

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL



EFFECTO DE LA VELOCIDAD DE FLUJO SOBRE EL CRECIMIENTO Y DESPRENDIMIENTO DE BIOPELÍCULAS
ALIMENTADAS CON CODB MEDIANTE PASTOS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

PROYECTO DE GRADO

PRESENTADO POR:

LAURA TAMAYO MORALES

ASESOR :

JUAN GUILLERMO SALDARRIAGA

BOGOTÁ, D. C, 11 de Junio de 2013

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la perseverancia para no renunciar, la fuerza para luchar cada día y por llenarme de bendiciones.

A mis padres Cecilia Morales y Hugo Tamayo, por creer en mí, por enseñarme todo lo que se y por brindarme todas las facilidades para triunfar en la vida. A mi hermana Maria Paula por estar siempre a mi lado, por perdonar mis errores, y por estar conmigo en las buenas y malas.

A Juan Saldarriaga por todo su apoyo, enseñanzas, chistes, paciencia y su dirección para completar mi proyecto de grado.

A Jhon Calvo siempre le voy a estar agradecida por las tardes de risas y trabajo, por su apoyo incondicional, por su paciencia y toda su ayuda

A Alejandro por su cariño y por siempre creer en mí, aun cuando yo no lo hice.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Objetivos.....	2
1.1.1.	Objetivo general.....	2
1.1.2.	Objetivos específicos.....	2
2.	ANTECEDENTES.....	4
3.	MARCO TEÓRICO.....	6
3.1.	Definición de biopelícula.....	6
3.1.1.	Características de las biopelículas.....	6
3.2.	Desarrollo de la biopelícula.....	7
3.2.1.	Formación de la biopelícula.....	7
3.2.2.	Adherencia a la superficie.....	7
3.2.3.	Colonización y desarrollo.....	7
3.2.4.	Comunidad Madura.....	8
3.3.	Las biopelículas en las redes de distribución de agua potable.....	10
3.3.1.	Crecimiento de microorganismos en las redes de distribución de agua potable.....	10
3.3.2.	Microorganismos que conforman la biopelícula.....	10
3.3.3.	Factores que afectan o limitan el crecimiento y desarrollo de las biopelículas.....	11
3.3.4.	Nutrientes.....	11
3.3.5.	Otros factores limitantes del desarrollo de la biopelícula.....	13
3.4.	Condiciones hidráulicas del flujo de agua.....	14
3.5.	Parámetros de control de crecimiento de las biopelículas.....	19
3.6.	Desprendimiento de la biopelícula.....	20
4.	DESCRIPCIÓN DEL MODELO.....	22
4.1.	Planta física.....	22
4.1.1.	Tuberías de PVC.....	23

4.1.2.	Válvulas de control.....	24
4.1.3.	Tanque elevado.....	25
4.1.4.	Sistema de recirculación	25
4.1.5.	Motobomba	26
4.1.6.	Tablero piezométrico	26
4.1.7.	Vertederos	27
4.1.8.	Testigos	29
4.1.8.1.	Testigos de borde.....	29
4.1.8.2.	Testigos de Centro	30
4.1.9.	Tubería de vidrio	30
5.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	32
5.1.	Fuente de Carbono	32
5.2.	Aproximación Operacional.....	33
5.2.1.	Cloro Residual	34
5.2.2.	Control cuantitativo a la formación y el desarrollo de biopelículas.	35
5.3.	Aspectos microbiológicos de las biopelículas	35
5.4.	Análisis cualitativo	36
5.5.	Análisis cuantitativo	36
5.5.1.	Medición de Testigos	36
5.5.2.	Cálculo del espesor de las biopelículas.....	38
5.5.3.	Cálculo de la velocidad de crecimiento de biopelículas	39
5.6.	Cuantificación por Método de Escobillón.....	40
5.7.	Determinación de pérdidas por fricción en las tuberías.....	40
5.8.	Medidas fisicoquímicas.....	42
5.9.	Control Cualitativo a la formación y el desarrollo de biopelículas.	43
5.10.	Comparación con trabajos anteriores.....	43
6.	RESULTADOS	44
6.1.	Análisis cuantitativo	44
6.1.1.	Pruebas físico-químicas.....	44

6.1.2.	Pruebas microbiológicas: Conteo de Unidades Formadoras de Colonias	45
6.1.3.	Testigos de Borde.....	47
6.1.4.	Testigos de Centro	51
6.1.5.	Relación entre el espesor de la subcapa laminar viscosa, el espesor de la biopelícula y la rugosidad relativa	55
6.1.6.	Efectos de la biopelícula en las pérdidas por fricción dentro de las tuberías.....	59
6.1.6.1.	Diagrama de Moody.....	59
6.1.6.2.	Efecto de la disminución de sustrato en el factor de fricción.....	62
6.2.	Análisis cualitativo	66
6.3.	Análisis comparativo con estudios anteriores	69
6.3.1.	Conteo de Unidades formadoras de Colonia	70
6.3.2.	Comparación de la rugosidad absoluta, los espesores de la biopelícula y la subcapa laminar en cada tubería	71
6.3.3.	Comparación de espesores de testigos de centro	74
6.3.4.	Comparación de los efectos de la biopelículas en las perdidas por fricción en los trabajos de Trujillo (2011), Vargas (2012) y Tamayo (2013).....	76
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	79
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	80
9.	ANEXOS	83
9.1.	ANEXO CÁLCULOS HIDRÁULICOS DE LAS TUBERÍAS CON PRESENCIA DE BIOPELÍCULAS	83
9.2.	ANEXO BASE DE DATOS SEMANAL, MEDICIONES:.....	88

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Proceso de formación de biopelículas. Tomada de : http://dspace.usc.es/bitstream/10347/2852/1/9788498874501_content.pdf	9
Ilustración 2 Capa límite. Tomado de: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2008/BUENOS_AIRES/1315/pq2.html	16
Ilustración 3 Flujo turbulento, interacción con pared sólida. Tomado de: http://ocwus.us.es/arquitectura-e-ingenieria/operaciones-basicas/contenidos1/tema3/pagina_11.htm	16
Ilustración 4 Diagrama de Moody tomada de: http://metodosnumericosunalmzl.wikispaces.com	19
Ilustración 5 Vista en planta del modelo experimental	23
Ilustración 6 Vista de perfil del modelo experimental.....	23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ecuación de caudal por vertedero.	28
Tabla 2 Fórmulas espesor de biopelículas según tipo de testigo.	39
Tabla 3 Espesor y velocidad de crecimiento de la biopelícula formada en la tubería con velocidad de 1m/s.	47
Tabla 4 Espesor y velocidad de crecimiento de biopelícula formada en tubería con velocidad de 3 m/s.	48
Tabla 5 Espesor y velocidad de crecimiento de biopelícula formada en la tubería con velocidad de 2 m/s.	49
Tabla 6 Comportamiento de la biopelícula en testigos de centro para la tubería 1 (velocidad de flujo 1 m/s).....	52
Tabla 7 Comportamiento de la biopelícula en testigos de centro para la tubería 2 (velocidad de flujo 3m/s).....	53
Tabla 8 Comportamiento de la biopelícula en testigos de centro de la tubería 3 (velocidad de flujo 2m/s).	54
Tabla 9 Registro fotográfico tuberías de vidrio.	66
Tabla 10 Parámetros relevantes para el cálculo hidráulico.	83
Tabla 11 Cambio de la viscosidad y densidad del agua con la temperatura.	84
Tabla 12 Datos registrados de temperatura por medición.....	84
Tabla 13 Resultados de viscosidad, densidad y viscosidad cinemática para ejemplo.	86

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Cloro residual en el sistema de recirculación.....	45
Gráfica 2 pH residual en el sistema de recirculación.....	45
Gráfica 3 Recuento en placa para análisis de mesófilos.....	46
Gráfica 4 Espesor de biopelículas formadas en el montaje.....	50
Gráfica 5 Velocidad de crecimiento del espesor de la biopelícula en cada tubería.....	51
Gráfica 6 Espesor de biopelículas desarrolladas en los testigos de centro.....	55
Gráfica 7 Relación entre el espesor de la biopelícula, la subcapa laminar viscosa y la rugosidad relativa de la tubería 1.....	56
Gráfica 8 Relación entre el espesor de la biopelícula, la subcapa laminar viscosa y la rugosidad relativa de la tubería 2.....	57
Gráfica 9 Relación entre el espesor de la biopelícula, la subcapa laminar viscosa y la rugosidad relativa de la tubería 3.....	58
Gráfica 10 Relación entre la rugosidad de la tubería y el Número de Reynolds en las tres tuberías.....	58
Gráfica 11 Diagrama de Moody para la tubería con velocidad de 1 m/s.....	60
Gráfica 12 Diagrama de Moody para la tubería con velocidad de 3 m/s.....	61
Gráfica 13 Diagrama de Moody para la tubería con velocidad de 2 m/s.....	62
Gráfica 14 Relación del factor de fricción y el número de Reynolds en los días 475 y 482 en la tubería 1.....	63
Gráfica 15 Relación del factor de fricción y el número de Reynolds en los días 475 y 482 en la tubería 2.....	63
Gráfica 16 Relación del factor de fricción y el número de Reynolds en los días 475 y 482 en la tubería 3.....	64
Gráfica 17 Recuento en placa para análisis de mesófilos.....	70
Gráfica 18 Continuación datos de Trujillo y Vargas del espesor promedio, rugosidad y espesor de la subcapa laminar testigos de centro de la tubería 1.....	71
Gráfica 19 Continuación datos de Trujillo y Vargas del espesor promedio, rugosidad y espesor de la subcapa laminar testigos de centro de la tubería 2.....	72
Gráfica 20 Continuación datos de Trujillo y Vargas del espesor promedio, rugosidad y espesor de la subcapa laminar testigos de centro de la tubería 3.....	73
Gráfica 21 Datos de Trujillo, Vargas y Tamayo de espesor promedio testigos de centro.....	74
Gráfica 22 Datos de Trujillo, Vargas y Tamayo de espesor promedio testigos de borde.....	74
Gráfica 23 Datos de Trujillo, Vargas y Tamayo de velocidad de crecimiento del espesor de la biopelícula en testigos de borde.....	75
Gráfica 24 Diagrama de Moody datos Trujillo, Vargas y Tamayo ($v = 1$ m/s).....	76
Gráfica 25 Diagrama de Moody datos Trujillo, Vargas y Tamayo ($v = 3$ m/s).....	77
Gráfica 26 Diagrama de Moody datos Trujillo, Vargas y Tamayo ($v = 2$ m/s).....	78

1. INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud ha estimado que el 80% de todas las enfermedades que aquejan a todos los países y especialmente a los en desarrollo, son, en su mayoría, causadas por la falta de abastecimiento de agua salubre y de medios adecuados de saneamiento. Lo anterior se fundamenta en que la distribución de agua potable se ha convertido en un problema de salud pública en la actualidad, debido a que las redes representan un ambiente óptimo para el desarrollo de bacterias que pueden tener efectos adversos a la salud.

Los problemas de salud causados por agua potable contaminada con microbios o bacterias, se evidencian con los brotes de las enfermedades que se transmiten a través del agua. Se observa, con esto, la magnitud del daño que tiene este problema, y a pesar de que el proceso de potabilizar el agua haya disminuido mucho esta problemática, la calidad del agua y la operación de las redes, son todavía causales de quejas en los usuarios.

Los problemas de calidad del agua son causados, principalmente, por la proliferación de microorganismos que sobreviven al proceso de potabilización y que tomando como sustrato la materia orgánica que ingresa al medio, logran colonizar y asentarse en las paredes de las tuberías de la red. El desarrollo de los organismos dentro de una asociación de colonias, se conoce como biopelículas, las cuales a su vez son más resistentes a ser erradicadas y serán el objeto de estudio en el presente documento.

Las biopelículas pueden almacenar microorganismos patógenos, incluyendo algunos procedentes de fuentes fecales tales como *Cryptosporidium parvum*, *Campylobacter* sp., rotavirus y otros que son capaces de crecer dentro de los sistemas de distribución de agua, como *Legionella* sp., micobacterias y *Aeromonas* sp. Las biopelículas son esenciales para la supervivencia y el crecimiento de microorganismos higiénicamente relevantes en el agua potable, por lo que el estudio de las mismas es de vital importancia para la protección efectiva del recurso, tratamiento del agua y valoración del riesgo (Gea-Izquierdo Enrique, Loza-Murguía Manuel, 2013).

El potencial de supervivencia de los microorganismos dentro de la biopelícula radica en que los exopolisacáridos insolubles que la componen, escudan a los microorganismos de los desplazamientos y de la penetración de organismos predadores, antibióticos y desinfectantes. El problema para los humanos radica en el desprendimiento o separación de microorganismos de las biopelículas, pues algunos de estos tienen el potencial de producir infecciones, tanto por su ingestión como por aerosolización de los mismos.

Además de los efectos en la salud, los estudios han reportado alteraciones en el diseño operacional de las redes de distribución por la presencia de biopelículas dentro de las que figuran el incremento de las

pérdidas por fricción, reducción de la capacidad hidráulica del sistema, y a largo plazo, se ve afectado el factor de fricción de Darcy-Weisbach (Latorre, 2005). En algunos sistemas como las conducciones de agua caliente sanitaria, la contaminación biológica puede influir de forma específica en el flujo de agua circulante impidiendo p.ej. en el primer caso, la transferencia de calor, aumentando la corrosión y dañando seriamente la instalación (Gea-Izquierdo Enrique, Loza-Murguía Manuel, 2013).

El presente proyecto de grado es un trabajo experimental que permitirá ilustrar la relación de la velocidad de flujo sobre el desarrollo de las biopelículas. Esto será determinado a partir de la frecuencia, calidad y cantidad de nutrientes con los que se alimente el sistema que, para este caso, será pasto Kikuyo que cumplirá el papel de fuente de carbono orgánico biodegradable (COBD) de difícil asimilación. Adicionalmente se realizará la interpretación del comportamiento hidráulico y de la influencia de la rugosidad de la biopelícula en el interior de las tuberías, con el fin de proponer condiciones aptas para el desprendimiento de las asociaciones microbiológicas.

Para recrear las condiciones de una red de distribución de agua potable, se adicionó cloro residual cuyas cantidades varían a lo largo del procedimiento experimental, a fin de determinar los patrones de crecimiento y desprendimiento de la película biológica. Además se realizó la toma de datos en un sistema recirculado, ya que en investigaciones anteriores se ha descrito que el caso más crítico del comportamiento hidráulico ante la presencia de biopelículas, se presenta en esta condición, y el costo operacional se incrementa notoriamente.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Se pretende determinar la influencia de la velocidad de flujo en el comportamiento de las biopelículas a través del tiempo y de su relación con el factor de fricción de Darcy-Weisbach, y la subcapa laminar viscosa, para evaluar las características de desprendimiento ante diferentes velocidades y con el mismo material (PVC).

1.1.2. Objetivos específicos

- Establecer la posible relación entre el espesor de la biopelícula y la velocidad de crecimiento de la biopelícula, ante diferentes velocidades de flujo.
- Comparar la rugosidad absoluta, el espesor de la biopelícula y el espesor de la subcapa laminar viscosa, para tres tuberías de PVC con velocidades diferentes.

- Determinar la influencia de la rugosidad de la biopelícula en factores como las pérdidas por fricción y el número de Reynolds, mediante la implementación del Diagrama de Moody, para diferentes velocidades de flujo.
- Comparar los espesores de la biopelícula de las tuberías en PVC y el diagrama de Moody del presente proyecto, con dos trabajos anteriores que implementaron una fuente de Carbono Orgánico Disuelto Biodegradable (CODB) diferente al pasto y que utilizaron un montaje similar.
- Comparar los resultados del presente Proyecto de Grado con los de Trujillo (2011) y Vargas (2012).
- Registrar el comportamiento de las biopelículas mediante un recuento en placa por el método Escobillón y un historial fotográfico de las tuberías.
- Evaluar el efecto de la velocidad de flujo y de los nutrientes en el desarrollo y desprendimiento de la biopelícula.

2. ANTECEDENTES

El tema de las biopelículas y la influencia de estas en redes de distribución de agua potable, ha sido estudiado ampliamente desde diferentes enfoques. Dentro de los estudios a destacar están:

“Crecimiento bacteriano en las redes de distribución de agua potable: una revisión bibliográfica” (Juliana Knobelsdorf, Rafael Mujeriego, 1997), en donde se realiza una revisión bibliográfica de los métodos que permiten evaluar el crecimiento bacteriano en las redes de abastecimiento. Se describe cada método y sus fundamentos, además del proceso de formación y desarrollo de la biopelícula, el efecto de los desinfectantes y la influencia de los materiales de la tubería sobre el crecimiento microbiano.

El artículo “Influence of hydraulic regimes on bacterial community structure and composition in an experimental drinking water distribution system” (Douterelo I, Sharpe RL, Boxall JB., 2012), presenta los resultados de una investigación con 454 pyrosecuencias de RNA ribosomal para investigar la influencia de los diferentes regímenes de flujo en redes de distribución, sobre la estructura bacteriana de la biopelícula y la calidad del agua potable. Los resultados mostraron que las condiciones hidráulicas influyen la estructura de la comunidad microbiana, pues las bacterias expuestas a flujo variado mostraron, en 28 días, mayor capacidad de producir sustancias poliméricas extracelulares para adherirse a superficie y favorecer la co-agregación, de las bacterias presentes en el agua que se transporta en las tuberías.

Otro estudio que proporcionó información relevante para el presente proyecto fue “Drinking water biofilm assessment of total and culturable bacteria under different operating conditions” (L C Simões, N Azevedo, A Pacheco, C W Keevil, M J Vieira, 2006). En este se monitorearon biopelículas sometidas a diferentes condiciones de sustrato y flujo, y se midieron las Unidades Formadoras de Colonias para determinar los factores que tienen mayor influencia sobre el aumento en la cantidad de biopelícula. El uso de flujo turbulento ($Re= 11000$) en lugar de flujo laminar ($Re= 2000$), y el uso de PVC como material de tubería, fueron las condiciones bajo las cuales más UFC se obtuvieron.

En la Universidad de los Andes se han adelantado y desarrollado investigaciones relacionadas con el efecto hidráulico que tienen las biopelículas en sistemas de distribución de agua. Estas investigaciones relacionan la formación y desarrollo de las biopelículas dentro de las tuberías de la red de distribución de agua potable, con un efecto hidráulico cuantificable. En una de las tesis que trató el tema fue “Efecto hidráulico de las biopelículas en tuberías de agua potable” (Sánchez, 2005), que establece que las pérdidas por fricción y la rugosidad absoluta aumentan con el transcurso del tiempo.

También se han adelantado trabajos que reúnen las metodologías para el control del crecimiento y el desarrollo de las biopelículas como lo fue el trabajo “Deterioro de la calidad del agua por el posible

desprendimiento de las biopelículas en las redes de distribución de agua potable. Estado del arte” Gelves (2005)

En esta revisión bibliográfica se determinó que el suministro de 0.5 mg/l de Cloro, y el incremento en la velocidad hasta un punto en el que se ejerza una fuerza cortante significativa sobre las células fijadas en la biopelícula, son factores importantes en el desprendimiento de la misma.

Los proyectos “Velocidad de desprendimiento de las biopelículas en tuberías de distribución de agua potable” de Luis Fernando Muñoz, 2005, y la tesis de grado de Ángela Donoso “Efecto de los materiales de las tuberías en la generación de biopelículas en redes de distribución de agua potable” del 2009, presentan un nuevo enfoque y punto de análisis de la dinámica de crecimiento de las biopelículas.

El presente trabajo es una continuación del trabajo de grado de Trujillo (2011) “Modelación de biopelículas en redes de distribución de agua potable alimentadas con Carbono Orgánico Disuelto Biodegradable”, quien desarrolló las primeras mediciones en el montaje del proyecto. En sus tesis Trujillo concluyó que las propiedades físicas de las biopelículas como la visco-elasticidad, le confieren a la misma propiedades para deformarse absorbiendo o liberando energía del flujo; los datos que obtuvo mostraron que el aumento en el coeficiente de rugosidad absoluta depende de la velocidad del flujo y de la cantidad de sustrato, y planteó que un aumento en la velocidad del flujo aumenta la velocidad de crecimiento de la biopelícula.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Definición de biopelícula

El término biopelículas se refiere a una organización microbiana y bacteriana que se adhiere a una superficie mediante la secreción de un polímero. Estas comunidades microbianas están compuestas normalmente por múltiples especies que interactúan entre sí y con el ambiente, esto con el fin adaptarse a los distintos medios que colonizan y así asegurar su supervivencia. La integración de las mismas se logra mediante lo que se conoce como una matriz extracelular de sustancias poliméricas que es un ambiente dinámico donde las células microbianas alcanzan una condición estable y constante y se organizan de tal forma que se pueda hacer uso de todos los nutrientes disponibles (Sutherland IW, 2001).

Los componentes principales de esta matriz son células microbianas, polisacáridos, agua y los productos que secretan los organismos presentes. Estos componentes permiten que haya varias comunidades las cuales tienen entre ellas intercambio genético lo que puede afectar en gran medida la integridad y estabilidad de la biopelícula.

Las bacterias se organizan en la biopelícula mediante “la detección de quórum” que es básicamente señalización intracelular que involucra la regulación y expresión de ciertos genes mediante moléculas de señalización que proveen protección y supervivencia. Aunque esta característica no siempre es responsable por la formación de la biopelícula si se ha comprobado que influye el desarrollo de la misma para diferentes especies (Matthew R. Parsek, 2005).

