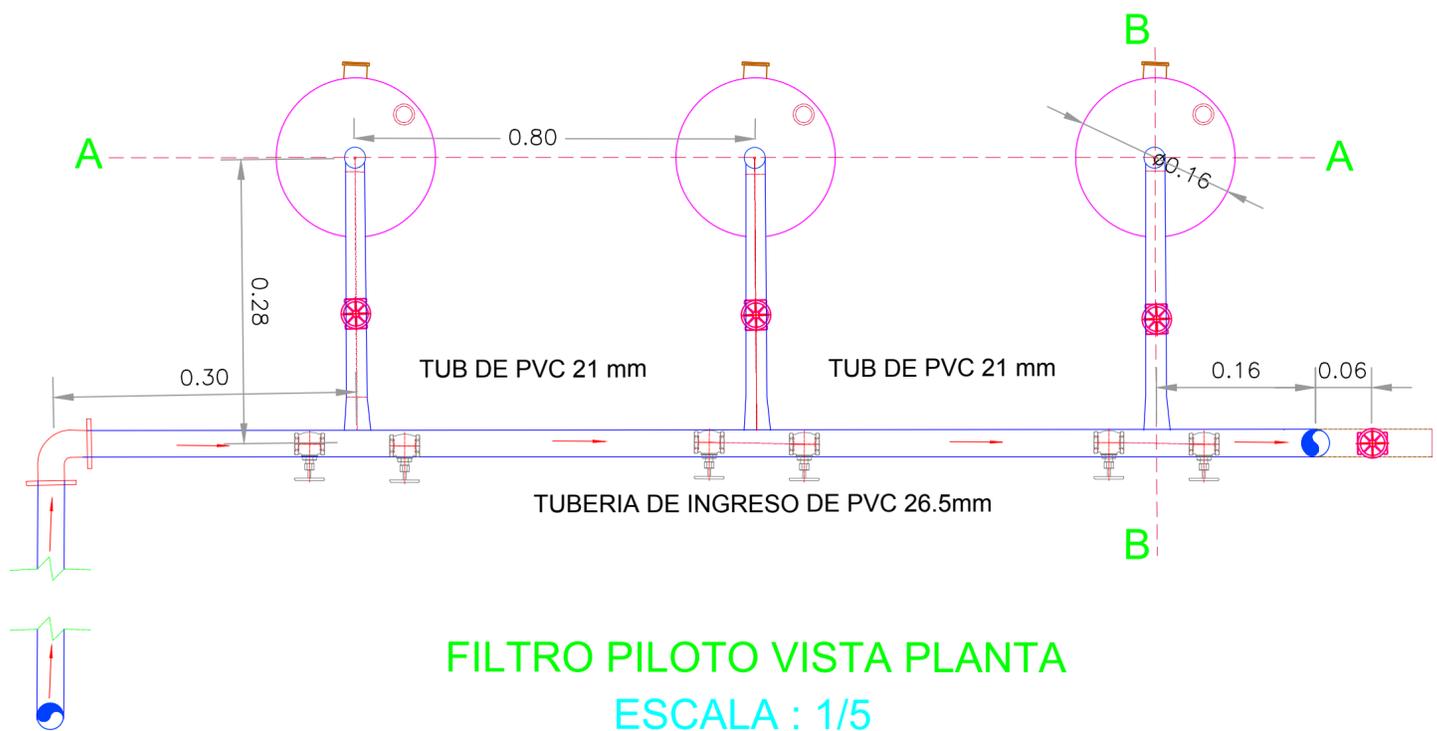


PLANO DE LOCALIZACION

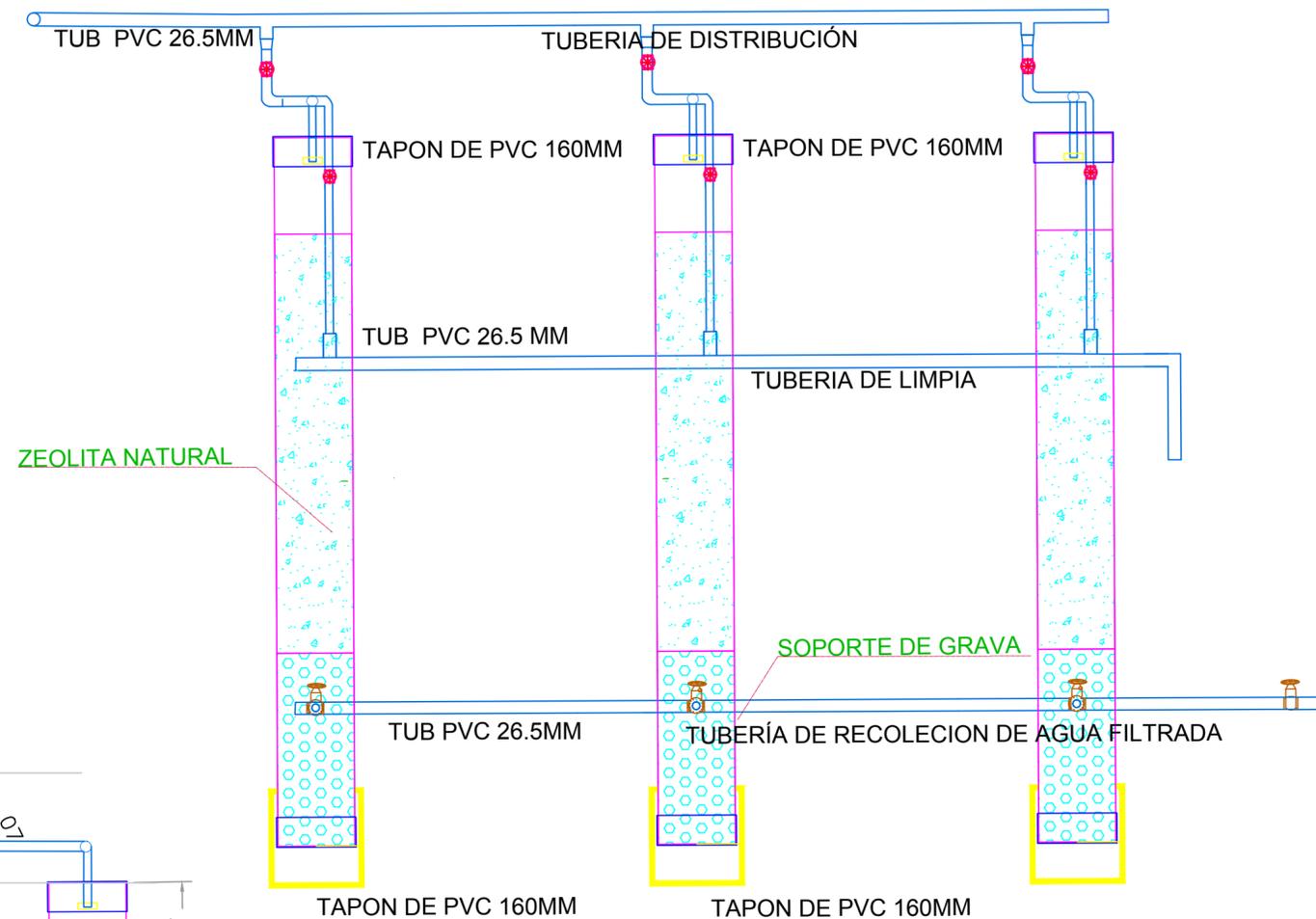


PLANO DE UBICACION

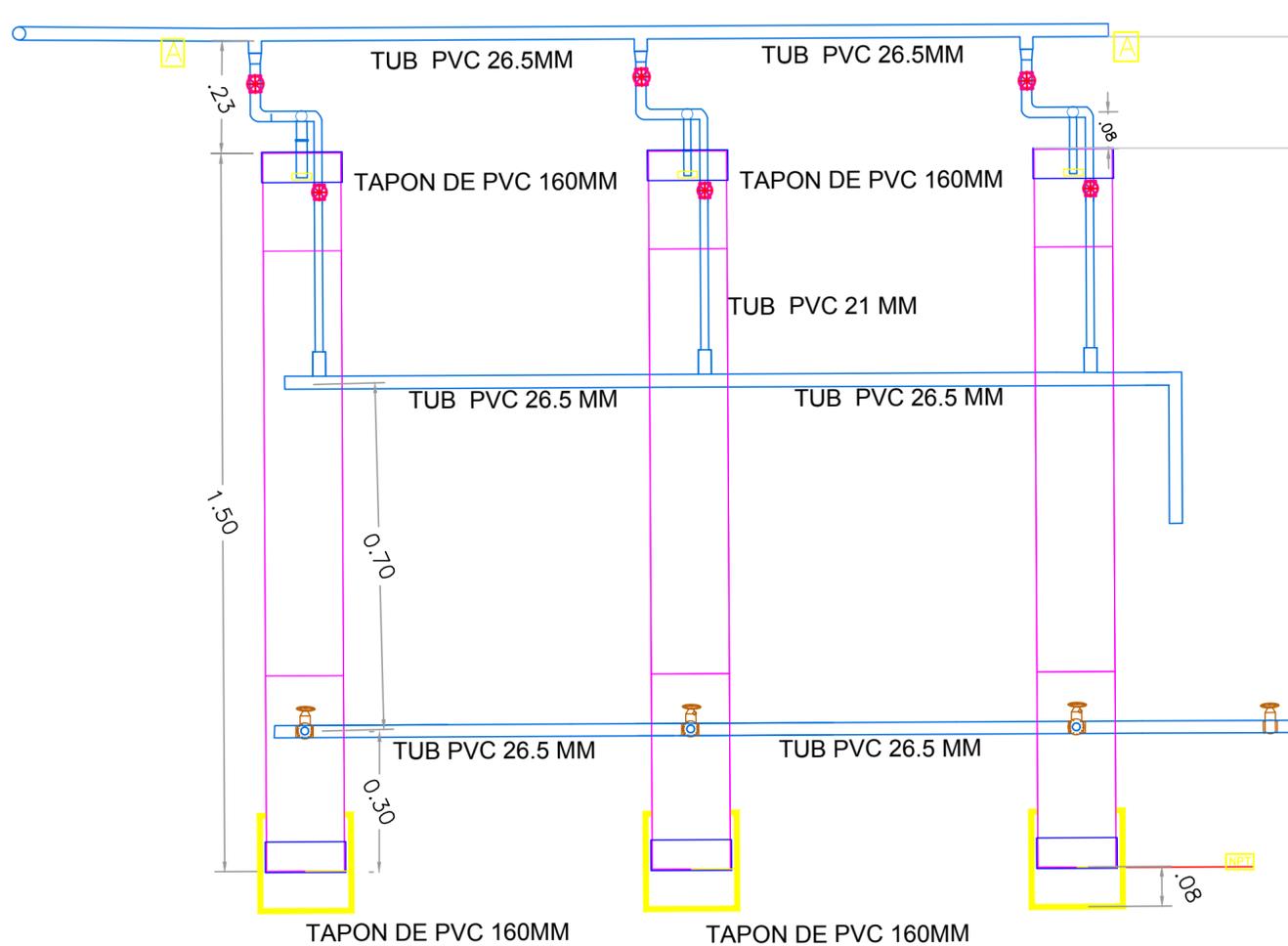
<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE ANCASH SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO</p>			
<p>TESIS: "EL USO DE LA ZEOLITA NATURAL EN EL PROCESO DE FILTRACIÓN RÁPIDA, EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, PROVINCIA DE SAN MIGUEL -CAJAMARCA 2015"</p>			
UBICACION:	: DEPARTAMENTO CAJAMARCA	: PROVINCIA SAN MIGUEL	: DISTRITO SAN MIGUEL
<p>UBICACION Y LOCALIZACION DEL ESTUDIO</p>			PLANO N°:
ASESOR:	DIRECCION:	ESCALA:	<p>P-U 01</p>
KIKO FELIX DE PAZ CELI	roberhoguila@gmail.com	1/200	
ROBER CARLOS HARO AGUILA	FECHA:	1	
	SEPTIEMBRE - 2016		