Esta organización representa una estrategia de supervivencia, pues además de ordenarse para aprovechar los productos que se ofrecen entre microorganismos y entre comunidades, cuentan con un sistema de canales que son un medio de comunicación entre el medio externo y las capas más cercanas a la superficie para proveer nutrientes y eliminar desechos metabólicos (Marisol Betancourth, Javier Enrique Boteo, Sandra Patricia Rivera, 2004).

3.1.1. Características de las biopelículas

Las biopelículas son una serie de microorganismos que se agrupan en un exopolímero compuesto de glicocálix en un 75%; este es producido por los mismos microorganismos que resultaran adheridos a la matriz donde forman colonias con diferentes requerimientos metabólicos. Una de las características más importantes de la biopelícula que es la heterogeneidad pues se pueden llegar a formar organizaciones de bacterias, hongos y protozoos, cada una con diferente microambiente pues varían en el PH, la concentración de iones, carbono y nitrógeno, y la tensión por O₂ (Marisol Betancourth, Javier Enrique Boteo, Sandra Patricia Rivera, 2004).

La hidrodinámica es muy importante para que se desarrolle una biopelícula debido a que esta prolifera en una interface líquido-sólido donde la velocidad del flujo que lo atraviesa es responsable del desprendimiento de partes de la misma. Las que componen la biopelícula crecen predominantemente en microcolonias de morfo tipos similares, dentro de la agrupación, que se organizan entremezcladas con canales de agua que contienen menos células bacterianas y cuya matriz está compuesta de un material mucho más permeable que el resto de la agrupación de colonias; esto permite el transporte de nutrientes y desechos.

3.2. Desarrollo de la biopelícula

3.2.1. Formación de la biopelícula

Una vez se da la adhesión inicial a la superficie, ya sea mediante una sola especie de bacterias o una población variada, algunas células se desarrollan y comienzan a excretar un exopolisacárido hasta que logran producir una microcolonia donde las células vecinas, que son morfológicamente similares, quedan embebidas en una matriz de polisacáridos. Con el aumento del espesor se comienzan a presentar limitaciones de nutrientes para las capas más cercanas a la superficie y disminuye considerablemente el crecimiento de la biopelícula. Cuando la misma alcanza un espesor igual al de la subcapa laminar viscosa (capa próxima al contorno donde tiene lugar todo el gradiente de velocidades, ya que la velocidad debe reducirse desde su valor inicial hasta anularse en la pared) se comienzan a presentar desprendimientos. A continuación se especifican claramente las etapas de desarrollo de las biopelículas.

3.2.2. Adherencia a la superficie

La adherencia de los primeros microorganismos a la superficie ocurre en primera medida con la adsorción de una capa de materia orgánica que ocurre en minutos de haber comenzado la exposición de la tubería al agua con COBD, lo que cambia las propiedades de la superficie húmeda. El cambio de propiedades físicas y químicas de la superficie permite que las células microbianas se unan dependiendo del tipo de proteínas de la cubierta y los apéndices motrices de las mismas, contando con la capa orgánica como fuente de nutrientes para sobrevivir (W. G. Characklis, K. E. Cooksey, 1990).

3.2.3. Colonización y desarrollo

Los microorganismos que se encuentran en el agua transportada en las redes de distribución se adhieren a la superficie de la tubería puede ocurrir en dos etapas. La primera ocurre posterior a la adsorción de la materia orgánica sobre el soporte a nivel molecular y ocurre cuando se adhieren las primeras bacterias. Esta etapa ocurre en las zonas de la tubería donde el esfuerzo cortante es mínimo y donde la rugosidad es favorable para que esto ocurra. La duración de este proceso depende de la carga

de la superficie y la naturaliza y concentración del sustrato o la fuente de carbono orgánico (Otero, 2005).

La adherencia de las células bacterianas, dependiendo de la carga eléctrica de las mismas, pueden presentar movimiento browniano, o aleatorio es un medio fluido resultado de atracciones electrostáticas o hidrofóbicas y por fuerzas de Van Der Waals.

La segunda etapa se refiere a la primera colonización que ocurre cuando la bacteria se une irreversiblemente al sustrato y establece una población residente. El crecimiento de la biopelícula implica el crecimiento de la biomasa microbiana que ocurre mediante el crecimiento y la división de los organismos existentes, además de la producción de la matriz extracelular.

La segunda colonización ocurre cuando el crecimiento es tal que se comienzan a formar colonias o agrupaciones de colonias, además de secretar un exopolisacárido que forma unas estructuras similares a los champiñones separadas por canales de agua. También ocurre que se comienzan a adherir nuevas bacterias y otras especies de microorganismos.

A medida que la biopelícula aumenta su espesor y las colonias individuales maduran, ocurre que estas pierden su asociación con la superficie colonizada dando paso a asociaciones entre células de diferentes especies para llevar a cabo procesos fisiológicos complejos como la producción de metano para poder sobrevivir (Hilary M Lappin, Scott Costerton, J William Costerton, 2003).

3.2.4. Comunidad Madura

Cuando la biopelícula se forma como una estructura resistente y consolidada, esta actúa como interfaz biológica donde los químicos presentes en el agua se acumulan. Dentro de estos químicos se encuentran los nutrientes, que permiten el crecimiento y reproducción de los microbios, y los bioacumulados que no son usados por las bacterias y se acumulan dentro de las estructuras poliméricas. Los últimos incluyen iones metálicos y sustancias orgánicas no degradables como hierro, manganeso, aluminio cobre, entre otros.

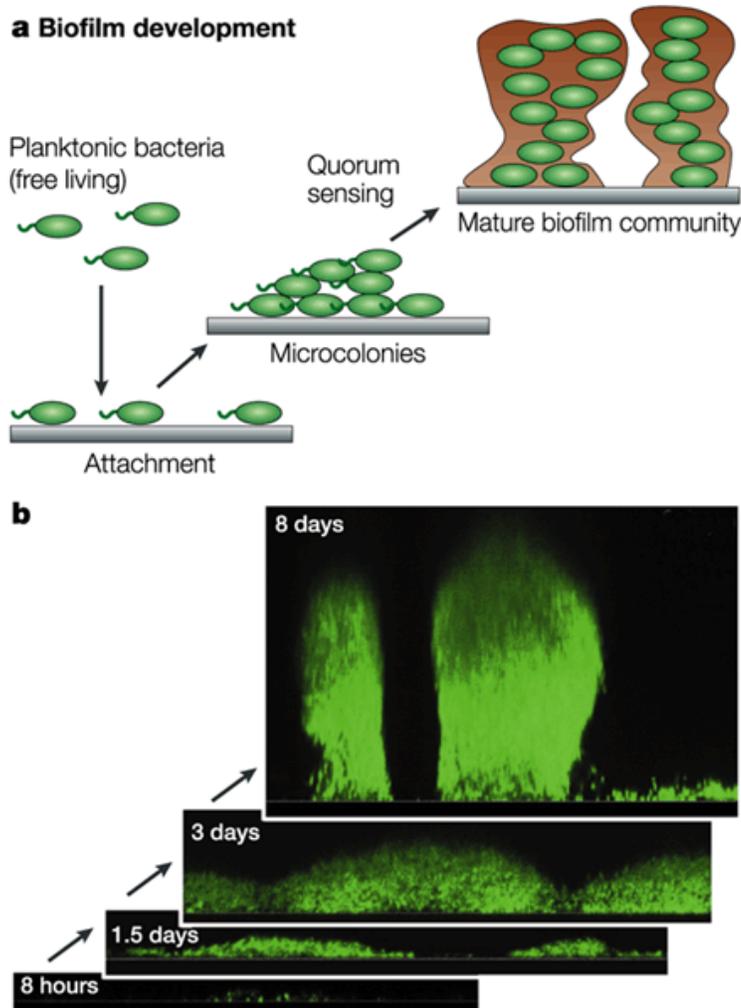
A medida que pasa el tiempo y circula el agua las biopelículas aumentan su espesor y liberan al flujo de agua, células encontradas en la superficie. También hay un desprendimiento causado por el esfuerzo cortante que genera el agua sobre su superficie, el cual a medida que se incrementa, así también aumenta la posibilidad de que se desprendan mayor número de microorganismos. Esto ocurre debido a que el esfuerzo no solo influencia la fuerza de cohesión de la biopelículas si no también la de adhesión de la misma (Stoodley, P. 2001).

En la madurez de la biopelícula aparece una organización tridimensional con huecos y canales interiores por donde circulan el agua y las partículas de tamaño reducido. Esta es una forma de organización muy

compleja pero es reversible ya que las células pueden desprenderse o desagregarse y volver a la vida planctónica (Carmen San José, Belén Orgaz, 2010).

El ciclo de vida de las biopelículas se puede observar en la Ilustración 1 donde se muestran desde la adherencia a la superficie de las células libres hasta el aumento del número de colonias existentes.

Ilustración 1 Proceso de formación de biopelículas. Tomada de : http://dSPACE.usc.es/bitstream/10347/2852/1/9788498874501_content.pdf



Nature Reviews | Molecular Cell Biology

3.3. Las biopelículas en las redes de distribución de agua potable

3.3.1. Crecimiento de microorganismos en las redes de distribución de agua potable

Las biopelículas que se forman en las paredes de las tuberías pueden reducir la capacidad hidráulica de las mismas, acelerar su corrosión y hacer más difícil el mantenimiento de una concentración residual de desinfectante (Juliana Knobelsdorf, Rafael Mujeriego, 1997). El crecimiento bacteriano es propiciado por fuentes de abastecimiento de agua que contienen compuestos orgánicos incluso después de la desinfección final a la que se somete al agua durante su potabilización.

El desarrollo de los microorganismos y/o bacterias depende principalmente del contenido de materia orgánica biodegradable y de la disponibilidad de nutrientes inorgánicos, de la eficiencia del desinfectante residual, del flujo de agua, de la temperatura, del tiempo de residencia del agua en los conductos y depósitos de almacenamiento, del pH del agua y del material de construcción de las tuberías (Juliana Knobelsdorf, Rafael Mujeriego, 1997). La película se compone de exopolisacáridos los cuales están constituidos por glicoproteínas que pueden diferir entre bacterias. Varían desde alginato hasta celulosa (rico en glucosa y galactosa). Los componentes que excretan las bacterias a través de su pared celular funcionan como moléculas cargadas que permiten realizar intercambio de iones para la protección de los microorganismos y la retención de nutrientes (Uzcudun, 2003).

En un estudio realizado en la Universidad de los Andes en el 2004 se planteó para biopelículas cultivadas en condiciones de flujo turbulento (Velocidad $v = 1$ m/s, $Re = 3600$ y $\tau = 5$ N/m²), cuando se aumentaba el esfuerzo hasta un valor de $\tau = 10$ N/m², la biopelícula sufría una disminución en su espesor hasta de un 25%, el módulo cortante encontrado para la biopelícula fue de 27 N/m² (Gelves M. F., 2005). Este estudio muestra un comportamiento de las biopelículas como sólidos elásticos y visco elásticos para bajos valores de esfuerzo y se comportan como fluidos visco elásticos en altos valores del esfuerzo. Según el estudio, mediante este comportamiento se puede explicar las pérdidas de presión en tuberías con presencia de biopelículas, ya que el comportamiento visco elástico de la biopelícula puede ayudar a disipar la energía cinética del fluido en movimiento (Melo L.F, 2008).

3.3.2. Microorganismos que conforman la biopelícula

Muchos estudios se han llevado a cabo con el fin de determinar los microorganismos que pueden encontrarse en las biopelículas de las redes de distribución de agua potable. Dentro de la Universidad de los Andes se llevó a cabo uno de estos estudios "*Investigación sobre los factores que generan la formación, crecimiento y posterior desprendimiento de las biopelículas en las redes matrices de acueducto. Fase I*" en el 2009 por el Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados (CIACUA). Este mostro que se encontraron 335 microorganismos, de los cuales la mayoría eran bacterias

ambientales, seguidas por bacterias patógenas, virus, hongos y levaduras perjudiciales para la salud humana, protozoos y una minoría de cianobacterias (CIACUA, 2009).

Entre los organismos que se detectaron se asocian a las biopelículas se encuentran los hongos y levaduras, bacterias potencialmente patógenas, bacterias ambientales, virus, protozoos y cianobacterias. El problema que generan estos organismos, es el deterioro en la calidad del olor y el sabor en el agua tratada además de la resistencia a desinfectantes razón por la que resguardan muchos organismos que pueden ser perjudiciales para la salud humana.

Los hongos por ejemplo, generan productos y subproductos de su metabolismo que causan que el agua tenga un sabor y olor a pantano o tierra, lo cual afecta directamente al consumidor final. Se observan las especies *Aspergillus* y *Penicillium* altamente riesgosos para la vida humana; entre las levaduras más frecuentes se pueden encontrar las especies *Candidasp.* y *Cryptococcuspp.*

Dentro de los patógenos secundarios, que son aquellos que tienen en la biopelícula un microambiente nutritivo y electroquímico que les permite sobrevivir y protegerse de los desinfectantes, se encuentra *Mycobacteriumsp.*, *Legionellapneumophilia* y *P. aeruginosa*. Las bacterias ambientales más comunes se encuentran la *Nitospira*, *Planctomyces*, *Acidobacterium* y *Pseudomonas*.

Todas las especies antes mencionadas que pueden llegar conformar una biopelícula multi-especie sobreviven mediante un tipo simbiosis llamado socio microbiología (LEWANDOWSKI, 2005). Este tipo de simbiosis consiste en coordinar la comunidad para que las relaciones sinérgicas y antagónicas permitan el crecimiento, reproducción, estabilidad estructural, difusión de sustancias y reserva de energía dentro de la biopelícula (Almeida, 1998).

3.3.3. Factores que afectan o limitan el crecimiento y desarrollo de las biopelículas

3.3.4. Nutrientes

Dentro de las redes de distribución de agua potable se puede encontrar materia orgánica biodegradable que es la fuente de sustento de la gran cantidad de microorganismos heterótrofos que conforman una biopelícula. El desarrollo de estos en los sistemas de abastecimiento ocurre a medida que obtienen energía y carbono para su crecimiento y reproducción a partir de la materia orgánica biodegradable (MOB). La energía y el carbono utilizados por los heterótrofos la aportan la fracción que puede ser metabolizada y corresponde al carbono orgánico disuelto biodegradable (CODB) en el agua de origen.

Los microorganismos heterótrofos usan el oxígeno como aceptor final de electrones; su metabolismo consume un 50% del carbono absorbido para satisfacer las necesidades de la célula y lo transforma en CO₂, mientras que el 50% restante se usa para la generación de biomasa.

En el agua cruda se puede encontrar una gran variedad de nutrientes los cuales pueden presentarse de manera natural o pueden ser adicionados mediante el contacto del agua con ciertos materiales. Dentro de los nutrientes más importantes disponibles se encuentra el fósforo, el nitrógeno, carbón y algunos metales. Con la disminución de la disponibilidad de nutrientes, decrece el potencial de crecimiento y formación de las biopelículas; por esto la reducción de nutrientes esenciales es una solución al problema.

Dentro de los nutrientes más importantes para el desarrollo de la biopelícula se encuentran:

- **Carbón:** El carbono orgánico es usado por los microorganismos como fuente de energía y proviene de la vegetación viva o muerta que ingresa a la red de distribución. Normalmente estos contienen compuestos húmicos, fúlvicos, ácidos carboxílicos, proteínas y carbohidratos poliméricos (Gelves M. F., 2005). Las principales fuentes de carbono orgánico que se pueden encontrar en las redes son los solventes de la tubería, fibra de vidrio- plástico reforzado, lubricantes de válvulas y bombas y partículas de aire.
- **Nitrógeno:** En algunas situaciones al agua se le adiciona amonio para que se formen cloroaminas. Este es un donador de electrones lo que puede causar la proliferación de bacterias oxidantes de amonio y una disminución del cloro residual (Vanegas, 2010). Las fuentes de nitrógeno son los ácidos húmicos y fúlvicos, los nitritos y nitratos del agua.
- **Fósforo:** El fósforo en forma de fosfato se ha mostrado ser escaso en ciertos tipos de agua y en muchas ocasiones no está disponible para ser metabolizado por las bacterias. Se ha establecido en estudios que la limitación de este en el agua no tiene influencia en el desarrollo de la biopelícula, pero nuevos estudios dejan ver que no se tiene la certeza de esto (P. CHANDY, M. L. ANGLES, 2001).
- **Iones metálicos y sales:** Algunos elementos esenciales, por ejemplo cinc, cobre, cobalto, hierro, molibdeno, son necesarios para la actividad de enzimas específicas. Por ejemplo el óxido de hierro estimula el crecimiento de bacterias coliformes (Gelves M. F., 2005).

Cuando las biopelículas se ven sometidas a un ambiente de estrés usan medidas adaptativas para asegurar su supervivencia. Una de estas medidas es que los microorganismos secundarios usan como sustrato de los desechos de colonizadores primarios, y estos a su vez cuando forman nuevas colonias alimentarán a los microorganismos incorporados; es por esta razón, principalmente, que la escasez de nutrientes no elimina la presencia de biopelículas. Otra de las adaptaciones más importantes es la asociación para metabolizar nutrientes disponibles en el medio por medio de enzimas.

3.3.5. Otros factores limitantes del desarrollo de la biopelícula

Como se mencionó antes hay varios factores que limitan o determinan el desarrollo de las biopelículas dentro de las redes de distribución de agua potable. Además de los nutrientes presentes en la misma, las siguientes variables son las más representativas:

- *Rugosidad*: La importancia de la misma radica en que a mayor área superficial, mayor posibilidad de que se alberguen microorganismos y sustancias que favorezcan el crecimiento de los mismos dentro de la biopelícula. Esto se evidencia en que, generalmente, las superficies lisas retrasan la adherencia de bacterias pioneras, es decir que la tasa inicial a la que se comienza a cubrir la pared de la tubería de microorganismos es menor que en superficies rugosas, aunque con el tiempo es inevitable la formación de la biopelícula. Dentro de este factor se debe tocar el tema de la edad de la tubería pues a causa de la edad avanzada de la misma, esta puede presentar incrustaciones o zonas donde la biopelícula pueda protegerse del esfuerzo cortante ejercido por el flujo o del desinfectante usado,
- *Tiempo de retención del agua dentro de las tuberías*: A medida que sea más largo el tiempo en que un volumen de agua se encuentre dentro de la tubería, se favorecerá la formación de la biopelícula debido a que las condiciones dentro de la misma son estables y permiten el desarrollo y sostenimiento de los microorganismos (Bernal, 2009).
- *Temperatura del agua*: Con el aumento de la temperatura dentro del sistema de distribución se esperaría un aumento en el crecimiento de las biopelículas. Este es uno de los factores más influyentes pues inhibe el efecto de los desinfectantes y aumenta la posibilidad de corrosión.
- *Concentración del desinfectante residual*: Entre mayor sea la concentración del desinfectante, existe una mayor posibilidad de que este entre en contacto con los microorganismos y los ataque inhibiendo su crecimiento.
- *Condiciones hidráulicas*: La teoría de la capa límite establece que la velocidad del agua disminuye hasta 0 cuando esta fluye lentamente en las cercanías de la pared de la tubería. La distancia entre la pared y el punto donde ocurre este fenómeno donde la velocidad no obedece el orden de magnitud del caudal que circula se le conoce como subcapa laminar; el espesor de la misma es el máximo espesor que pueden alcanzar las biopelículas, influenciadas por la velocidad y los nutrientes presentes. Cuando la biopelícula supera el espesor máximo se da el fenómeno de desprendimiento que se aumenta con velocidades altas, que a su vez pueden aumentar el contacto de la biopelícula con los desinfectantes inhibiendo su desarrollo pero nunca evitando que se formen (Bernal, 2009).

- *Características iniciales del agua potabilizada:* Las características físicas, químicas y microbiológicas del agua pueden ser un factor primordial en el desarrollo y formación de la biopelícula. Si el agua potabilizada pasó por un tratamiento de desinfección y filtración la cantidad de microorganismos que entran a la red puede ser menor; lo mismo ocurre con las aguas subterráneas, en las cuales se esperaría menor presencia de microorganismos en comparación con las aguas superficiales (Bernal, 2009).

3.4. Condiciones hidráulicas del flujo de agua

Los regímenes hidráulicos que se presenten dentro del sistema de distribución de agua, es uno de los factores con mayor influencia en la determinación de niveles de materia orgánica y contacto de los microorganismos con el desinfectante residual como se mencionó antes. Además, la velocidad de flujo es responsable del esfuerzo cortante que genera el desprendimiento de las biopelículas dentro de las tuberías, del nivel de nutrientes y desinfectantes que están en contacto con la misma. Esta y otras variables permiten abordar el estudio del comportamiento del agua dentro de los sistemas de distribución mediante las ecuaciones básicas de la hidráulica de tuberías que permiten entender las pérdidas de energía descritas en los experimentos de Reynolds, la ecuación físicamente basada de Darcy-Weisbach y la ecuación del factor de fricción de Colebrook-White (Saldarriaga, 2007).

A continuación se explican las variables y aspectos teóricos relevantes en el estudio de la formación de biopelículas dentro de las tuberías de un sistema de distribución de agua potable.

Número de Reynolds: Este es un número adimensional que depende del diámetro de la tubería, de la velocidad del flujo de agua y de la viscosidad cinemática. Este se describe según la Ecuación 1.

$$Re = \frac{d * v}{\nu}$$

Ecuación 1. Número de Reynolds. Fuente: (Saldarriaga, 2007).

donde:

- Re: Número de Reynolds
- d: Diámetro de la tubería
- v: Velocidad
- ν : Viscosidad cinemática (Saldarriaga, 2007).

Si este número es menor a 2000, las fuerzas viscosas son las que predominan y el flujo es laminar. El número de Reynolds entre 2000 y 5000, implica un régimen de comportamiento transicional y para valores superiores a 5000 las fuerzas viscosas no tienen mayor influencia, predominando el flujo turbulento.

Los flujos pueden pertenecer a las categorías antes mencionadas que se explicarán en detalle a continuación:

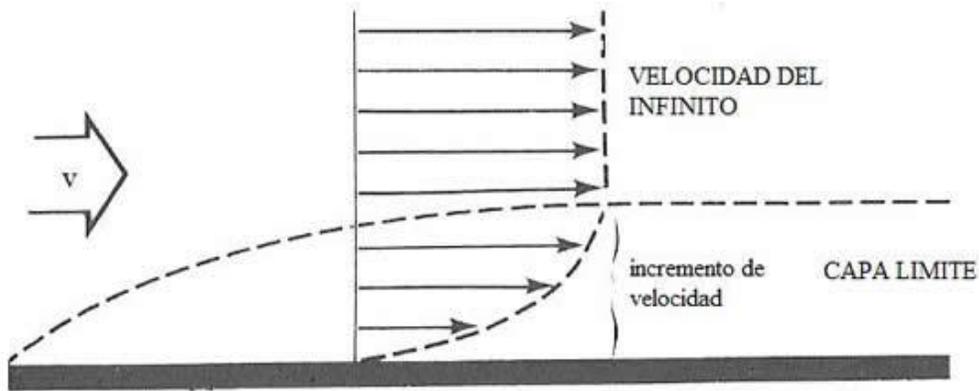
Flujo Laminar: Se refiere al flujo en el cuál el agua se mueve en capas ya que el gradiente de velocidad es bajo y la fuerza inercial es mayor que la de fricción. Las partículas siguen trayectorias definidas sin que exista intercambio de fracciones de fluido entre ellas (Saldarriaga, 2007).

Flujo en Transición: El caudal que se define depende de las condiciones del experimento para el cual este fenómeno se presenta, si la turbulencia remanente en el tanque de entrada es baja, la transición demora en presentarse. Si el grado de aquietamiento inicial es alto, la transición puede presentarse rápidamente. Lo anterior se conserva para cualquier condición de caudal (Saldarriaga 2007).

Flujo turbulento: Con el aumento del gradiente de velocidad se incrementa la fricción entre partículas vecinas al fluido, las cuales adquieren una energía de rotación apreciable por lo que el vector de velocidad de cada una no está bien definido causando que las partículas choquen entre sí y cambian de rumbo en forma errática. Comúnmente se habla de velocidad promedio para este tipo de flujo, debido a que no es permanente (Saldarriaga, 2007).

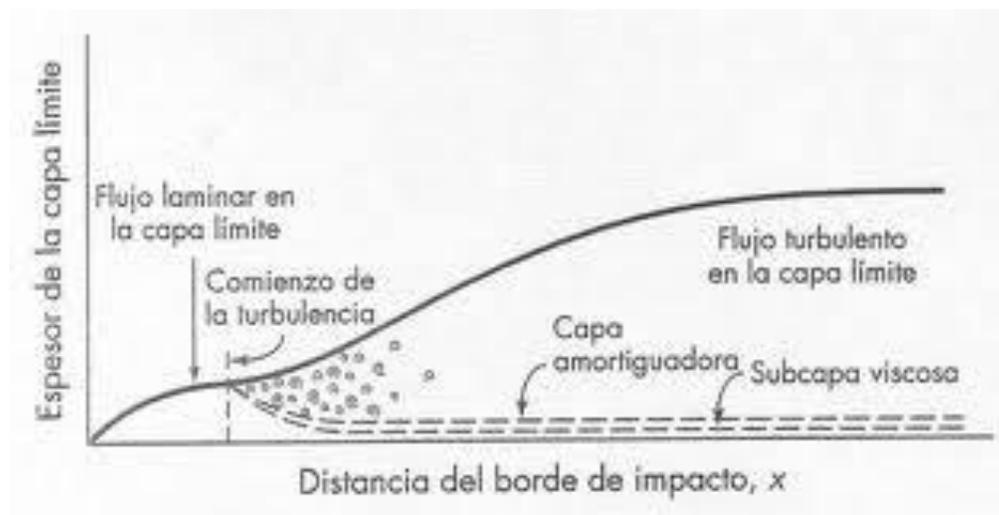
Según Ludwig Prandtl cuando un fluido que está en movimiento se encuentra con una pared sólida se genera un esfuerzo cortante causado por la viscosidad del fluido. La zona de flujo que se ve afectada por este esfuerzo se conoce como capa límite ya sea turbulenta o laminar. En la siguiente figura se muestra como es la distribución de velocidades disminuyendo a 0 en la superficie sólida.

Ilustración 2 Capa límite. Tomado de: http://www.oni.esuelas.edu.ar/2008/BUENOS_AIRES/1315/pq2.html



Cuando el flujo en circulación es turbulento, se genera una capa conocida como subcapa laminar viscosa, ya que en ella priman las fuerzas viscosas sobre las inerciales. El espesor de esta capa es menor al de la capa límite, pues corresponde a una zona dentro de la última.

Ilustración 3 Flujo turbulento, interacción con pared sólida. Tomado de: http://ocwus.us.es/arquitectura-e-ingenieria/operaciones-basicas/contenidos1/tema3/pagina_11.htm



La fuerza de presión causada por el esfuerzo cortante explica las pérdidas por fricción en tuberías mediante la siguiente ecuación:

$$\tau_o = \frac{d}{4} * \rho * g * \frac{H_f}{l}$$

Ecuación 2. Esfuerzo Cortante de Prandtl (Saldarriaga, 2007).

donde:

- τ_o = el esfuerzo cortante
- D = el diámetro de la tubería
- ρ = la densidad del fluido
- g = la gravedad
- H_f = es la pérdida de presión piezométrica
- L = es la longitud en la que se produce la pérdida.

$$\delta' = \frac{11.6\nu}{v^*}$$

Ecuación 3. Espesor subcapa laminar viscosa. Fuente: (Saldarriaga, 2007).

Donde:

- v^* = es la velocidad de corte
- ν = es la viscosidad cinemática.

El espesor de la subcapa laminar viscosa en relación con la rugosidad, diferencia a los flujos hidráulicamente lisos de los rugosos; cuando $ks \leq 0,305 \delta'$ el flujo es turbulento hidráulicamente liso, cuando $0,305 \delta' < ks \leq 6,1\delta'$ el flujo es turbulento transicional, y si por el contrario $ks > 6,1\delta'$ el flujo es turbulento hidráulicamente rugoso (Saldarriaga, 2007).

La ecuación de Darcy y Weisbach determina lo que se conoce como pérdidas por fricción, que son las únicas pérdidas que se presentan en las tuberías simples. Esto ocurre como consecuencia de la fricción entre las paredes de las tuberías y el flujo de agua que corre a través de ellas.

$$H_f = f * \frac{l}{d} * \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 4. Pérdidas por fricción. Fuente: (Saldarriaga, 2007).

donde :

- f = el factor por fricción
- l = la longitud de la tubería
- ϑ = la velocidad del flujo.

La ecuación que describe el factor de fricción es la de Colebrook-White de 1939; se aplica a flujo turbulento y se muestra en la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log_{10}\left(\frac{ks}{3.7d} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right)$$

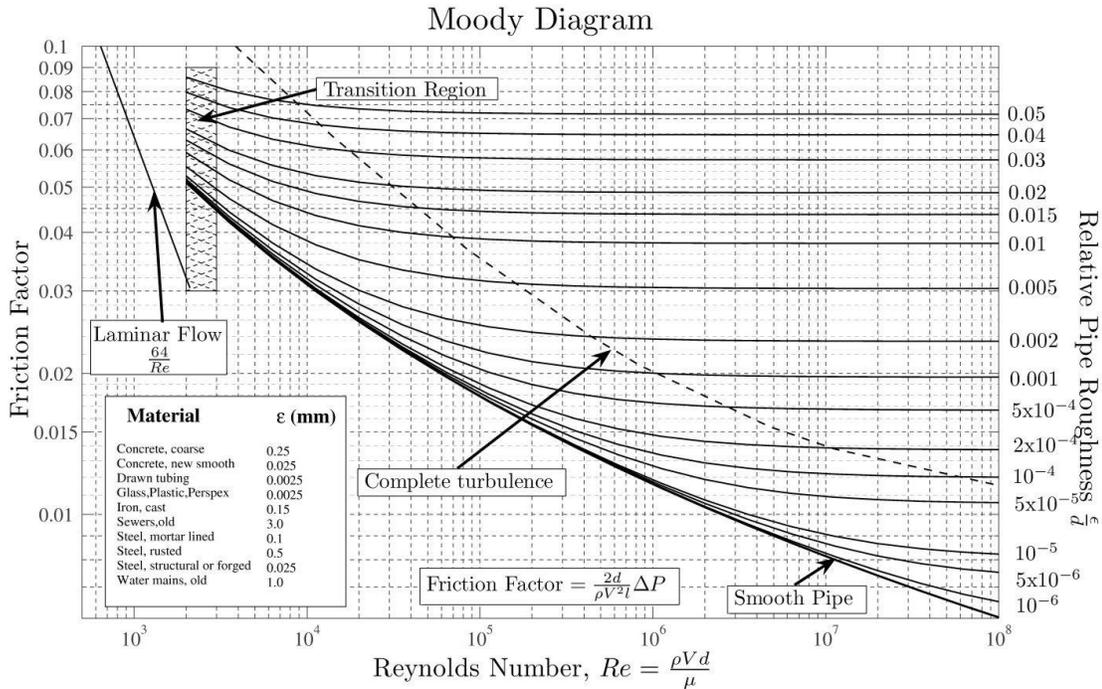
Ecuación 5. Ecuación de Colebrook-White (Saldarriaga, 2007).

donde:

- ks/d = la rugosidad relativa de la tubería
- Re = el número de Reynolds.

La naturaleza del factor de fricción fue estudiada por el ingeniero norteamericano Lewis F. Moody hacia 1940, quien desarrolló un modelo experimental basado en los resultados de Nikuradse y C.F. Colebrook, investigando las pérdidas por fricción en tuberías con rugosidades no artificiales (Saldarriaga, 2007). La representación gráfica, conocida como diagrama de Moody, está en escala doblemente logarítmica donde se plasma el factor de fricción en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería para flujo laminar ($Re < 2000$) hasta flujo turbulento hidráulicamente rugoso.

Ilustración 4 Diagrama de Moody tomada de: <http://metodosnumericosunalmzl.wikispaces.com>



3.5. Parámetros de control de crecimiento de las biopelículas

La biopelículas son capaces de aumentar su densidad aún bajo presión, presentando alta resistencia al esfuerzo cortante, sin embargo dicha resistencia se puede disminuir al revertir el sentido del flujo de agua, debido a que la biopelícula se estructura de manera que resista el flujo en un solo sentido (CIACUA, 2009). Ocurre que para regímenes de flujo laminar o de poca turbulencia, la capa límite hidrodinámica puede afectar las interacciones entre las células y el sustrato, la biopelícula se comporta como un sólido visco-elástico; al aumentar el esfuerzo cortante el comportamiento pasa a ser un fluido visco-elástico y se deforma permanentemente. La biopelícula sufre deformaciones (formación de cuellos), hasta llegar a acumular 20% de deformaciones antes de llegar a la falla (Stoodley P, Wilson S, Cargo R, Piscitelli C, Rupp CJ, 2001).

Además métodos como la desinfección causa que la estructura general de la biopelícula cambie; la apariencia física consiste en celdas que tienden a mantenerse en grupos ya que los organismos individuales desaparecen (Sanchez, 2005).

Las biopelículas, a pesar de su resistencia, se pueden controlar con tratamiento físico, químico y mecánicos. En este caso se estudia el cloro que es usado ampliamente en agua como agente oxidante para controlar el olor, sabor y color en los tratamientos de agua municipales, y como desinfectante de agua residuales y para tratamiento de agua potable.

El cloro que se utiliza en el tratamiento de agua y desechos, no es solamente la especie elemental de cloro Cl_2 , sino que se conforma de especies como el ácido hipocloroso HOCl, ion hipoclorito OCl^- y otras especies en las que se incluyen sales de HOCl ($NaOCl$ y $Ca(OCl)_2$).

La capacidad de desinfección del HOCl se considera superior a la de OCl^- , por lo que resulta de gran importancia controlar el pH pues la predominancia de las especies varía según este; a pH menores a 7.5, el HOCl predomina, mientras que con pH mayores a 7.5, la especie predominante es el OCl^- .

La penetración del cloro en la biopelícula se dificulta por ser esta un lecho viscoso que actúa como barrera protectora de los microorganismos presentes dentro de la misma. La eficiencia de la desinfección depende principalmente de la demanda de cloro del agua y de la biopelícula, del espesor de la misma, de la concentración de cloro en la interface sólido-agua y de la dosis de cloro aplicada.

Otro mecanismo de control para la formación de biopelículas es evitar que los materiales de las tuberías lleguen a una edad muy avanzada, no solo porque se genera un decaimiento del desinfectante residual, sino porque se pueden generar sitios de estancamiento a lo largo del sistema de distribución gracias a la corrosión (Murcia, 2009).

Muñoz en el 2001, en la Universidad de los Andes, resalta otro método de control que es el del “flushing” que consiste en el lavado convencional, donde se abren las válvulas de un sector sin un orden específico, y el lavado unidireccional donde se sigue un orden de rutas. Lo que logra este método es desprender y evitar el desarrollo y adherencia de las biopelículas mediante la fricción entre el agua y la pared de la tubería (Muñoz, 2010).

En general se han planteado como estrategias de control a la contaminación bacteriológicas y desarrollo de las biopelículas, la implementación de un programa de mantenimientos a los tanques y tuberías, controlando la corrosión, cambios y evaluación en el régimen de la dosis de desinfectante, y control de los niveles de nutrientes.

3.6. Desprendimiento de la biopelícula

Las biopelículas liberan continua y naturalmente células de su superficie, pero también se presenta un desprendimiento, no natural, causado por el esfuerzo cortante que influencia no sólo la fuerza de cohesión de la misma, sino la fuerza de adhesión.

El desprendimiento se puede clasificar en cuatro tipos diferentes. El primero es el de erosión que consiste en el desprendimiento de pequeñas partes de la biopelícula dentro de la masa de agua. El

segundo es el barrido en el cual se desprenden grandes porciones de la base de la película. El tercero es la abrasión que se produce por la colisión de partículas. Por último la depredación que solo ocurre cuando un macroinvertebrado consume la biopelícula.

La tasa de erosión de las biopelículas está determinada por el espesor de la misma y el esfuerzo cortante que actúa en la interface sólido-líquido; además cuando se presentan desprendimientos en masa pequeños, los efectos de cortante sobre la biopelícula, al igual que la hidrodinámica del sistema cambia, haciendo que la biopelícula se torna más heterogénea y pueden causar más desprendimientos. En contraste para desprendimientos rápidos y masivos la tasa depende del decaimiento de oxígeno o nutrientes dentro de la estructura de la biopelícula (Gelves M. F., 2005).

Se ha encontrado que el desinfectante residual no tiene tantos efectos en los desprendimientos en masa como en los desprendimientos de células individuales.

Algunas células desprendidas pueden actuar como pioneras en busca de un nuevo hogar a colonizar cuando se presenta escasez de nutrientes y mucha competencia dentro de la biopelícula.

4. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El objetivo de este proyecto fue el de recrear las características físicas presentes en las redes de distribución de agua potable para poder evaluar el efecto de las biopelículas sobre estas. Para esto se utilizó el montaje experimental usado en investigaciones anteriores por Ángela Donoso en su tesis *“Efecto de los materiales de las tuberías en la generación de biopelícula en redes de distribución de agua potable”*. El montaje fue realizado en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de los Andes.

Posteriormente este montaje fue modificado por María Ximena Trujillo en su tesis *“Modelación física de biopelículas en redes de distribución de agua potable alimentadas con carbono orgánico disuelto”*, y después por Tatiana Vargas quien continuó con la toma de datos en su tesis *“Biopelículas alimentadas con CODB mediante pastos: Dinámica de crecimiento y desprendimiento en sistemas de distribución de agua potable.”* A fin de ampliar los resultados encontrados por Trujillo y Vargas; se pretende abordar el mismo modelo que utilizaron en sus proyectos de grado.

4.1. Planta física

El modelo modificado usado por Vargas se compone de un tanque elevado que se conecta a tres tuberías en PVC de 4 pulgadas de diámetro. Las tuberías 1 y 3 están conectadas en sus extremos a unas tuberías de vidrio de 2 pulgadas de diámetro nominal, el cual se conecta lateralmente mediante dos Tees con reducción de diámetro.

Las tres tuberías tienen sus respectivas válvulas que regulan el caudal que pasa por las mismas; estas llegan a tres vertederos los cuales dirigen el flujo de agua a un tanque de almacenamiento conectados a una tubería de bombeo en PVC de 4 pulgadas de diámetro que llega al tanque elevado; de este último sale una tubería de rebose de 6 pulgadas de diámetro nominal que llega hasta el tanque de almacenamiento.

La información descrita anteriormente se puede detallar en la vista en planta del modelo en la Ilustración 5 y en la vista de perfil del modelo de recirculación en la Ilustración 6.

Ilustración 5 Vista en planta del modelo experimental

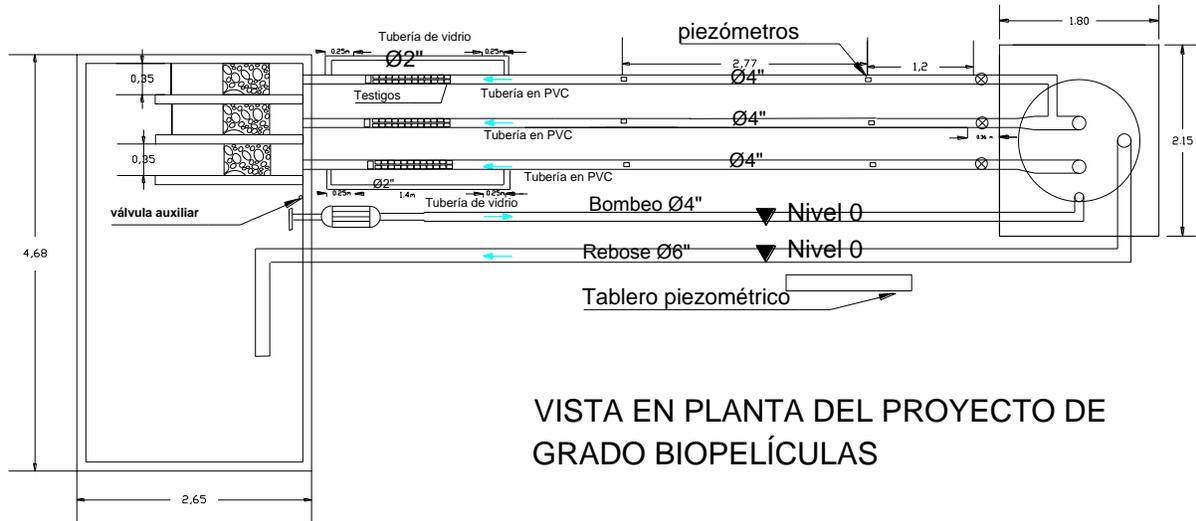
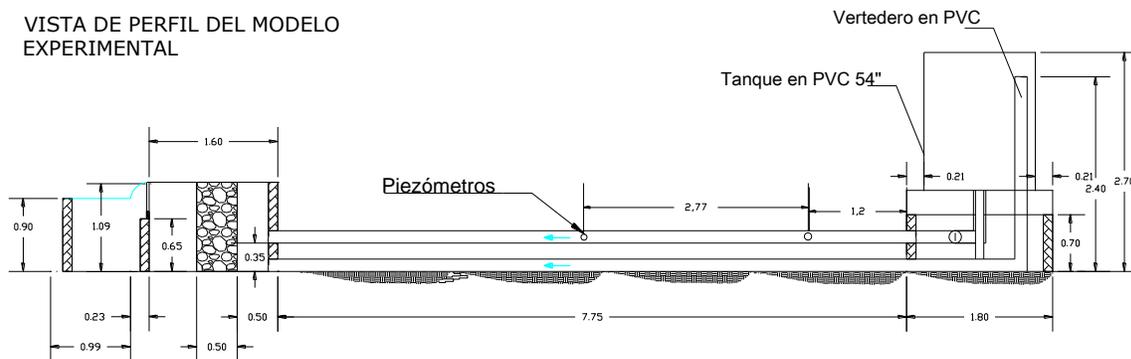


Ilustración 6 Vista de perfil del modelo experimental.

VISTA DE PERFIL DEL MODELO EXPERIMENTAL



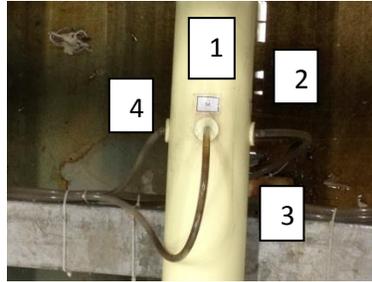
4.1.1. Tuberías de PVC

Según el modelo planteado por Vargas se instalaron los últimos 4 piezómetros para cada tubería a los 3.97 metros desde el tanque elevado. Este punto de medición fue elegido para registrar las pérdidas por fricción aguas abajo. Para registrar las pérdidas por fricción aguas arriba se ubicaron los 4 piezómetros a 1.2 metros lineales del codo conector entre la tubería y el tanque elevado. Desde el tanque elevado hasta los piezómetros de medición agua abajo se tiene una longitud libre de accesorios de 3.97m.