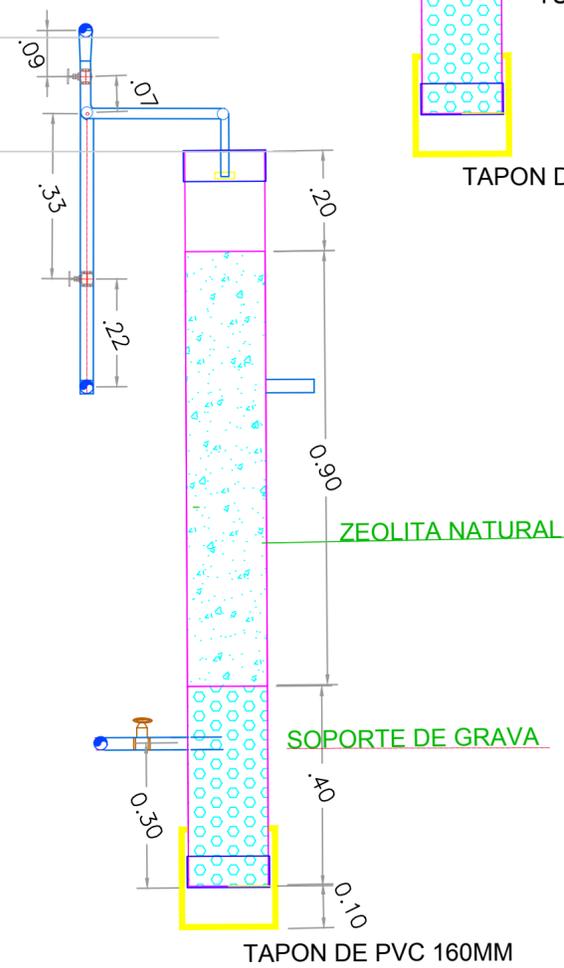
FILTRO PILOTO VISTA PLANTA
ESCALA : 1/5



FILTRO PILOTO CORTE A-A
ESCALA : 1/10



FILTRO PILOTO VISTA FRONTAL
ESCALA : 1/10



FILTRO PILOTO CORTE B-B
ESCALA : 1/10

ESPECIFICACIONES DIMENSIONALES FILTRO PILOTO	
DIMENSION	VALOR
DIAMETRO	160 MM
ÁREA	0.020 M2
ALTURA TOTAL	1.50 M
ALTURA GRAVA	0.30 M
ALTURA ZEOLITA	0.90 M

LEYENDA	
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO
VALVULA CONTROL	
CODO BAJA	
CODO SUBE	
SOPORTE CONCRETO	
SIST. VENTILACION	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ANCASH
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO

TESIS: "EL USO DE LA ZEOLITA NATURAL EN EL PROCESO DE FILTRACIÓN RÁPIDA, EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, PROVINCIA DE SAN MIGUEL -CAJAMARCA 2015"

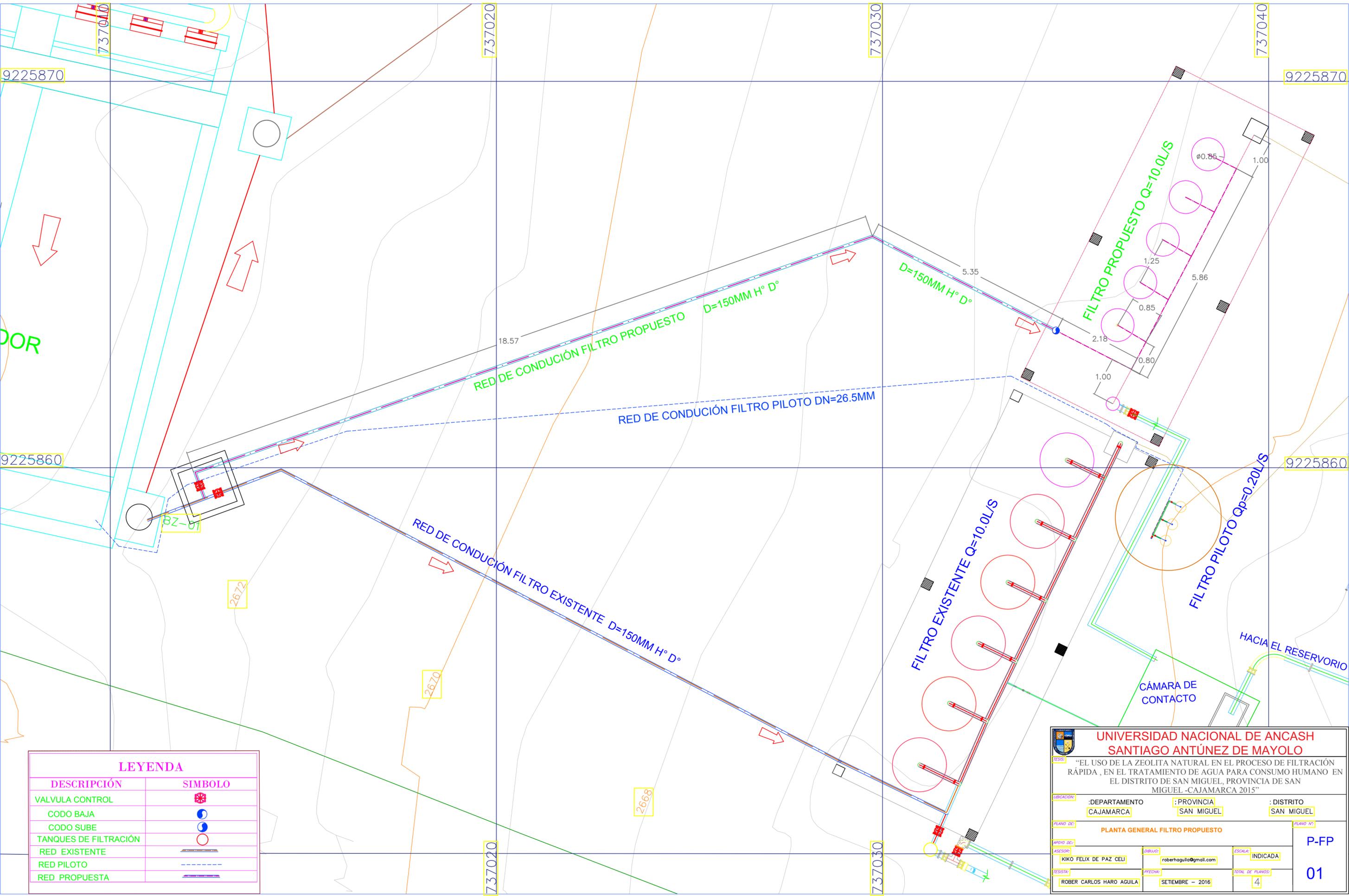
UBICACIÓN: :DEPARTAMENTO CAJAMARCA :PROVINCIA SAN MIGUEL :DISTRITO SAN MIGUEL

PLANO DE: DETALLE DEL FILTRO PILOTO

ASesor: KIKO FELIX DE PAZ CELU :DIBUJO: roberhagula@gmail.com :ESCALA: INDICADA

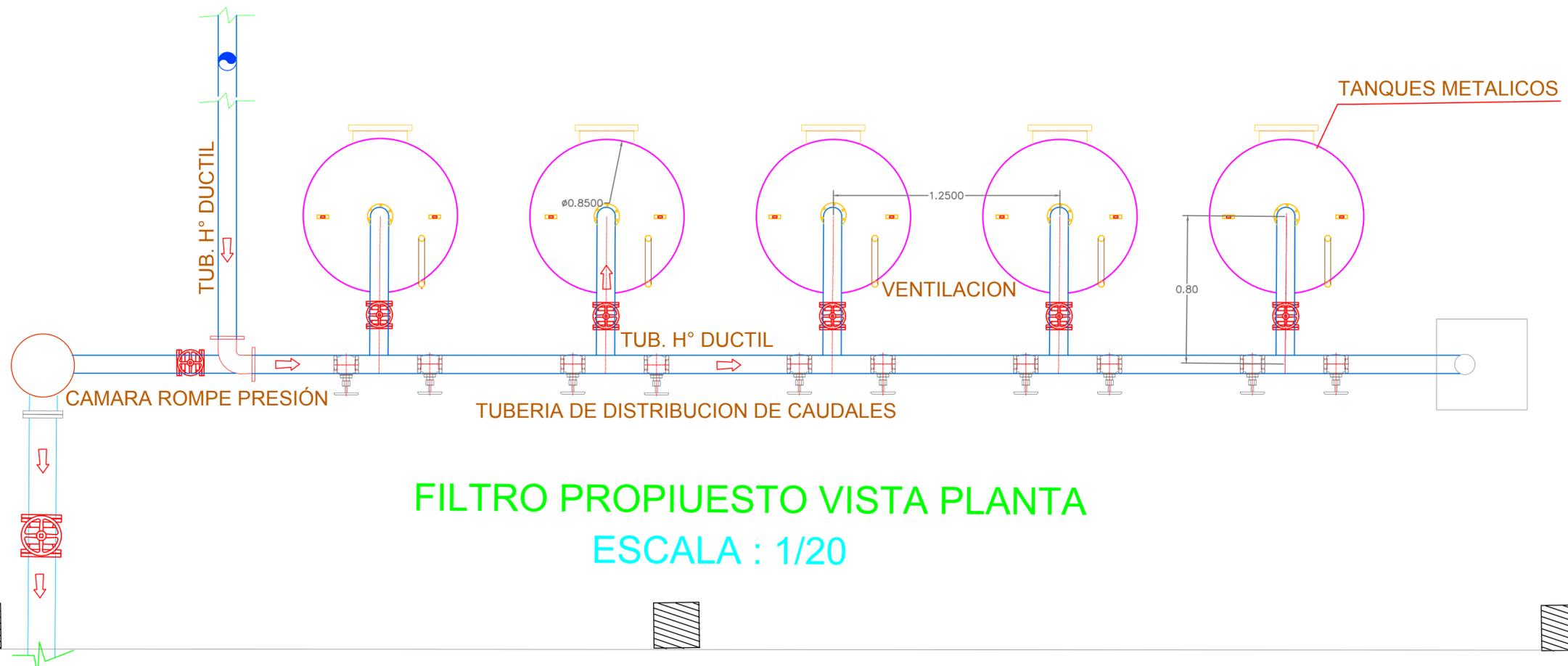