Estas medidas fueron establecidas a fin de cumplir con la distancia mínima para que el flujo se estabilice; esta es de 10 veces el diámetro de la tubería que se utiliza.

La disposición espacial de los cuatro piezómetros dentro de la tubería en cada uno de los puntos mencionados anteriormente del montaje, se muestra en la Figura 1.

Figura 1 Disposición espacial de los piezómetros en la tubería de PVC.



Los piezómetros están dispuestos de tal manera que el primero quede en la parte superior del tubo, el segundo en orden ascendente al lado derecho, el tercero en la parte inferior de la tubería y el cuarto al lado izquierdo. Este mismo sistema de numeración se utiliza aguas abajo pero estos se enumeran del 5 al 8; En la tubería número 2 se tienen los piezómetros del número 9 al número 16, y en la tubería número 3 se tienen los piezómetros del número 17 al número 24.

Figura 2 Tuberías de PVC en el montaje.



4.1.2. Válvulas de control

Se encargan de influir en el paso de los fluidos; estas se van abriendo o cerrando dependiendo de las necesidades del flujo con el fin de establecer un caudal para recirculación y variarlo para la toma de medidas de pérdidas por fricción. Se va a continuar con lo que Tatiana Vargas implementó en su tesis

donde el caudal que se fluctúa debe limitarse a un flujo turbulento, con números de Reynolds entre 20000 y 200000 para garantizar una ubicación deseable en el diagrama de Moody.

Las válvulas en el modelo se encuentran a 0.18 metros del codo que conecta al tanque elevado con la tubería de PVC. Estas se abren o se cierran según el caudal que se desee hacer pasar por las tuberías. Cada tubería tiene un caudal diferente en recirculación normal; en la identificada con el número 1 y en la número 3, se dispuso una apertura de 5 vueltas y 8 vueltas, es decir están a un 16% y 27% abierta respectivamente, y la identificada con el número 2 se encuentra abierta 30 vueltas, es decir se encuentra a un 100% abierta.

La apertura de las dos primeras válvulas es la misma del montaje de Vargas pero se modificó la tercera que en vez de tener 6 vueltas, condición que se mantuvo hasta el 15 de Junio de 2012; se comenzó a recircular el agua con 9 vueltas a partir del 29 de Enero de 2013.

4.1.3. Tanque elevado

Este cumple con la función de caracterizar y establecer una altura piezométrica deseada para obtener los caudales necesarios para la toma de datos de alturas piezométricas y para la recirculación diaria del sistema. En el tanque, que se puede observar en la Figura 3, se dispone un costal de pasto Kikuyo sostenido por una cabuya atada al techo, como fuente de carbono como se puede observar en la Figura 4.

Figura 3 Tanque elevado del montaje.



4.1.4. Sistema de recirculación

Desde el tanque de almacenamiento se dispuso una bocatoma para que el agua sea bombeada hasta el tanque elevado como se muestra en la Figura 4; a continuación se explica el principal componente del sistema de recirculación.

Figura 4 Bocatoma en el tanque elevado.



4.1.5. Motobomba

Esta se encarga de transformar la energía mecánica en energía cinética, modificando la dirección del flujo para recircular el agua en el sistema. El equipo instalado en el sistema fue el mismo utilizado para la tesis de María Ximena Trujillo y Vargas, a continuación se muestra en la Figura 5.

Figura 5 Bomba del sistema de recirculación.



4.1.6. Tablero piezométrico

Se ubicó el tablero al lado de la tubería 1 a una distancia que permitiera conectar los piezómetros a fin de determinar las pérdidas por fricción causadas por la biopelícula. Las mangueras de este montaje fueron reemplazadas debido a que las usadas por Tatiana Vargas estaban muy sucias y no permitían realizar las medidas con exactitud.

Se realizaron medidas una vez por semana, a fin de realizar comparaciones con trabajos anteriores. Se efectuaron 10 pruebas en cada medición para cada tubería variando el caudal (Trujillo, 2011; Hernández, 2010; Donoso, 2009). El dispositivo se puede observar en la Figura 6.

Figura 6 Tablero piezométrico para la toma de pérdidas por fricción.



4.1.7. Vertederos

En el sistema hay instalados tres vertederos triangulares pues son más precisos y son utilizados, intensiva y satisfactoriamente, en la medición del caudal de pequeños cursos de agua y conductos libres. Adicionalmente son usados para garantizar el perfecto funcionamiento mediante un tanque para el quiebre de la presión. (Castilla, 2012) Para medir las alturas de la lámina de agua antes y después de prender la bomba se usó un limnómetro mecánico como se observa en la Figura7.

Figura7 Vertederos con limnómetro.



Ya que el modelo utilizado fue el mismo realizado por María Ximena Trujillo y por Tatiana Vargas, se usan las curvas de calibración de vertederos planteadas por Trujillo que son aplicables a las condiciones

utilizadas en el presente proyecto de grado. Los resultados determinados con las curvas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 Ecuación de caudal por vertedero.

VERTEDERO	H ₀ (cm)	ECUACIÓN
1	10,78	$Q(L/s) = 0,0086(H_L - H_0)^{2,46}$
2	10,61	$Q(L/s) = 0,0047(H_L - H_0)^{2,65}$
3	10,07	$Q(L/s) = 0,01(H_L - H_0)^{2,58}$

donde la variable H₀ se refiere a la altura inicial del vertedero cuando la bomba se encuentra apagada. Este dato varía debido a que el nivel del agua no es constante pues influyen las fugas que se puedan presentar y la temperatura fluctuante influye si ocurren fenómenos de evaporación. Es por esto que el valor de H₀ no es una constante y debe medirse en cada fecha de donde se midan las alturas piezométricas, para determinar la velocidad del flujo en cada ocasión.

Figura8 Vertederos triangulares.



4.1.8. Testigos

Son secciones de la tubería que son extraídas semanalmente. Estas permanecen en contacto con el agua por el diámetro interno, mediante correas mientras por el externo se adhieren a una tapa y se sujetan a la tubería con una abrazadera por cuestiones de seguridad. Basado en la metodología de (Trujillo, 2011) se conservó la ubicación de los testigos extraíbles aguas abajo y arriba de las tuberías, como se ilustra en la Figura 9.

Figura 9 Testigos extraíbles aguas abajo de las tuberías.



4.1.8.1. Testigos de borde

Es el testigo que se encuentra aguas abajo de cada tubería y que tiene una mayor área. Este se encuentra de manera individual y sus dimensiones comprenden 4 centímetros de ancho y 10 centímetros de largo (Castilla, 2012), como se puede apreciar en la Figura 10.

Figura10 Testigos de borde y de centro.



4.1.8.2. Testigos de Centro

Son a los testigos con un área menor que se encuentran ubicados en parejas en cada tubería; tienen 4 centímetros de ancho y 7 centímetros de largo y están espaciados entre sí por 1 centímetro tanto transversal como longitudinalmente. En cada una de las tuberías se instalaron 24 testigos los cuales se pueden observar en la Figura 9.

4.1.9. Tubería de vidrio

Estas tuberías se encuentran localizados aguas abajo conectadas a las tuberías en PVC por los extremos. La unión de las dos tuberías es por medio de dos Tees con codos de 2 pulgadas que permiten la reducción de 4 a 2 pulgadas el diámetro de circulación del flujo. Los codos están unidos por un niple a una tubería de vidrio de 1.34 metros de longitud, como se observa en la Figura 11.

Figura 11 Conexión de los tubos de vidrio a la tubería de PVC.



Las tuberías de vidrio cumplen con la función de permitir, mediante un registro fotográfico, caracterizar cualitativamente el crecimiento y el espesor de las biopelículas. Esto, sin embargo, no implica necesariamente que represente una caracterización del crecimiento de las biopelículas en las tuberías de PVC, debido a que se prevén cambios de la dirección del flujo y la presencia de reducciones y uniones, generan cambios en las condiciones hidráulicas. La disposición de las tuberías y las uniones se muestra en la Figura 12.

Figura 12 Tuberías de PVC y de vidrio en el montaje.



5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La metodología usada, en el presente proyecto de grado, para obtener las mediciones deseadas fue la establecida por María Ximena Trujillo en el 2011 y utilizada posteriormente por Tatiana Vargas en el 2012.

5.1. Fuente de Carbono

Para impedir que se incorporasen al agua materiales exógenos provenientes del ambiente se usó como fuente de carbono el pasto Kikuyo o Pennisetum Clandestinum que es encontrado en regiones ecuatoriales como Colombia y por ende tiene una alta probabilidad de ingresar a las tuberías de la red. Costales de este pasto fueron donados por el Departamento de Planta Física de la Universidad de los Andes.

Según lo planteado por Vargas (2012) , Trujillo (2011) , Hernández y Donoso (2009) una aproximación a la realidad se puede presentar al colocar un costal con orificios lleno de Pennisetum Clandestinum en el tanque elevado y otro en el tanque de almacenamiento del modelo (Vargas, 2012, Trujillo, 2011; Hernández, 2010; Donoso, 2009); para dichos proyectos el pasto se suministró cada 15 y 7 días, pero en el presente se cambiaran los costales cada 8 días principalmente para suplir la demanda de carbono. También se cambia el pasto ya que la biopelícula creció bajo estas condiciones durante los 14 meses aproximadamente que habían transcurrido desde el comienzo del proyecto hasta el inicio del 2013. Adicionalmente se procura evitar daños y desprendimientos de costal y que no hayan taponamientos de las tuberías. El pasto usado se muestra en la Figura 13.

Figura 13 Pasto kikuyo. Pennisetum Clandestinum.



5.2. Aproximación Operacional

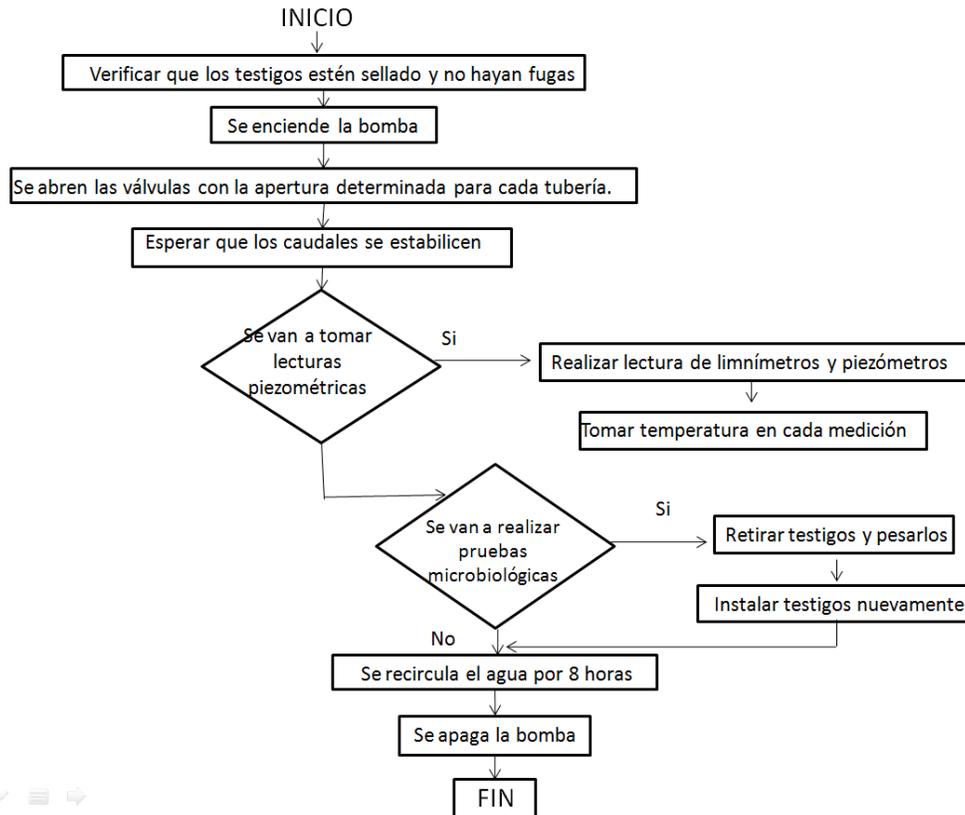
Se estableció en primera instancia un tiempo de recirculación de aproximadamente 8 o 9 horas para recrear las condiciones encontradas en una red de distribución de agua potable. Posteriormente se establecieron las aperturas de las válvulas de la siguiente manera:

- La primera válvula se abrió de 5 vueltas para obtener una velocidad de 1 m/s.
- La segunda válvula tenía una apertura máxima para abordar una velocidad de 3 m/s
- La tercera válvula se le asignó una apertura de 8 vueltas para una velocidad de 2 m/s.

Para evitar fugas de agua se procuró hacer una revisión del sistema cada día en que fue encendido para que los resultados obtenidos no estuvieran alterados por irregularidades en las velocidades y en las alturas piezométricas.

El procedimiento de recirculación diario se muestra a continuación en el Diagrama1.

Diagrama1 Procedimiento de recirculación diaria.



5.2.1. Cloro Residual

Para recrear las condiciones y características que presenta un sistema de distribución de agua potable se procuró conservar la concentración mínima de cloro en el modelo de acuerdo con la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial que estipula: “El valor aceptable del cloro residual libre en cualquier punto de la red de distribución del agua para consumo humano deberá estar comprendido entre 0,3 y 2,0 mg/L. La dosis de cloro por aplicar para la desinfección del agua y asegurar el residual libre debe resultar de pruebas frecuentes de demanda de cloro.” (MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, 2007).

Para poder comparar los resultados obtenidos en el modelo descrito, con resultados anteriores se estableció que la concentración de cloro residual debería ser de 0.5 mg/L. Para tal fin se utilizó hipoclorito de calcio HTH granular como desinfectante a partir del 30 de Enero de 2013.

María Ximena Trujillo planteó una concentración inicial de hipoclorito de calcio ($(\text{ClO})_2\text{Ca}(\text{s})$) de 20.5 g (Trujillo Gómez, 2011), pero debido a que el agua es recirculada el cloro residual va disminuyendo a través del tiempo. Tomando como referencia las curvas de cloro residual del modelo planteadas por Tatiana Vargas se planteó una concentración inicial de cloro de 47.6 g de $(\text{ClO})_2\text{Ca}(\text{s})$ que debía ser introducido en el sistema, diluido en agua, cada día.

La concentración de cloro residual disminuyó a partir del 18 de Abril pues se midieron concentraciones de cloro residual entre 1 y 2 mg/L por lo que fue necesario realizar una curva de calibración de en la que se estableció una cantidad de $(\text{ClO})_2\text{Ca}(\text{s})$ igual a 37.2 gramos.

5.2.2. Control cuantitativo a la formación y el desarrollo de biopelículas.

Como se mencionó anteriormente hay dos tipos de testigos instalados dentro del montaje; cada uno de ellos sirve para medir la biomasa, el espesor y la velocidad de crecimiento de la biopelícula. Los testigos de centro y de borde operan de igual manera; estos se extraen y se pesan con el fin de determinar las características antes mencionadas.

En el presente proyecto se realizaron mediciones de pérdidas por fricción en los piezómetros para analizar como las características hidráulicas que se ven influenciadas por la formación de las biopelículas en sistemas de distribución de agua potable.

5.3. Aspectos microbiológicos de las biopelículas

Para realizar el análisis de los aspectos microbiológicos de la biopelícula se usaron dos tipos de mediciones, una cuantitativa y una cualitativa, al igual que María Ximena Trujillo en el 2011. Como se mencionó anteriormente las herramientas para lograr esto son los testigos para la primera aproximación, y las tuberías de vidrio para la segunda.

5.4. Análisis cualitativo

Con la instalación de dos tubos de vidrio en los extremos de las tuberías, se realizó un seguimiento fotográfico de la formación y el crecimiento de la biopelícula en las tuberías de vidrio. Esto sin embargo no es directamente comparable con lo que ocurre dentro de las tuberías de PVC, no solo por el cambio de material sino porque hay un cambio en la dirección del flujo, y la reducción de diámetro pueden diferir alterar el desarrollo de las biopelículas que se observe.

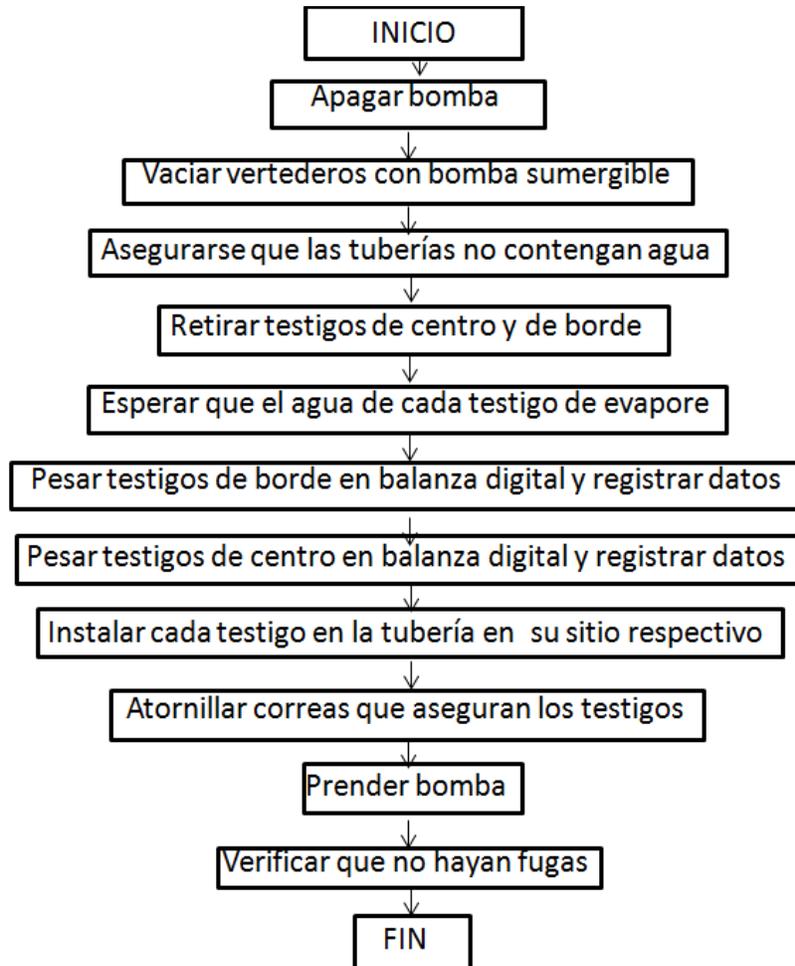
5.5. Análisis cuantitativo

5.5.1. Medición de Testigos

La medición de los testigos se realiza procurando que cada testigo sea usado solo una vez. Esto para que la manipulación de los mismos no altere el crecimiento de la biopelícula y así obtener resultados precisos sobre el desarrollo de la misma a través del tiempo. Este análisis reflejara el comportamiento del crecimiento de las biopelículas, no de los microorganismos que la componen.

El procedimiento utilizado para extraer los testigos de borde y de centro se muestra en el Diagrama 2.

Diagrama 2 Procedimiento para pesar los testigos.



Esto se realizó una vez a la semana desde el 31 de Enero de 2013 hasta el 28 de Mayo de 2013. Algunas consideraciones deben tenerse al momento de realizar este procedimiento. La primera es que cuando se extraen los testigos se deben dejar secar por un tiempo para que el agua que se acumula no modifique los pesos que se van a registrar. La segunda es que para el registro de los pesos se necesita una balanza digital y se debe asegurar que la misma esté calibrada y muestre una lectura de al menos 4 decimales. La balanza utilizada para pesar los testigos se muestra en la Figura 14.

Figura14 Pesaje de testigos.



5.5.2. Cálculo del espesor de las biopelículas

Para el cálculo de los pesos se debe tener en cuenta:

- El peso obtenido en los testigos de borde es acumulado; por tanto debe restársele el peso de la fecha inicial para determinar el espesor de la biopelícula.
- El peso de los testigos de centro es el registrado en la fecha de medición, y por ende el espesor de las biopelículas se calcula de manera diferente para cada tipo de testigos, como lo planteó Tatiana Vargas en su proyecto de grado y como se ilustra a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2 Fórmulas espesor de biopelículas según tipo de testigo.

Cálculo de testigos según tipo		
Tipo	Peso de Biomasa	Espesor de Biomasa
Borde	$peso_{biomasa} = peso_{testigo_i} - peso_{inicial}$	$espesor = \frac{peso_{biomasa}}{\rho * Area_{testigo}}$
Centro	$peso_{biomasa} = peso_{conBiopel} - peso_{sinBiopel}$	$espesor = \frac{peso_{biomasa}}{\rho * Area_{testigo}}$ $e_{prom} = \frac{e_{testigo_i} + e_{testigo_{i+1}}}{2}$

El peso sin biopelícula de los testigos de centro se refiere al peso del testigo inicial, registrado en la construcción del montaje, por María Ximena Trujillo.

5.5.3. Cálculo de la velocidad de crecimiento de biopelículas

Se evaluó el crecimiento de las biopelículas con el cálculo de la velocidad de crecimiento, como se realizó previamente en trabajos anteriores. Esta variable se define como la tasa de desarrollo de la biopelícula en el primer testigo, después de los 498 días de recirculación a los que se sometió la misma. Se expresa en micrómetros por día y se calcula como se muestra en la Ecuación 6.

$$velocidad_{crecimiento} = \frac{espesor_j * testigo_1 + espesor_i * testigo_1}{tiempo_{i+1} - tiempo_i}$$

Ecuación 6. Velocidad de crecimiento de la biopelícula en los testigos.

También se calcula la velocidad de regeneración de la biopelícula para los testigos de centro después de haber removido la película por completo y colocados nuevamente en la tubería en recirculación por un periodo de tiempo determinado; la expresión utilizada es la de la Ecuación 7.

$$vel_{regeneración} = \frac{espesor_{final} - espesor_{inicial}}{No_{dias_{intervalo}}}$$

Ecuación 7. Velocidad de regeneración de las biopelículas en testigos de centro.

5.6. Cuantificación por Método de Escobillón

El método utilizado será el mismo propuesto por María Ximena en su tesis y repetido por Tatiana Vargas para obtener datos comparables. Las pruebas microbiológicas consistían en la selección de algunos testigos de centro en los cuales se realiza un recuento de placa por el método de Escobillón (NTC 5230) que permite calcular más exactamente la magnitud de la biopelícula, y de sus colonias. Los resultados se reportaban en Unidades Formadoras de Colonias en área (UFC/cm²) por el Laboratorio de Microbiología Ambiental de la Universidad de los Andes. Se decidió conservar este método con el fin de obtener resultados más precisos, en la medida que sea posible y se facilite (Trujillo Gómez, 2011).

A continuación, en la Figura 15, se muestran los testigos que se extrajeron para pesar y realizar el raspado.

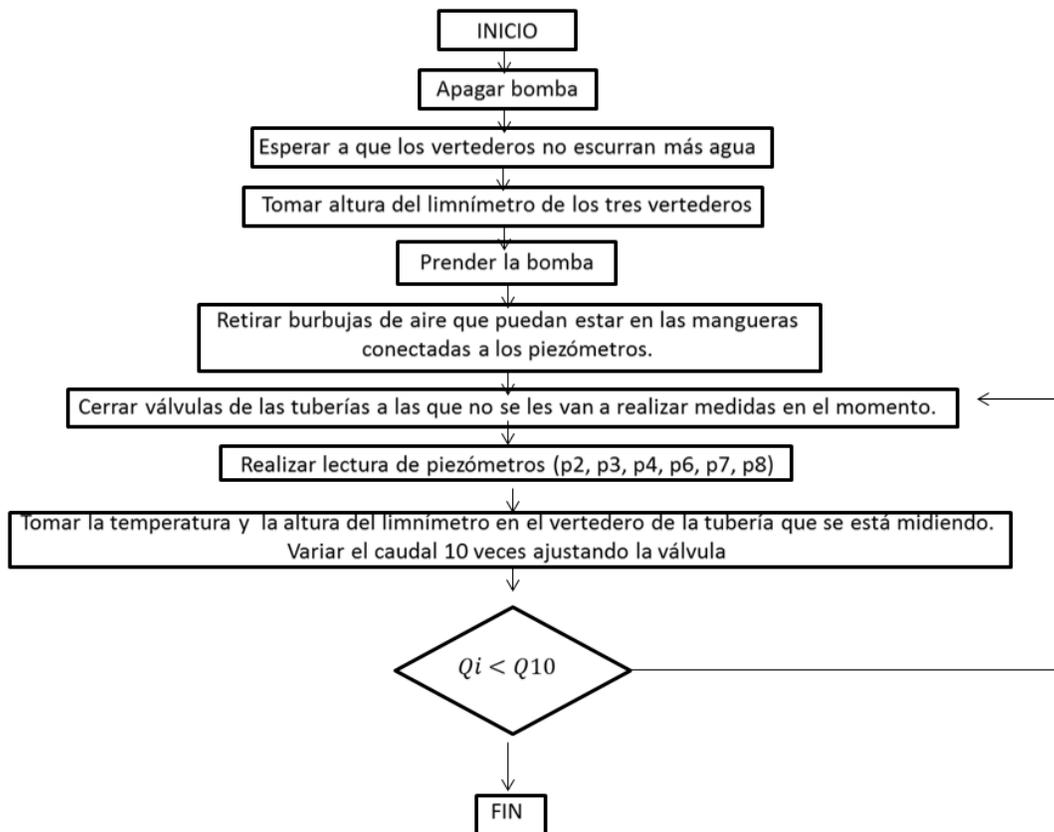
Figura 15 Extracción de testigos.



5.7. Determinación de pérdidas por fricción en las tuberías

Una de las principales implicaciones de las biopelículas en el comportamiento hidráulico de las tuberías se evidencia en las pérdidas por fricción, que fueron medidas registrando las alturas piezométricas que se alcanzan cuando el montaje está corriendo. Esto permitió cuantificar las implicaciones o los efectos que tienen las diferentes velocidades de flujo aplicadas a cada tubería en la formación y desarrollo de la biopelícula. En el presente proyecto se utilizó un procedimiento experimental implementado en trabajos anteriores para poder hacer una comparación entre resultados. En el Diagrama 3 se describe la rutina de trabajo semanal.

Diagrama 3 Procedimiento para el registro de las pérdidas por fricción en el montaje.



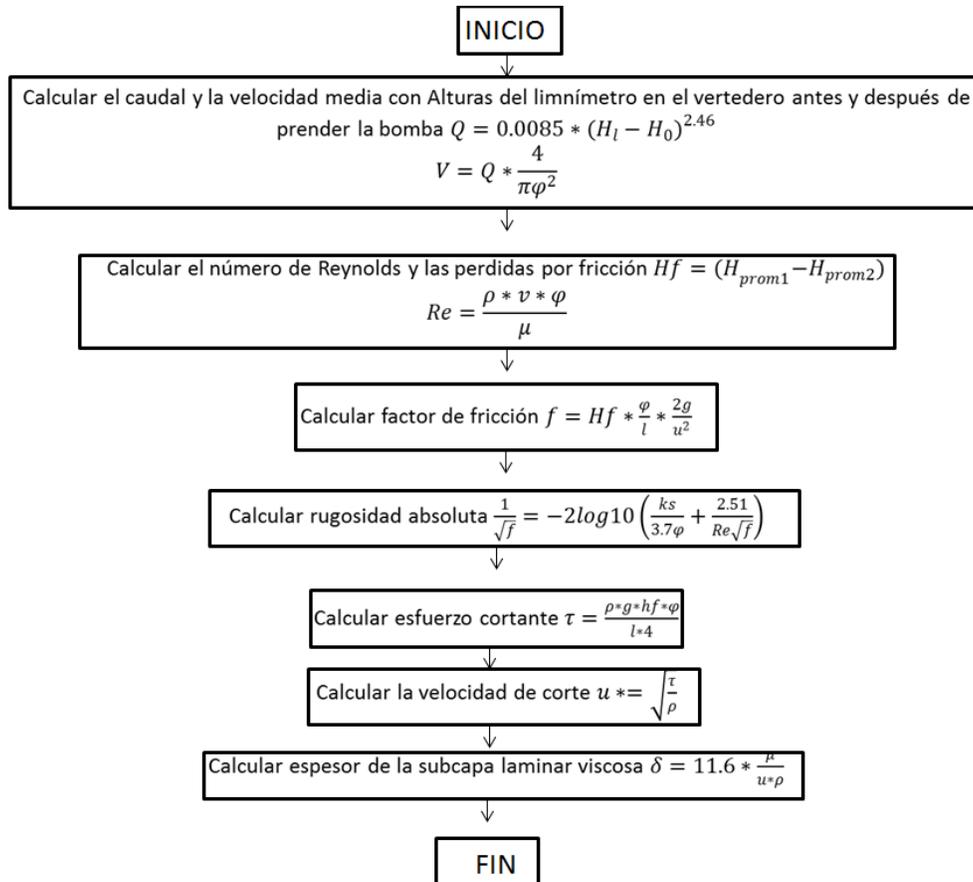
Para calcular la subcapa laminar viscosa se usan los datos obtenidos de las alturas piezométricas, así como la temperatura, el tiempo en que se realiza la medición y la altura de cada vertedero. Esta variable se tiene en cuenta como indicativo del comportamiento hidráulico de los microorganismos dentro de las tuberías; estas mediciones se hicieron con el fin de registrar los resultados en un diagrama de Moody, y complementar los resultados obtenidos por María Ximena Trujillo en el 2011 y Tatiana Vargas en el 2012.

El caudal se determina de la calibración de los vertederos y el área corresponde a $\pi * \frac{\varphi^2}{4}$. Otra de las ecuaciones que se implementan es la de Darcy-Weisbach para el factor de fricción y la ecuación de Colebrook-White para determinar la rugosidad absoluta.

A continuación, en el Diagrama 4, se muestra el orden en el que se calcularon los parámetros hidráulicos para cada medición y las ecuaciones que se utilizaron en el cálculo. Este procedimiento se sigue para

cada tubería teniendo como datos de entrada las alturas de los vertederos antes y después de encender la bomba, las temperaturas, y las alturas piezométricas registradas en cada medición.

Diagrama 4 Procedimiento iterativo para la determinación hidráulica.

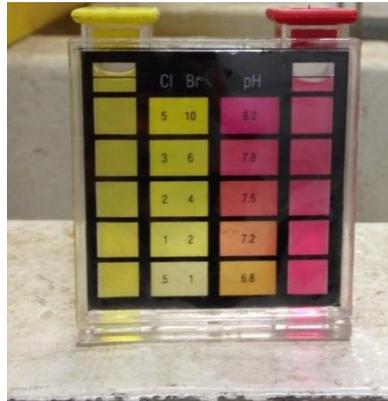


El procedimiento para el cálculo de los componentes hidráulicos dentro de las tuberías se ilustra con un ejemplo en el Anexo 1. En el Anexo 2 se pueden encontrar los registros de los cálculos realizados para el presente proyecto.

5.8. Medidas fisicoquímicas

Se realizó un registro diario del nivel de cloro y del pH, del montaje, con un colorímetro para cloro libre por comparación de color, como se muestra en la Figura 16.

Figura 16 Colorímetro por comparación de color para cloro libre.



5.9. Control Cualitativo a la formación y el desarrollo de biopelículas.

Para tener un registro completo del crecimiento, desarrollo y desprendimiento de las biopelículas, se mantuvo un seguimiento visual, mediante las tuberías de vidrio antes descritas. Adicionalmente se seleccionaron algunos testigos de centro a los cuales se le hizo un raspado con escobillones para determinar las Unidades Formadoras de Colonias en área (UFC/cm^2) como se mencionó anteriormente.

5.10. Comparación con trabajos anteriores

Los resultados del presente proyecto serán comparados con los obtenidos por Tatiana Vargas y María Ximena Trujillo. Esto con el fin de estimar los efectos de más de un año de recirculación en el montaje utilizado en los tres trabajos a comparar.

Los resultados que se van a comparar son la velocidad de crecimiento y el espesor de las biopelículas, los diagramas de Moody y la influencia de las biopelículas en la tubería de acuerdo con la fuente de CODB, consistente en los tres trabajos.

6. RESULTADOS

Para poder realizar un análisis pertinente sobre el desarrollo de las biopelículas en sistemas de distribución de agua potable, se abordaron dos tipos de análisis, uno cuantitativo y otro cualitativo sobre el crecimiento y desprendimiento de las películas biológicas. En el presente estudio se realizó un análisis de los datos obtenidos en la presente investigación y de los resultados reportados con anterioridad, para hacer una comparación y un análisis completo. Se tuvieron en cuenta los datos obtenidos por Trujillo en el 2011 y Vargas en el 2012.

6.1. Análisis cuantitativo

Los resultados expuestos a continuación se registraron durante un periodo comprendido entre los 398 días de recirculación hasta los 496 días. Este periodo comenzó el 31 de Enero del 2013 y finalizó el 25 de Mayo de 2013, es decir que el estudio abarcó 4 meses y medio de mediciones.

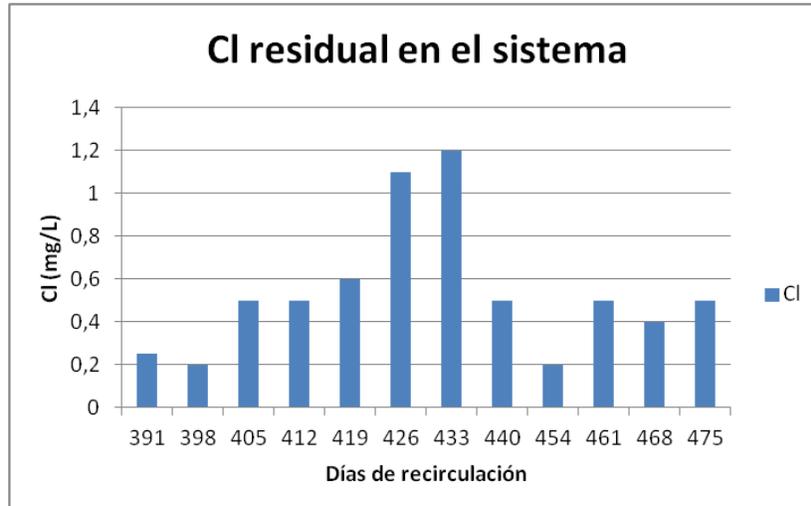
6.1.1. Pruebas físico-químicas

Dentro de las pruebas físico químicas que se realizaron durante el periodo de mediciones se controlaron los parámetros de pH y cloro residual que se midieron semanalmente en el montaje, para verificar que la concentración de cloro residual libre se mantuviera entre 0,5 y 2,0 mg/L, de acuerdo con la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, y de acuerdo con las condiciones reales que se presentan en sistema de distribución de agua potable.

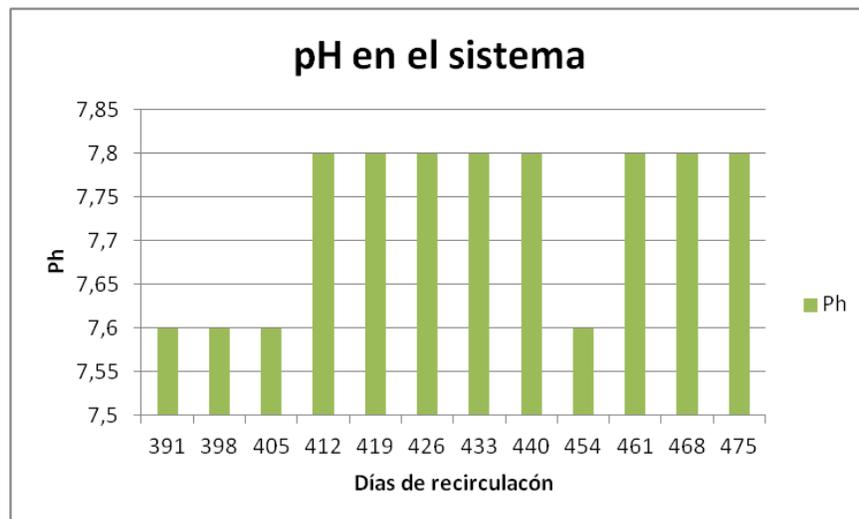
Los resultados de los análisis para pH se mantuvieron entre 7.6 y 7.8, un rango menor que el registrado por Vargas (2012). El cloro por su parte se mantuvo constante durante las primeras semanas, pero el 14 de Marzo se recalculó la cantidad de cloro que se debía agregar al sistema, ya que se obtuvieron valores muy altos de cloro en las mediciones.

Estos resultados se pueden apreciar mejor en la Gráfica 1y la Gráfica 2mostradas a continuación.

Gráfica 1 Cloro residual en el sistema de recirculación.



Gráfica 2 pH residual en el sistema de recirculación



Con el fin de controlar la proliferación y el desarrollo de bacterias y microorganismos en las redes de distribución, se deben controlar los parámetros fisicoquímicos en la red, pues existen bacterias patógenas cuyo crecimiento es potenciado por un pH ácido o básico.

6.1.2. Pruebas microbiológicas: Conteo de Unidades Formadoras de Colonias

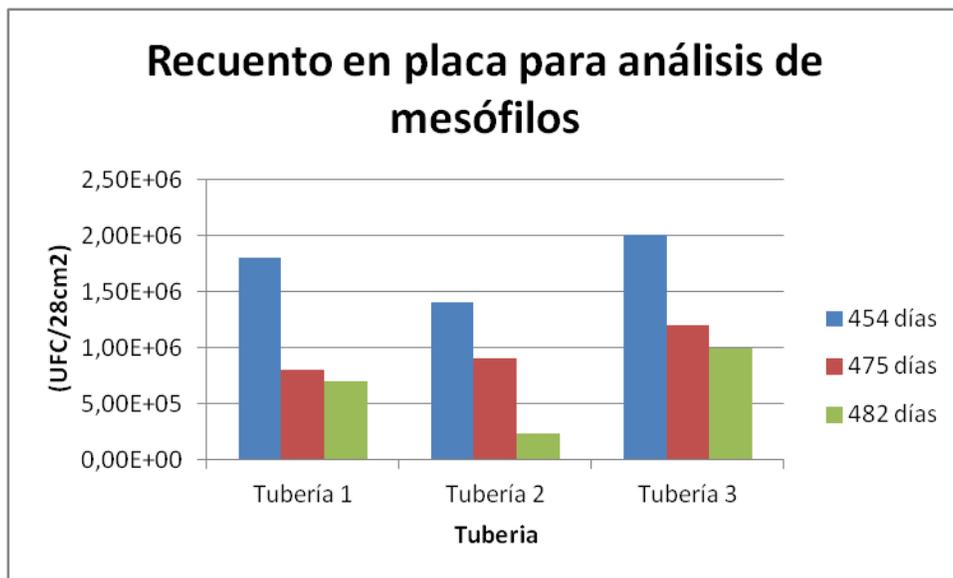
A lo largo de los cinco meses de recirculación se tomaron tres recuentos, mediante el método Escobillón; el primero se realizó el 12 de Abril, el segundo el 26 de Abril del 2013 y el último el 17 de Mayo del 2013. Estas pruebas fueron tomadas en uno de los testigos de centro para cada tubería; los

testigos fueron elegidos de acuerdo con la agenda que se elaboró al inicio del proyecto para la extracción de los testigos.

En Abril se evaluaron los testigos de centro número 10, El 17 de febrero se muestrearon los testigos de centro número 5, y el 9 de Mayo se muestrearon los testigos de centro número 1. Estos testigos de centro fueron los que presentaron visualmente un mayor número de microorganismos entre los extraídos para dichos días.

Los resultados del recuento se reportaron en unidades formadoras de colonias por área de testigo; los recuentos son comparables, puesto que todas las áreas son iguales. En la Gráfica 3 se muestran los resultados obtenidos en las mediciones.

Gráfica 3 Recuento en placa para análisis de mesófilos.



Se evidencia un decrecimiento en las bacterias presentes en las biopelículas a lo largo del tiempo, en las tres tuberías. La tubería de velocidad media es la que presenta un mayor recuento de bacterias; la tubería de mayor velocidad presenta la menor carga bacteriana, lo que era de esperarse a causa de la dificultad que representa una velocidad de flujo alta para las bacterias pioneras al momento de adherirse a la tubería. Por último la tubería de menor velocidad fue la que presentó un valor de UFC/28 cm² medio. En el día 475 se presentó una variación de la tendencia antes descrita pues la tubería de menor velocidad es la que menos carga bacteriana presenta.

6.1.3. Testigos de Borde

Semanalmente se desmontaron los testigos de borde de cada tubería; en cada una solo hubo un testigo ubicado cerca a los vertederos por lo que la magnitud de los errores debidos al procedimiento de manipulación, es mayor en estos a diferencia de los testigos de centro; los últimos representan un parámetro más confiable para la realización del análisis y la evaluación del comportamiento debido a que se extrae un par diferente cada semana.

Para determinar el espesor de las biopelículas en cada tubería, se pesaron los testigos en una balanza con un nivel de precisión de cuatro cifras decimales. Los posibles errores asociados con el cálculo, se disminuyeron con la calibración de los instrumentos y el establecimiento de un tiempo para la remoción del exceso de agua con el fin de evitar la alteración de los resultados, debido a la tasa de evaporación presentada.

A continuación se muestra la variación de los espesores de la biopelícula en función a la velocidad.

Tabla 3 Espesor y velocidad de crecimiento de la biopelícula formada en la tubería con velocidad de 1m/s.

TUBERÍA 1	Peso inicial (g)	69,4591				
Fecha	Días	ρ	Peso	Biomasa	Espesor	Velocidad crecimiento
(dd/mes)	(-)	(kg/m ³)	(g)	(g)	(μ m)	(μ m/día)
07/02/2013	398,00	996,968	71,2756	1,8165	455,5061	1,144487675
14/02/2013	405,00	997,205	71,288	1,8289	458,5065	0,428633037
21/02/2013	412,00	997,735	71,372	1,9129	479,3106	2,972016122
28/02/2013	419,00	997,355	71,3114	1,8523	464,3031	-2,143936706
07/03/2013	426,00	997,155	71,2839	1,8248	457,5016	-0,971641375
14/03/2013	433,00	997,5985	71,2938	1,8347	459,7792	0,325366803
21/03/2013	440,00	997,13	71,29	1,83	459,47	-0,044354936
04/04/2013	454,00	997,548	71,3457	1,8866	472,8093	0,952903813
11/04/2013	461,00	997,2304	71,3019	1,8428	461,9795	-1,547118579
18/04/2013	468,00	997,29005	71,2832	1,8241	457,2642	-0,673619212
25/04/2013	475,00	997,308	71,2628	1,8037	452,1422	-0,731713889
02/05/2013	482,00	997,548	71,2991	1,84	461,1307	1,284075106
09/05/2013	489,00	996,779	71,3083	1,8492	463,7939	0,380455376

La Tabla 3 muestra que en las primeras semanas de medición se presentó un crecimiento del espesor de la biopelícula debido a que se suministró un nuevo costal de pasto. Esto evidencia la relación directa entre la velocidad de crecimiento de la película biológica y la cantidad y calidad del nutriente presente en el agua. Por el contrario en los días 419, 426, 440, 461, 468, y 475 se presentaron decrecimientos en la velocidad de formación de las biopelículas, lo que traduce en una disminución del espesor de la misma. Del día 461 al 475 no se cambió el pasto con la frecuencia de las primeras semanas, por lo que

se dió un decrecimiento paulatino y posible desprendimiento de la película biológica relacionado con la disminución de sustrato.