RESISTA: ROBER CARLOS HARO AGUILA :FECHA: SETIEMBRE - 2016 :TOTAL DE PLANOS: 2

P-F
01

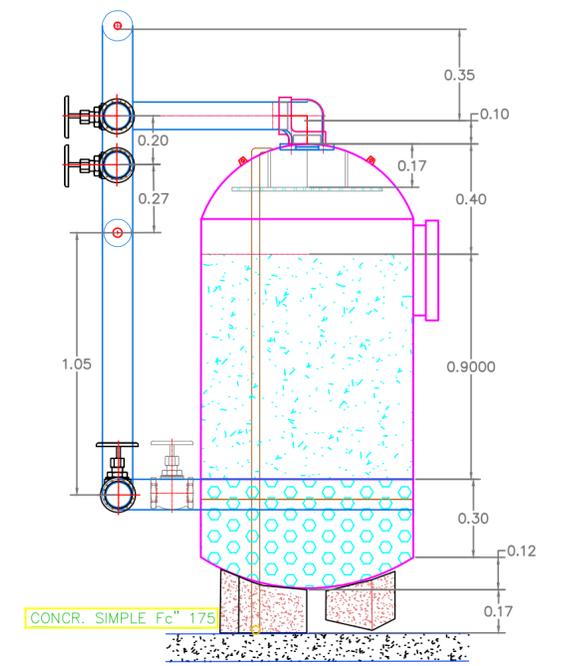


LEYENDA	
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO
VALVULA CONTROL	
CODO BAJA	
CODO SUBE	
TANQUES DE FILTRACIÓN	
RED EXISTENTE	
RED PILOTO	
RED PROPUESTA	