Tabla 4 Espesor y velocidad de crecimiento de biopelícula formada en tubería con velocidad de 3 m/s.

TUBERÍA 2	Peso inicial (g)	67,8272				
Fecha	Días	ρ	Peso	Biomasa	Espesor	Velocidad crecimiento
(dd/mes)	(-)	(kg/m ³)	(g)	(g)	(μ m)	(μ m/día)
07/02/2013	398,00	997,38	68,8272	1	250,6567	0,629790755
14/02/2013	405,00	997,255	68,8229	0,9957	249,6102	-0,149505809
21/02/2013	412,00	998,09	68,8888	1,0616	265,9079	2,328243445
28/02/2013	419,00	997,4222	68,7104	0,8832	221,3706	-6,362462114
07/03/2013	426,00	997,836	68,819	0,9918	248,4877	3,873868312
14/03/2013	433,00	997,5985	68,839	1,0118	253,5589	0,72445633
21/03/2013	440,00	997,18	68,8221	0,9949	249,4284	-0,590076242
04/04/2013	454,00	9,98E+02	68,8079	0,9807	2,46E+02	-0,259922455
11/04/2013	461,00	997,2304	68,7252	0,898	225,1235	-2,952281662
18/04/2013	468,00	997,29	68,488	0,6608	165,6489	-8,49637164
25/04/2013	475,00	997,308	68,3501	0,5229	131,0779	-4,938719852
02/05/2013	482,00	997,524	68,6869	0,8597	215,4585	12,05437337
09/05/2013	489,00	996,806	68,6926	0,8654	217,0432	0,226394416

La Tabla 4 muestra que en la tubería de mayor velocidad se presentaron cambios más drásticos en la velocidad de desarrollo. En los días 426 y 482 se observaron días de crecimiento importante en el espesor de la película, mientras que los patrones de decrecimiento en los días 419, 461, 468, y 475 son acelerados, pues se disminuye mucho el espesor de la misma. Se observa el mismo patrón de decrecimiento, por la falta de nutrientes, que en la tubería 1, por lo que se evidencia la importancia del sustrato en el desarrollo de la biopelícula, y la influencia de la velocidad de flujo en la magnitud de la variación de la velocidad de desarrollo de las biopelículas.

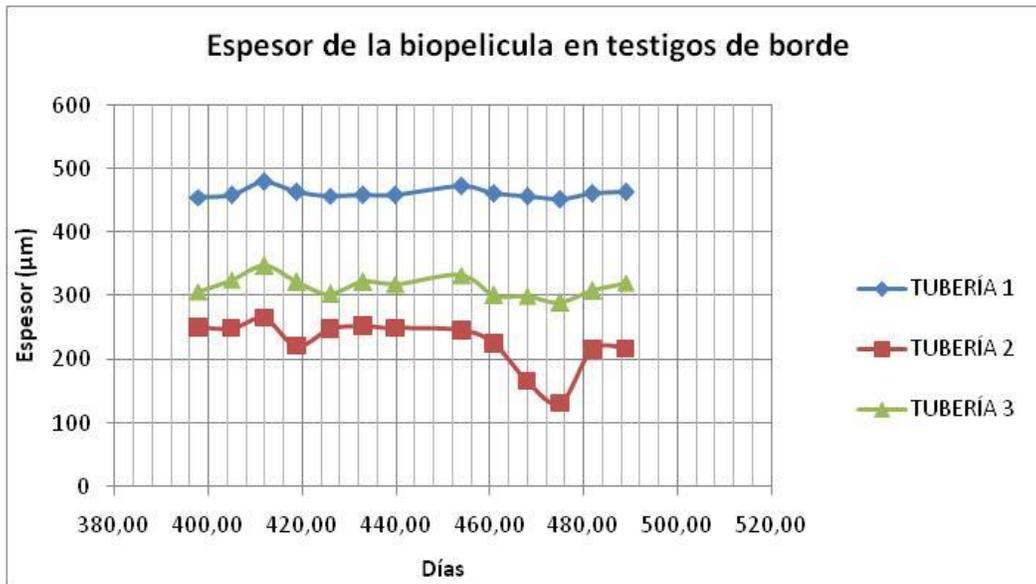
Tabla 5 Espesor y velocidad de crecimiento de biopelícula formada en la tubería con velocidad de 2 m/s.

TUBERÍA 3	Peso inicial (g)	67,426				
Fecha	Días	ρ	Peso	Biomasa	Espesor	Velocidad crecimiento
(dd/mes)	(-)	(kg/m ³)	(g)	(g)	(μ m)	(μ m/día)
07/02/2013	398,00	997,5233	68,6515	1,2255	307,1357	0,771697696
14/02/2013	405,00	997,4248	68,7266	1,3006	325,9895	2,693400741
21/02/2013	412,00	997,6555	68,8154	1,3894	348,1663	3,168112529
28/02/2013	419,00	997,4222	68,7104	1,2844	321,9299	-3,748057859
07/03/2013	426,00	997,836	68,6356	1,2096	303,0558	-2,696294006
14/03/2013	433,00	997,5985	68,7151	1,2891	323,0508	2,856427676
21/03/2013	440,00	997,23	68,698	1,272	318,8833	-0,595357107
04/04/2013	454,00	9,97E+02	68,7538	1,3278	332,798	0,993904462
11/04/2013	461,00	997,2304	68,6272	1,2012	301,134	-4,523421206
18/04/2013	468,00	997,29	68,6244	1,1984	300,4141	-0,10284471
25/04/2013	475,00	997,308	68,5825	1,1565	289,9054	-1,501240344
02/05/2013	482,00	997,548	68,658	1,232	308,7571	2,693092419
09/05/2013	489,00	996,833	68,7079	1,2819	321,4932	1,819442361

En la Tabla 5 se observa que en los días señalados anteriormente, se presentó la misma tendencia de decrecimiento en el desarrollo tradicional de la biopelícula. Puesto que el ciclo de crecimiento en las tres tuberías presenta un patrón similar bajo diferentes velocidades de flujo, se entiende que los nutrientes representan un factor importante en el crecimiento o decrecimiento del espesor de la biopelícula. Por otro lado los regímenes de flujo influyen los rangos de variación de la velocidad, siendo las tuberías con mayor y menor velocidad de flujo las que presentan la mayor variación. La formación y el desprendimiento de estas presentan una mayor sensibilidad bajo velocidades de flujo altas y bajas.

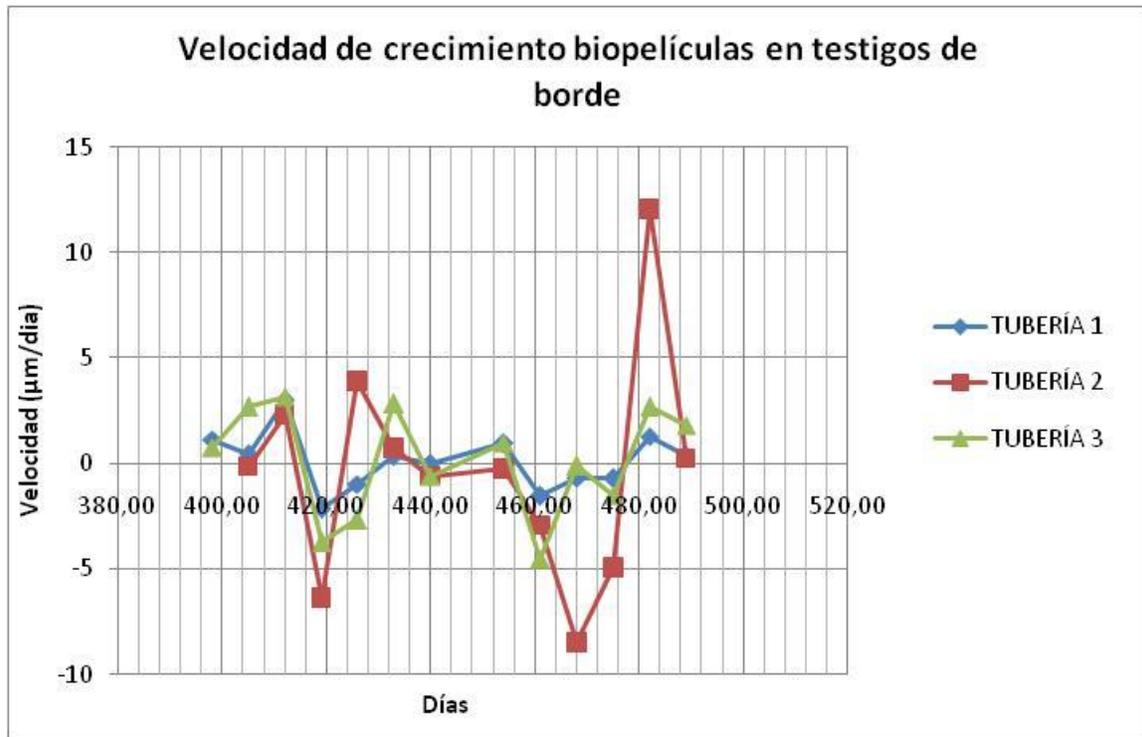
En la Gráfica 4 y la Gráfica 5 se muestra el comportamiento del espesor en las tres tuberías y se evidencia cual presenta un mayor espesor y por tanto el desarrollo es más favorable.

Gráfica 4 Espesor de biopelículas formadas en el montaje



Se observa que el desarrollo de la biopelícula se ve favorecido por menores velocidades de flujo y que los espesores en las tuberías 2 y 3, presentan una mayor cercanía entre sí, que el mostrado por las tuberías 1 y 2.

Gráfica 5 Velocidad de crecimiento del espesor de la biopelícula en cada tubería.



En la Gráfica 5 se muestra la dinámica de crecimiento que se presenta en las tablas. El crecimiento y decrecimiento de la biopelícula es mayor para la tubería 2 en donde se tiene una velocidad de flujo mayor. La tubería que presenta cambios menos bruscos en la velocidad de crecimiento del espesor de la película biológica, es la 1 por lo que se entiende que la velocidad de flujo no es directamente proporcional a la velocidad de crecimiento de las biopelículas.

6.1.4. Testigos de Centro

Los testigos de centro fueron retirados por pares cada semana, desde el número 24 hasta llegar al número 1. La extracción comenzó el 7 de Febrero del 2013 y finalizó el 1 de Mayo del mismo año.

Estos testigos son un buen indicativo para la cuantificación del crecimiento de las biopelículas, debido a que sólo se retiraron del montaje una vez para realizar las respectivas mediciones. Además caracterizan la influencia de la película biológica en el medio y en el comportamiento hidráulico del sistema de abastecimiento. En el presente análisis se caracterizó la subcapa laminar viscosa de acuerdo con el coeficiente de rugosidad, que varía por la presencia de los microorganismos en la red.

En el trabajo realizado por María Ximena Trujillo se mostró la geometría de los testigos de centro, obteniéndose una longitud de 7 centímetros y un ancho de 4 centímetros. El comportamiento en un

punto dentro de la tubería, está determinado por el promedio de las medidas de los dos testigos que se extrajeron cada semana.

Los resultados del espesor de la biopelícula, la subcapa laminar viscosa y la rugosidad en la primera tubería; se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6 Comportamiento de la biopelícula en testigos de centro para la tubería 1 (velocidad de flujo 1 m/s).

TUBERÍA 1		velocidad (m/s)	1										
Fecha	Días	ρ	Número de Testigo	Peso sin biopelícula	Peso con biopelícula	Biomasa	Espesor	Espesor promedio	δ'	0.305 δ'	6.1 δ'	ks	Re
(dd/mes)	(-)	(kg/m ³)	(-)	(g)	(g)	(g)	(μ m)	(μ m)	(μ m)	(μ m)	(μ m)	(μ m)	(-)
14-feb	405	997,255	24	57,699	58,4193	0,7203	257,958095	234,10691	289,8179	88,39445	1767,889	592,905	69128
		997,255	23	57,783	58,3701	0,5871	210,255723						
21-feb	412	997,4248	22	57,1725	57,6187	0,4462	159,768579	163,83262	179,3514	54,70219	1094,044	578,514	112131
		997,4248	21	56,4381	56,907	0,4689	167,896653						
28-feb	419	997,6555	20	55,1489	55,761	0,6121	219,120872	234,20982	446,0562	136,0471	2720,943	540,379	45553
		997,6555	19	55,4029	56,0993	0,6964	249,298767						
07-mar	426	997,3550	18	55,2987	55,918	0,6193	221,76514	273,15106	319,2425	97,36898	1947,38	592,138	62769
		997,3550	17	56,5137	57,42	0,9063	324,536972						
14-mar	433	997,1800	16	59,0632	59,4611	0,3979	142,509018	162,63721	148,7795	45,37774	907,5548	543,186	136476
		997,1800	15	57,7372	58,2475	0,5103	182,765398						
21-mar	440	997,155	14	57,9492	58,2666	0,3174	113,680564	124,12267	210,4112	64,17543	1283,509	529,944	96860
		997,13	13	57,7721	58,1478	0,3757	134,564772						
04-abr	454	997,548	12	57,1081	57,4655	0,3574	127,956607	135,39577	194,4758	59,31512	1186,302	315,973	112977
		997,155	11	55,29	55,6888	0,3988	142,834937						
11-abr	461	998,052	10	56,9798	57,2333	0,2535	90,7124221	84,754387	141,3581	43,11424	862,2847	814,514	134824
		998,052	9	56,7023	56,9225	0,2202	78,7963524						
18-abr	468	997,2304	8	57,4472	57,7222	0,275	98,4870555	141,30206	135,2939	41,26463	825,2926	699,478	144330
		997,2304	7	55,8428	56,3569	0,5141	184,117074						
25-abr	475	997,29	6	56,6923	57,2218	0,5295	189,621007	153,23669	153,0084	46,66756	933,3512	504,332	134196
		997,29	5	57,151	57,4773	0,3263	116,852379						
02-may	482	997,308	4	56,0702	56,4033	0,3331	119,285402	114,05704	188,762	57,57239	1151,448	602,049	105890
		997,308	3	57,2116	57,5155	0,3039	108,828681						
09-may	489	996,752	2	55,6662	55,9019	0,2357	84,4528744	107,45439	203,9708	62,21108	1244,222	3,17E+02	107662
		996,779	1	56,3831	56,7472	0,3641	130,455913						

Como se observa en esta tabla, los testigos que se encuentran aguas arriba del montaje, los de mayor numeración, presentan un mayor espesor de la biopelícula y por ende la formación de biopelícula más importante se presentó en los testigos número 24 y 23. A pesar de que los testigos de aguas abajo se midieron posteriormente y estuvieron sometidos a un mayor tiempo de recirculación, la formación de biopelícula no fue tan alta como en los mencionados anteriormente, lo que indica que estos últimos presentan formaciones jóvenes, ya sea por desprendimiento o por los periodos de disminución de nutrientes que no habían ocurrido cuando se midieron los testigos aguas arriba.

El comportamiento de la tubería 1 muestra una tendencia a que la subcapa laminar viscosa exceda siempre el espesor de la biopelícula desarrollada.

A continuación se muestra el comportamiento de las biopelículas en los testigos de centro para la tubería de PVC a 3 metros por segundo.

Tabla 7 Comportamiento de la biopelícula en testigos de centro para la tubería 2 (velocidad de flujo 3m/s).

TUBERÍA 2		velocidad (m/s)												
Fecha	Días	ρ	Número de Testigo	Peso sin biopelícula	Peso con biopelícula	Biomasa	Espesor	Espesor promedio	δ'	0.305 δ'	6.16 δ'	ks	Re	
(dd/mes)	(-)	(kg/m ³)	(-)	(g)	(g)	(g)	(μ m)	(μ m)	(μ m)	(μ m)	(μ m)	(μ m)	(-)	
14-feb	405	997,355	24	33,5052	33,9862	0,481	172,2413	138,83414	0	0	0	0	0	
		997,305	23	34,4732	34,7676	0,2944	105,427							
21-feb	412	997,4248	22	56,3214	56,8123	0,4909	175,7741	216,36074	157,3488	47,99137	959,8275	382,3716994	135906,1447	
		997,4248	21	57,3456	58,0632	0,7176	256,9474							
28-feb	419	997,6555	20	55,6143	55,9443	0,33	118,1341	148,24041	247,7887	75,57557	1511,511	1048,00	73783,09273	
		997,6555	19	55,9935	56,4917	0,4982	178,3467							
07-mar	426	997,305	18	56,4153	56,9213	0,506	181,2026	186,16242	366,8277	111,8825	2237,649	788,3368294	52225,7601	
		997,305	17	55,7616	56,2953	0,5337	191,1222							
14-mar	433	997,255	16	54,5062	55,0354	0,5292	189,5202	177,09326	444,7771	135,657	2713,14	784,20	43108,47088	
		997,255	15	52,383	52,8428	0,4598	164,6663							
21-mar	440	997,18	14	53,2824	53,8559	0,5735	205,4007	186,06249	283,6703	86,51946	1730,389	1214,360894	62851,80735	
		997,155	13	55,4694	55,9349	0,4655	166,7243							
04-abr	454	997,5	12	56,8296	57,3243	0,4947	177,1214	137,66559	178,1312	54,33001	1086,6	610,83	111959,9991	
		997,5	11	56,0524	56,3267	0,2743	98,20981							
11-abr	461	998,052	10	55,5659	55,7644	0,1985	71,03123	78,653216	192,5147	58,71698	1174,34	941,8339354	96675,52588	
		998,052	9	54,0566	54,2977	0,2411	86,27521							
18-abr	468	997,2304	8	53,895	54,3078	0,4128	147,838	107,26136	131,7587	40,18641	803,7282	727,41	147287,9156	
		997,2304	7	53,0272	53,2134	0,1862	66,68469							
25-abr	475	997,29	6	55,745	55,8253	0,0803	28,7565	80,61131	183,3321	55,9163	1118,326	259,6035345	122648,4086	
		997,29	5	54,1467	54,5166	0,3699	132,4661							
02-may	482	997,308	4	55,8847	56,4565	0,5718	204,7655	197,22736	206,2923	62,91914	1258,383	513,11	99275,28072	
		997,308	3	55,4906	56,0203	0,5297	189,6892							
09-may	489	996,806	2	57,4503	57,84	0,3897	139,6245	113,54241	93,8651	28,62885	572,5771	672,97	209300,2144	
		996,779	1	56,3989	56,643	0,2441	87,46028							

En esta tubería se presentan valores menores de espesor de biopelícula que para la tubería anterior, por lo que se concluye que a menor velocidad se potencia un mejor desarrollo y mejores condiciones para la formación de las mismas, pues como se observa en la Tabla 7 los espesores, a grosso modo, son menores a los determinados en la Tabla 6.

Tabla 8 Comportamiento de la biopelícula en testigos de centro de la tubería 3 (velocidad de flujo 2m/s).

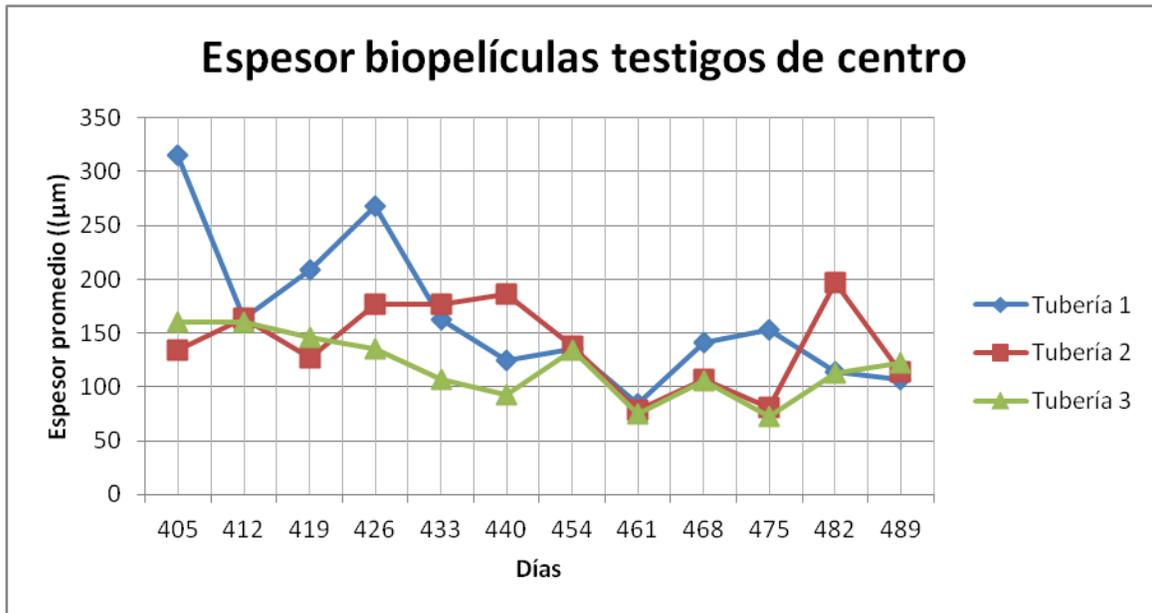
TUBERÍA 3		velocidad (m/s)	2											
Fecha	Días	ρ	Número de Testigo	biopelícula	biopelícula	Biomasa	Espesor	Espesor promedio	δ'	0.305 δ'	6.1 δ'	ks	Re	
(dd/mes)	(-)	(kg/m ³)	(-)	(g)	(g)	(g)	(μ m)	(μ m)	(μ m)	(μ m)	(μ m)	(μ m)	(-)	
14-feb	405	997,405	24	56,7767	57,4714	0,6947	248,7527							
		997,405	23	54,6893	55,3135	0,6242	223,5086	236,13062	410,6013	125,2334	2504,668	611,67396	48558,44	
21-feb	412	997,4248	22	55,3457	56,0034	0,6577	235,4993							
		997,4248	21	56,9582	57,2488	0,2906	104,0537	169,77649	192,9745	58,85723	1177,145	5,03E+02	106446,5	
28-feb	419	997,6555	20	55,8284	56,3265	0,4981	178,3109							
		997,6555	19	55,9861	56,4614	0,4753	170,1489	174,22991	222,3596	67,81967	1356,393	6,39E+02	89076,44	
07-mar	426	997,355	18	57,6691	58,1069	0,4378	156,7718							
		997,355	17	53,7138	54,0302	0,3164	113,2997	135,03574	176,5618	53,85136	1077,027	309,39461	124876,6	
14-mar	433	997,836	16	57,2816	57,7137	0,4321	154,6561							
		997,836	15	56,9686	57,1327	0,1641	58,73424	106,69517	136,3236	41,5787	831,5741	308,14979	169110,1	
21-mar	440	997,23	14	56,1631	56,5178	0,3547	127,0304							
		997,205	13	56,5726	56,737	0,1644	58,87885	92,954649	138,2395	42,16304	843,2609	222,26452	166178,3	
04-abr	454	997,452	12	55,0391	55,4816	0,4425	158,4394							
		997,452	11	54,5905	54,8949	0,3044	108,992	133,71571	265,067	80,84543	1616,909	228,21628	83132,17	
11-abr	461	998,052	10	58,6277	58,8123	0,1846	66,05725							
		998,052	9	53,3024	53,5343	0,2319	82,98308	74,520165	160,2404	48,87332	977,4663	3,09E+02	143435,3	
18-abr	468	997,2304	8	58,2322	58,4606	0,2284	81,79798							
		997,2304	7	54,9183	55,2833	0,365	130,7192	106,25858	113,5324	34,62737	692,5474	227,34039	187741	
25-abr	475	997,29	6	56,9114	57,0874	0,176	63,02795							
		997,29	5	53,5038	53,731	0,2272	81,36335	72,195647	162,22	49,4771	989,5421	391,19879	141154,3	
02-may	482	997,308	4	57,9324	58,3112	0,3788	135,6509							
		997,308	3	55,7404	55,9911	0,2507	89,7774	112,71414	175,086	53,40123	1068,025	233,79074	124507,6	
09-may	489	996,833	2	56,595	56,9377	0,3427	122,7817							
		996,833	1	54,9532	55,2926	0,3394	121,5994	122,19055	207,6073	63,32022	1266,404	266,579	108349,2	

En la Tabla 8 se puede observar que la tendencia es que la subcapa laminar viscosa excede el espesor de la biopelícula desarrollada, en la mayoría de los casos; este comportamiento es recurrente en las tres tuberías.

Se observa que los valores de la subcapa laminar viscosa en las primeras semanas de medición, es considerablemente mayor al registrados en semanas posteriores. Esto se puede atribuir a la disminución de la frecuencia y calidad de los nutrientes suministrados, pero concuerda con los datos obtenidos para los testigos de centro.

En la Gráfica 6 mostrada a continuación, se observa el comportamiento del espesor de la biopelícula para cada tubería.

Gráfica 6 Espesor de biopelículas desarrolladas en los testigos de centro.



Para las tres velocidades manejadas en el montaje se tuvo un comportamiento similar, ya que los espesores fluctúan, relativamente, bajo los mismos rangos.

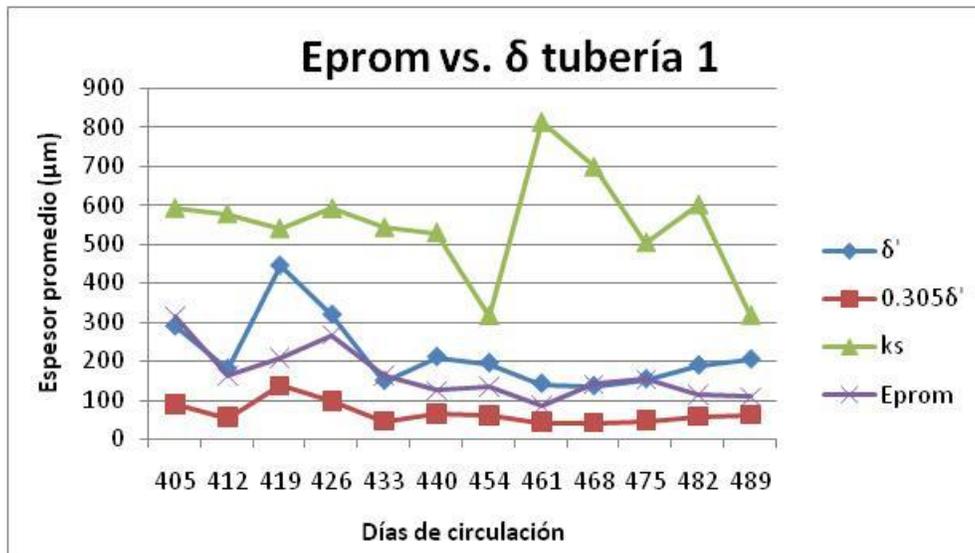
Se observa que al inicio de las mediciones la biopelícula de mayor espesor era la de menor velocidad; consecuentemente la de menor espesor era la de mayor velocidad. Sin embargo, a medida que transcurrieron los días el desarrollo de la película biológica comenzó a fluctuar y a disminuir por la ausencia de sustrato, el espesor de la biopelícula de la tubería con $v=3$ m/s presentó una tendencia a aumentar, mientras que la de la velocidad media (2m/s), decayó en la primera mitad del tiempo y tuvo un comportamiento fluctuante la otra mitad. Se concluye que el espesor de la biopelícula no tiene ninguna relación con la velocidad de flujo, pues la película biológica presente en las tuberías 1 y 2, es muy similar.

6.1.5. Relación entre el espesor de la subcapa laminar viscosa, el espesor de la biopelícula y la rugosidad relativa

En los testigos de centro se realizó un análisis más exacto acerca de la influencia del espesor de la biopelícula en la rugosidad relativa de la tubería y de la consecuente influencia en la hidráulica del sistema. Lo anterior debido a que estos no fueron extraídos semanalmente, lo que hizo que se disminuyera el error aleatorio asociado con la toma de datos en proyectos experimentales.

En la Gráfica 7, mostrada a continuación, se muestra la comparación del espesor de la subcapa laminar viscosa, el espesor de la biopelícula y la rugosidad relativa.

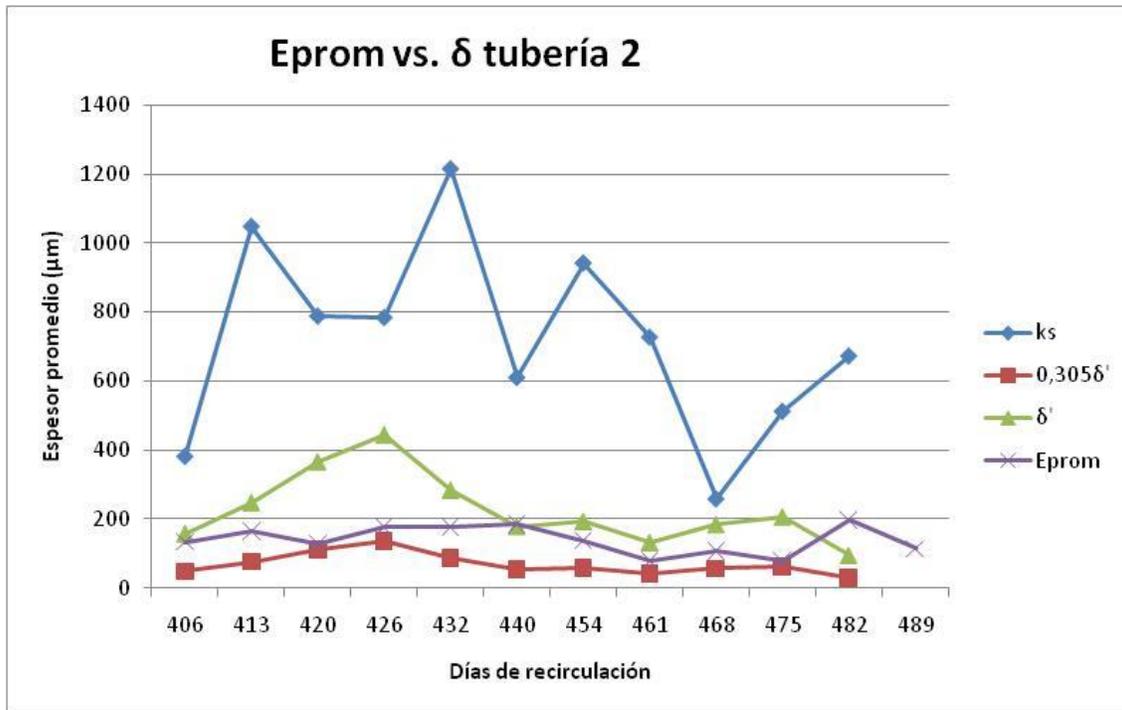
Gráfica 7 Relación entre el espesor de la biopelícula, la subcapa laminar viscosa y la rugosidad relativa de la tubería 1.



En la Gráfica 7 se observa que la rugosidad absoluta, k_s , se mantiene casi constante en la primera mitad del periodo de muestreo, mientras que en la otra mitad se presenta una fluctuación en los valores que toma la misma. Al comparar la rugosidad con el espesor de la subcapa laminar viscosa, se puede ver que el flujo es turbulento hidráulicamente liso debido a que la subcapa laminar es mayor que la rugosidad, lo que produce una turbulencia completa.

La magnitud de la rugosidad relativa se encuentra fuertemente influenciada por la velocidad de flujo, pues los rangos que llega a tomar esta variable son mayores y menores a medida que la velocidad de flujo aumenta, en comparación con velocidades menores. En el día 461 la tubería presentó una rugosidad elevada, mostrada en la gráfica anterior por un pico.

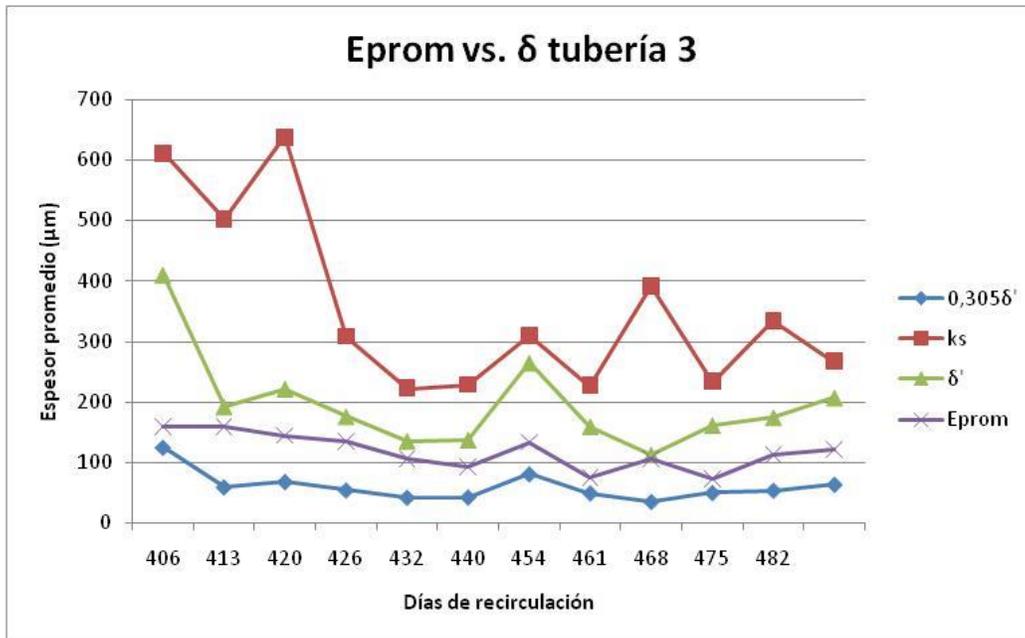
Gráfica 8 Relación entre el espesor de la biopelícula, la subcapa laminar viscosa y la rugosidad relativa de la tubería 2.



En la Gráfica 8 se observa que los valores que toma la rugosidad en la tubería 2 son mucho mayores, llegando hasta a 1200 μm, y menores, alcanzando los 210 μm. La tendencia de fluctuación de ks es más notable en esta tubería, aunque el espesor de la biopelícula y de la subcapa laminar viscosa, por su parte, se mantienen relativamente constantes.

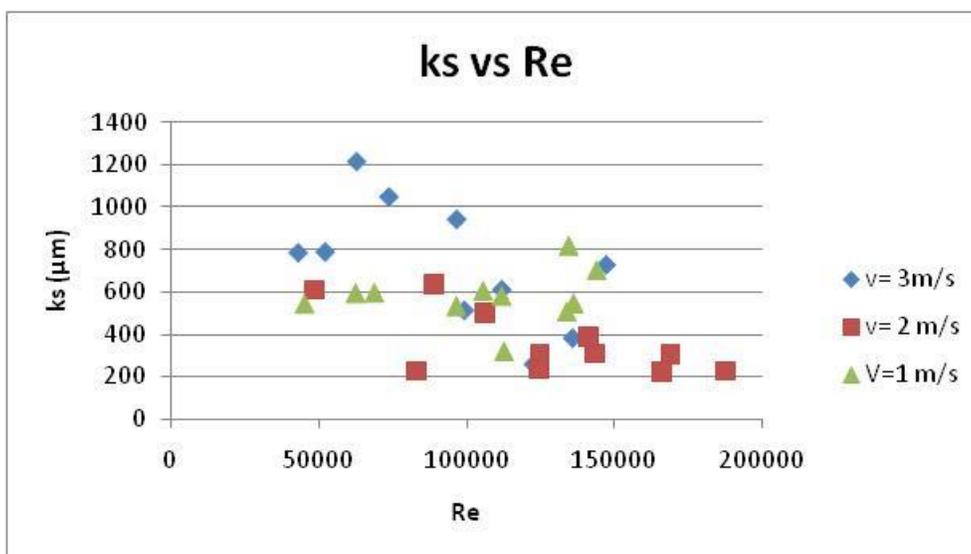
En las primeras semanas de medición se presentó un aumento en la subcapa laminar viscosa en las tres tuberías, que pudo ser ocasionado por cambios en los regímenes de flujo. Se presentó un cambio en el régimen de flujo el día 440 en las tres tuberías para ajustar el caudal, al inicialmente medido.

Gráfica 9 Relación entre el espesor de la biopelícula, la subcapa laminar viscosa y la rugosidad relativa de la tubería 3.



La Gráfica 9 muestra que en la tubería tres se observa que aunque que la rugosidad excede a la subcapa laminar viscosa, que a la vez supera al espesor promedio, al igual que en las otras dos tuberías, el espesor de la subcapa laminar viscosa no está muy lejos de alcanzar el tamaño de k_s . Adicionalmente se infiere que los desprendimientos masivos producidos en las tuberías se presentaron durante las semanas que disminuyo el sustrato disponible.

Gráfica 10 Relación entre la rugosidad de la tubería y el Número de Reynolds en las tres tuberías.



En la Gráfica 10 se observa que uno de los efectos hidráulicos importantes que tiene la biopelícula en las tuberías de distribución de agua potable, es el aumento del valor de la rugosidad absoluta, pues en todos los valores de rugosidad siempre es superior a $1,5 \mu\text{m}$ que sería la del PVC sin biopelícula. Esto también lo identifico Latorre (2004) y Trujillo (2012).

6.1.6. Efectos de la biopelícula en las pérdidas por fricción dentro de las tuberías

La medición de las pérdidas por fricción se realizó desde el 31 de Enero del 2013 hasta el 24 de Mayo del mismo año. Estas mediciones se realizaron con el fin de determinar todas las características hidráulicas necesarias para establecer el factor de fricción y el régimen de flujo que se presenta en cada tubería.

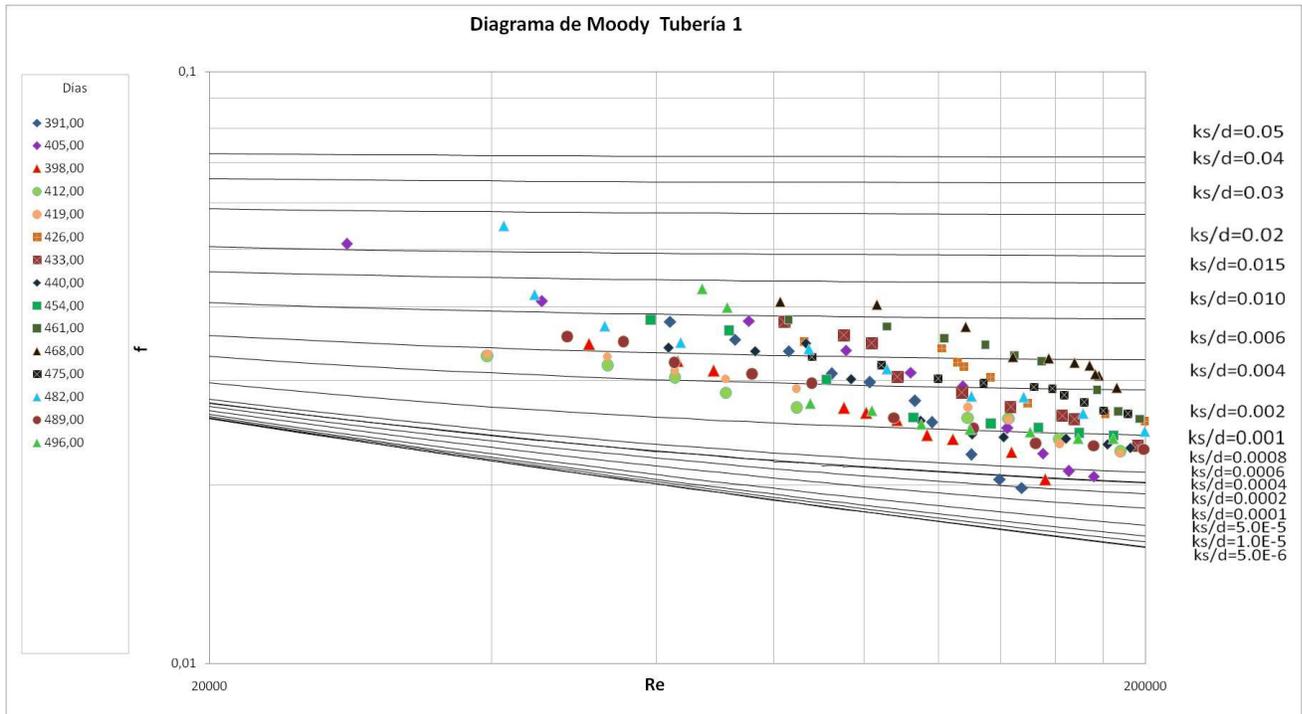
Las mediciones de las pérdidas de energía o la caída en las líneas piezométricas a lo largo de la longitud (L), se realizó mediante la lectura de los piezómetros aguas arriba y aguas abajo de la tubería. Con esos datos se determinó el caudal, la altura del vertedero, y la temperatura que permitieron establecer las pérdidas por fricción, como se muestra en el Anexo 1. Adicionalmente se calcularon los esfuerzos cortantes en las tuberías, la velocidad de corte, la subcapa laminar viscosa y el tipo de flujo presente, con el fin de determinar la relación existente entre el espesor de la biopelícula, la rugosidad relativa y el espesor de la subcapa laminar viscosa en el análisis presentado anteriormente en el documento.

El factor de fricción y el número de Reynolds se determinaron con los factores que se midieron experimentalmente y se procedió a graficar estas variables en el diagrama de Moody, con el objetivo de identificar la influencia de las biopelículas en el comportamiento de la rugosidad relativa en las tuberías representadas por las líneas de Moody.