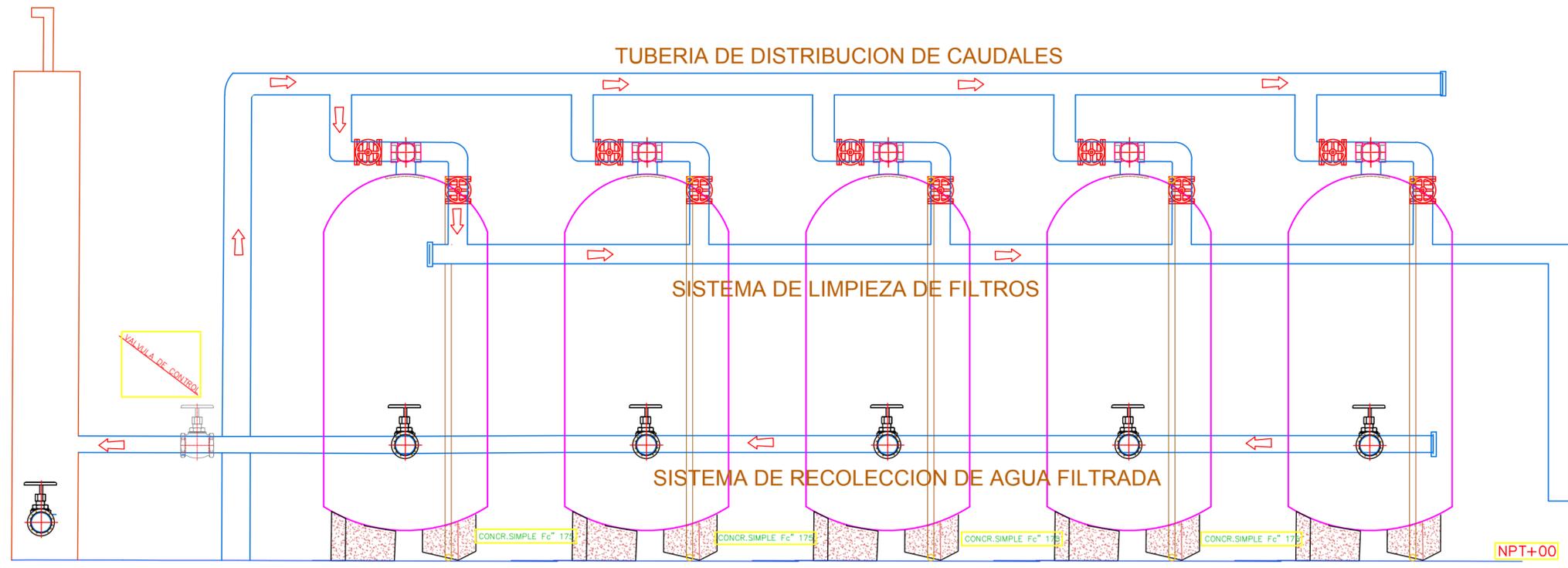
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ANCASH SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO			
TESIS: "EL USO DE LA ZEOLITA NATURAL EN EL PROCESO DE FILTRACIÓN RÁPIDA, EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, PROVINCIA DE SAN MIGUEL -CAJAMARCA 2015"			
UBICACIÓN:	: DEPARTAMENTO CAJAMARCA	: PROVINCIA SAN MIGUEL	: DISTRITO SAN MIGUEL
PLANO DE:	PLANTA GENERAL FILTRO PROPUESTO		PLANO Nº:
APYO DE:	KIKO FELIX DE PAZ CELU		P-FP
ASESOR:	roberhagula@gmail.com	ESCALA:	INDICADA
FECHA:	ROBER CARLOS HARO AGUILA	FECHA:	SEPTIEMBRE - 2016
TOTAL DE PLANOS:	4		01



FILTRO PROPIUESTO VISTA PLANTA
ESCALA : 1/20



FILTRO PR. CORTE B-B
ESCALA : 1/20



FILTRO PROPUESTO VISTA FRONTAL
ESCALA : 1/20

LEYENDA	
DESCRIPCIÓN	SIMBOLO
VALVULA CONTROL	
CODO BAJA	
CODO SUBE	
SOPORTE CONCRETO	
SIST. VENTILACION	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ANCASH
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO

TESIS: "EL USO DE LA ZEOLITA NATURAL EN EL PROCESO DE FILTRACIÓN RÁPIDA, EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL, PROVINCIA DE SAN MIGUEL -CAJAMARCA 2015"

UBICACIÓN: DEPARTAMENTO: CAJAMARCA; PROVINCIA: SAN MIGUEL; DISTRITO: SAN MIGUEL

PLANO DE: DETALLE DEL FILTRO PROPUESTO

APORTE DE: KIKO FELIX DE PAZ CELI; DIBUJO: roberhagula@gmail.com; ESCALA: INDICADA

RESISTA: ROBER CARLOS HARO AGUILA; FECHA: SETIEMBRE - 2016; TOTAL DE PLANOS: 3

PLANO Nº: P-FP 01