6.1.6.1. Diagrama de Moody

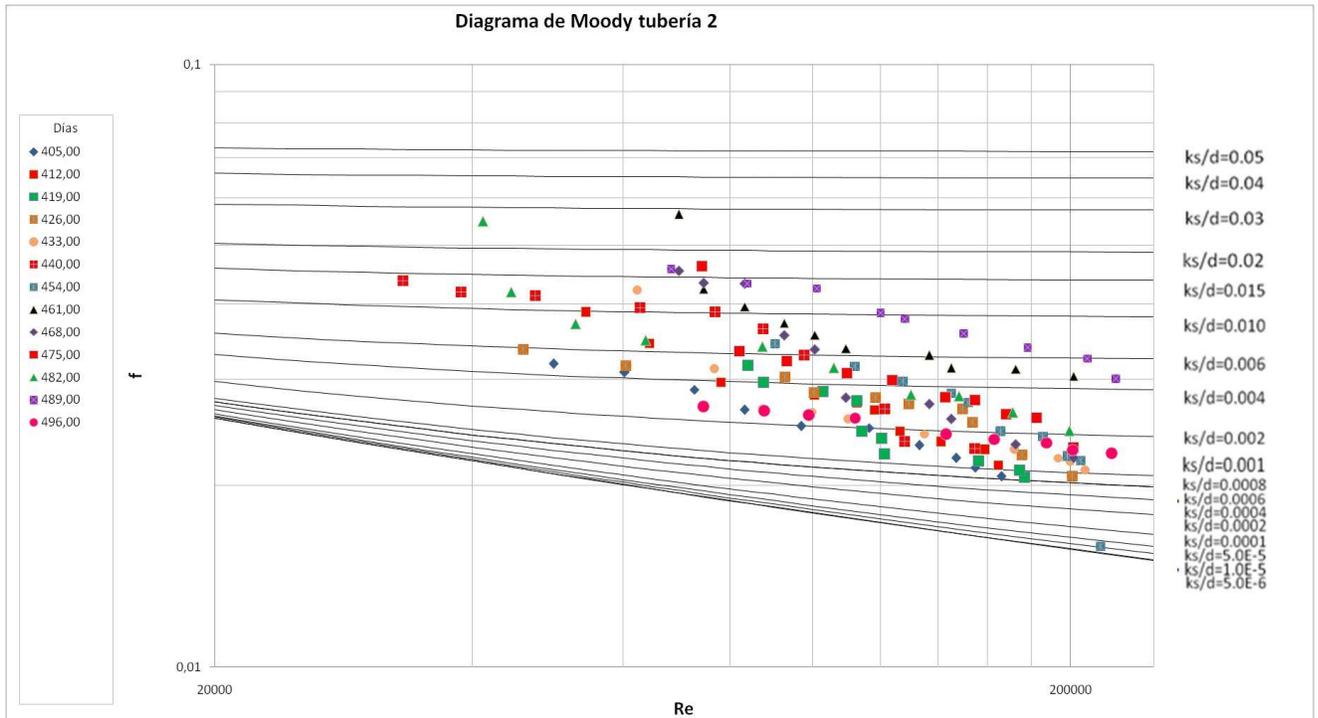
A continuación se muestran las gráficas del Diagrama de Moody para las tres tuberías con velocidades diferentes.

Gráfica 11 Diagrama de Moody para la tubería con velocidad de 1 m/s.



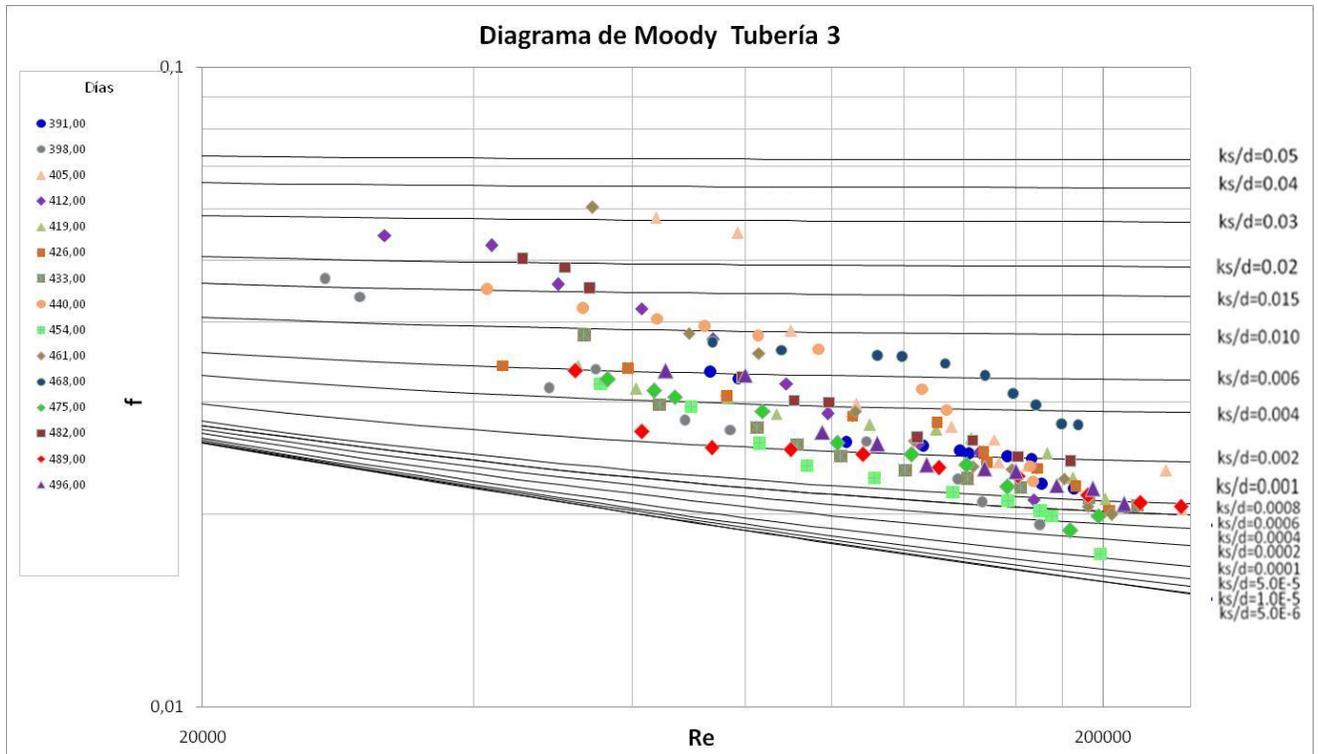
La Gráfica 11 muestra la variación del factor de fricción de Darcy-Weisbach con respecto al número de Reynolds, durante 98 días para la tubería con $v=1$ m/s. Aunque se presenta una tendencia en los datos, el factor de fricción no sigue la forma convencional del Diagrama de Moody ya que presentan algunos saltos en las curvas. Se evidencia que la variación de los factores de fricción alcanzados es alta y se alcanzan límites superiores a medida que el número de Reynolds disminuye. También se observa que el cociente de la rugosidad sobre el diámetro presenta un valor mínimo de 0.002 hasta alcanzar valores de 0.03.

Gráfica 12 Diagrama de Moody para la tubería con velocidad de 3 m/s.



En la Gráfica 12 se observa un rango mayor del cociente de la rugosidad sobre el diámetro mínimo que el de la tubería 1. En esta tubería se evidencia más claramente que con el aumento del número de Reynolds se disminuye el factor de fricción. Los factores de fricción presentados en esta tubería son, en general, mayores a los presentados en las tuberías de menor velocidad, aunque se presentan días en que las mediciones reflejan la propiedad que tienen las biopelículas de absorber y liberar energía del flujo gracias a sus propiedades visco-elásticas, lo que hace que se presenten saltos significativos en los datos observados (Picologlou, Zelter, & Characklis, 1980).

Gráfica 13 Diagrama de Moody para la tubería con velocidad de 2 m/s.



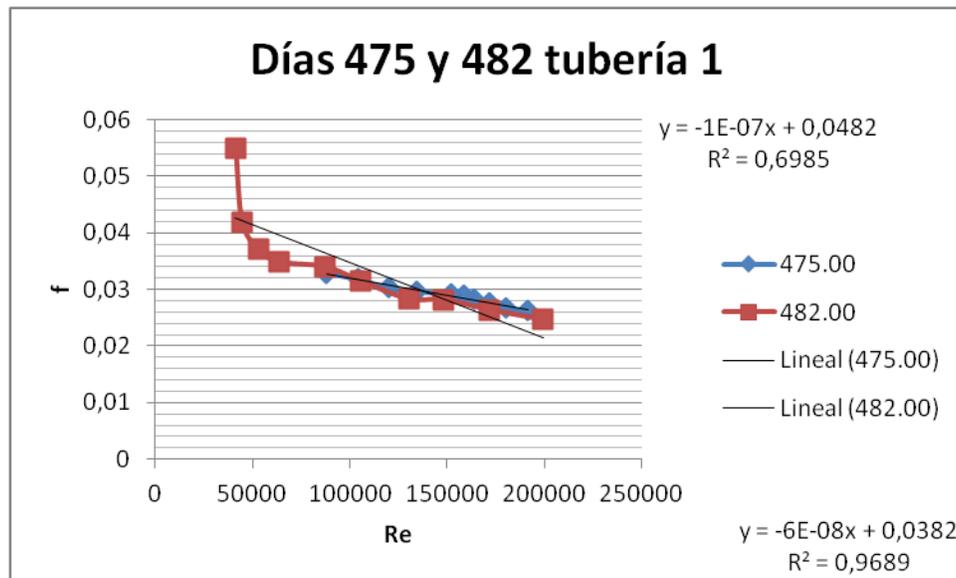
En la tubería 3 se presenta la misma tendencia de aumento del factor de fricción que se le puede atribuir a la biopelícula que contribuye a este aumento, pues la estructura filamentosa de la misma aumenta la resistencia del flujo con el aumento del número de Reynolds.

6.1.6.2. Efecto de la disminución de sustrato en el factor de fricción

A continuación, en la Gráfica 14, Gráfica 15 y Gráfica 16, se muestran los cambios que se presentaron en los factores de fricción durante las tres semanas en que no se cambió el pasto, disminuyendo así la cantidad de sustrato disponible para el desarrollo que venían teniendo las biopelículas hasta la fecha. Esta alteración en el curso normal del proyecto experimental, tuvo el mayor impacto entre los días 475 y 482, por lo que se analizaron los factores de fricción obtenidos contra los números de Reynolds establecido en las mediciones de las respectivas fechas.

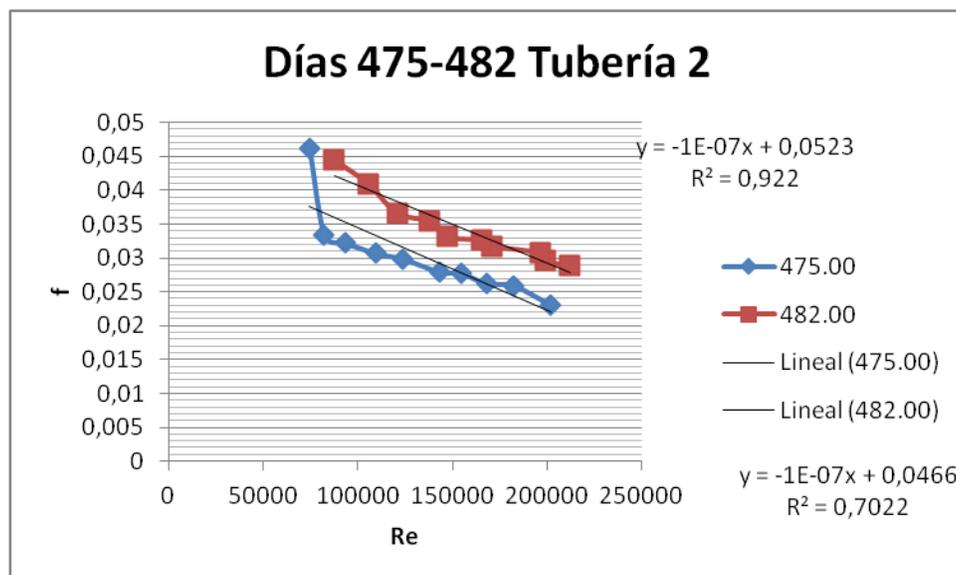
Por último se observa que la relación entre el tiempo y el factor de fricción es proporcional a ya que con el transcurso del tiempo de recirculación se obtienen factores de fricción más altos; también se escala en las curvas representadas por el cociente de rugosidad y diámetro de la tubería, características del diagrama de Moody.

Gráfica 14 Relación del factor de fricción y el número de Reynolds en los días 475 y 482 en la tubería 1.



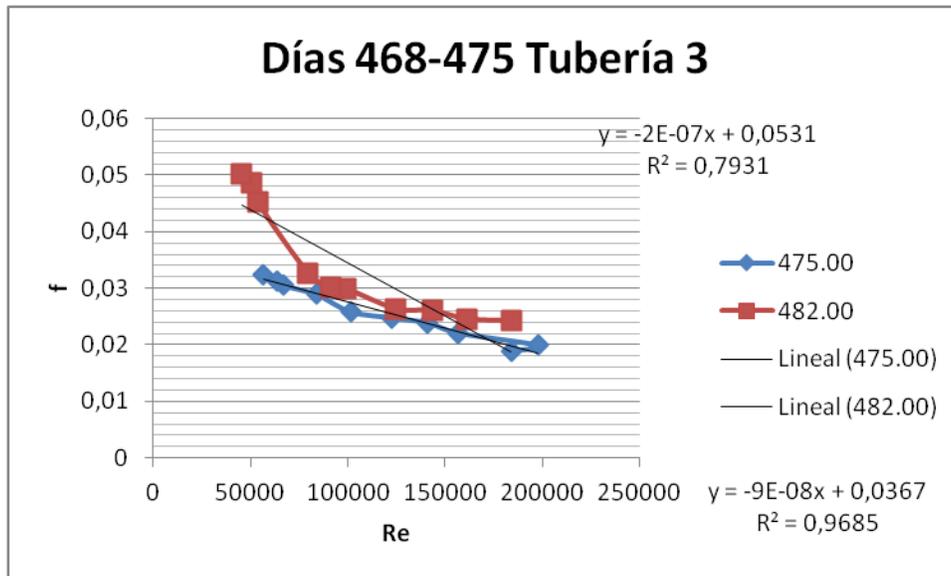
La tendencia que se presenta en estos días en las tuberías de menor velocidad es muy similar, pero en el día 482, semana en la cual se colocó nuevo pasto en el montaje, se observa un aumento en el factor de fricción reflejado en la línea de tendencia de los datos. La pérdida de atura ízométrica en la tubería debida a la fricción se puede explicar por la disminución del espesor de la biopelícula que se dio en los días 468 y 475 a causa de la falta de sustrato.

Gráfica 15 Relación del factor de fricción y el número de Reynolds en los días 475 y 482 en la tubería 2.



Para la tubería de mayor velocidad se evidencia con más claridad, el efecto de la disminución del sustrato en el montaje. Aunque se tiene una línea de pendiente de magnitud cercana de acuerdo a la línea de tendencia de las dos series de datos, el factor de fricción aumentó cuando se cambió el pasto.

Gráfica 16 Relación del factor de fricción y el número de Reynolds en los días 475 y 482 en la tubería 3



Los valores del día 468 de recirculación se encuentran por debajo que los obtenidos en el día 475. Se observa entonces como a medida que aumenta la velocidad, el impacto en el crecimiento y espesor de la biopelícula es más fuerte; esto se puede atribuir a que con el aumento de velocidad se tienen desprendimientos mayores, más que la de la influencia del factores de fricción dentro de las tuberías.

Se observa también como la biopelícula afecta el comportamiento del factor de fricción con respecto al número de Reynolds a causa de la perturbación de estructura filamentosa de la misma, que contribuye al aumento de la resistencia del flujo. Con mayor velocidad de flujo se estimulan en mayor medida los filamentos presentes en la película biológica.

Ilustración 7 Factor de fricción para Reynolds de 170000 para tubería 1.



Ilustración 8 Factor de fricción para Reynolds de 170000 para tubería 2.



Ilustración 9 Factor de fricción para Reynolds de 170000 para tubería 3.



Las ilustraciones 7, 8 y 9 muestran que el factor de fricción presenta una tendencia global a aumentar con el paso de los días. Los saltos o fluctuaciones del mismo se deben a desprendimientos de la biopelícula por efectos del esfuerzo cortante del flujo. Se presentan ciertos picos bajos en los días en que hubo limitación de nutrientes, por no cambiar el costal de pasto, y se evidencia un pico en las tres tuberías en las semanas cuando se cambió el costal después del periodo en que no se cambió el costal.

6.2. Análisis cualitativo

Se realizó un análisis mediante el método de comparación visual utilizando el registro fotográfico de las tuberías de vidrio. Se evalúa la propiedad organoléptica del color del agua, que aunque no representa la evolución de la biopelícula sino los efectos del cambio de los costales de pasto, es un indicativo de la calidad del agua que es distribuida en las redes de agua potable. Es necesario que el agua distribuida por el acueducto presente un color, olor, turbiedad y apariencias deseables para procurar la satisfacción de los usuarios.

Tabla 9 Registro fotográfico tuberías de vidrio.

Registro fotográfico	Velocidad y días de recirculación

	<p>7 de Febrero Velocidad: 1 m/s</p>
	<p>14 de Febrero Velocidad: 1m/s</p>
	<p>21 de Febrero Velocidad: 2 m/s</p>
	<p>28 de Febrero Velocidad: 2 m/s</p>
	<p>7 de Marzo Velocidad : 2m/s</p>
	<p>14 de Marzo Velocidad: 1m/s</p>

	<p>21de Marzo Velocidad: 2m/s</p>
	<p>4 de Abril Velocidad: 1m/s</p>
	<p>11 de Abril Velocidad :2m/s</p>
	<p>18 de Abril Velocidad :1m/s</p>
	<p>25 de Abril Velocidad :2 m/s</p>

	<p>2 de Mayo Velocidad :2 m/s</p>
	<p>9 de Mayo Velocidad :2 m/s</p>

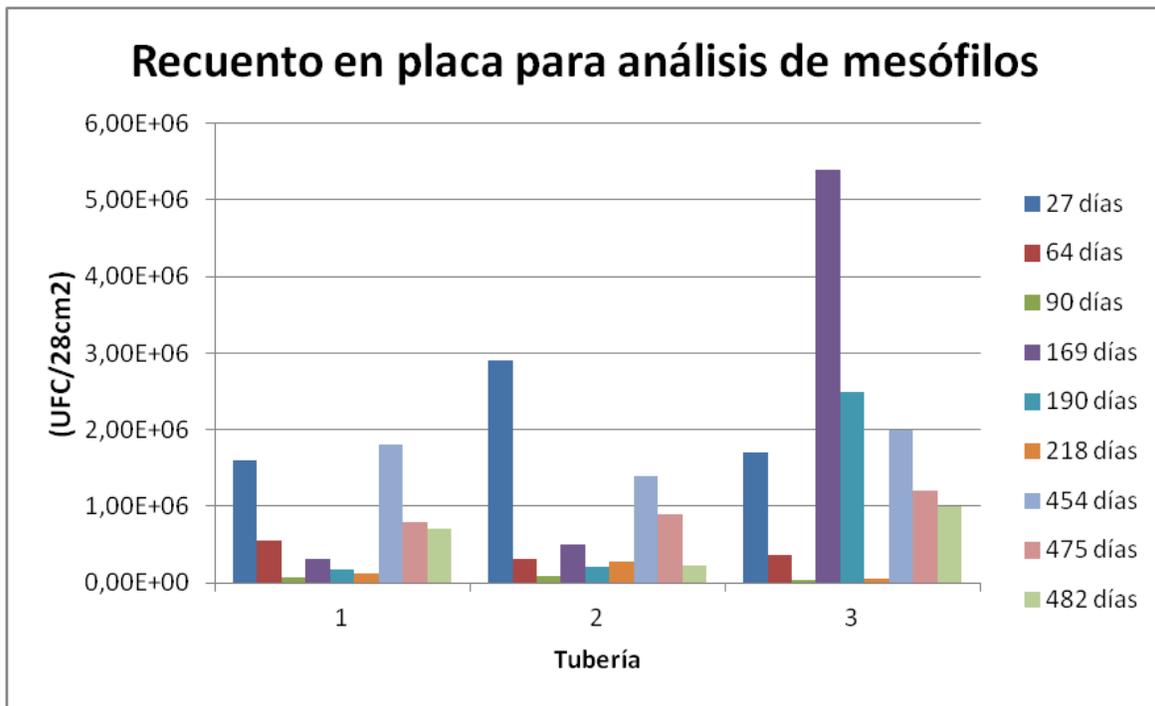
En el registro fotográfico se pueden observar las imágenes que muestran más claramente los cambios en el color de la tubería y el material adherido a las paredes del tubo de vidrio. El tubo que mejor evidenció estos cambios fue el correspondiente a la menor velocidad. Se observa que los días en que más cambio de color hubo fueron los días cercanos al cambio del costal de pasto; sin embargo no se puede evidenciar cambios significativos en el desarrollo de biopelículas en la tubería de vidrio. Los días en que se observaron mayores coloraciones y presencia de biopelícula fueron en los 440 y 454 días de recirculación, correspondientes a las fechas de 21 de Marzo y 4 de Abril de 2013.

6.3. Análisis comparativo con estudios anteriores

El presente proyecto se realizó con la finalidad de extender el proyecto de medición que comenzó Trujillo en el 2011 y continuó Vargas en el 2012. Con el fin de evaluar la dinámica de crecimiento y desprendimiento de las biopelículas en el sistema de recirculación alimentado con pasto como fuente de CODB, se recrearon las condiciones de cloro residual, velocidad de flujo y procedimiento para realizar las mediciones, para elaborar una comparación y contribución a los proyectos antes mencionados.

6.3.1. Cuento de Unidades formadoras de Colonia

Gráfica 17 Recuento en placa para análisis de mesófilos.

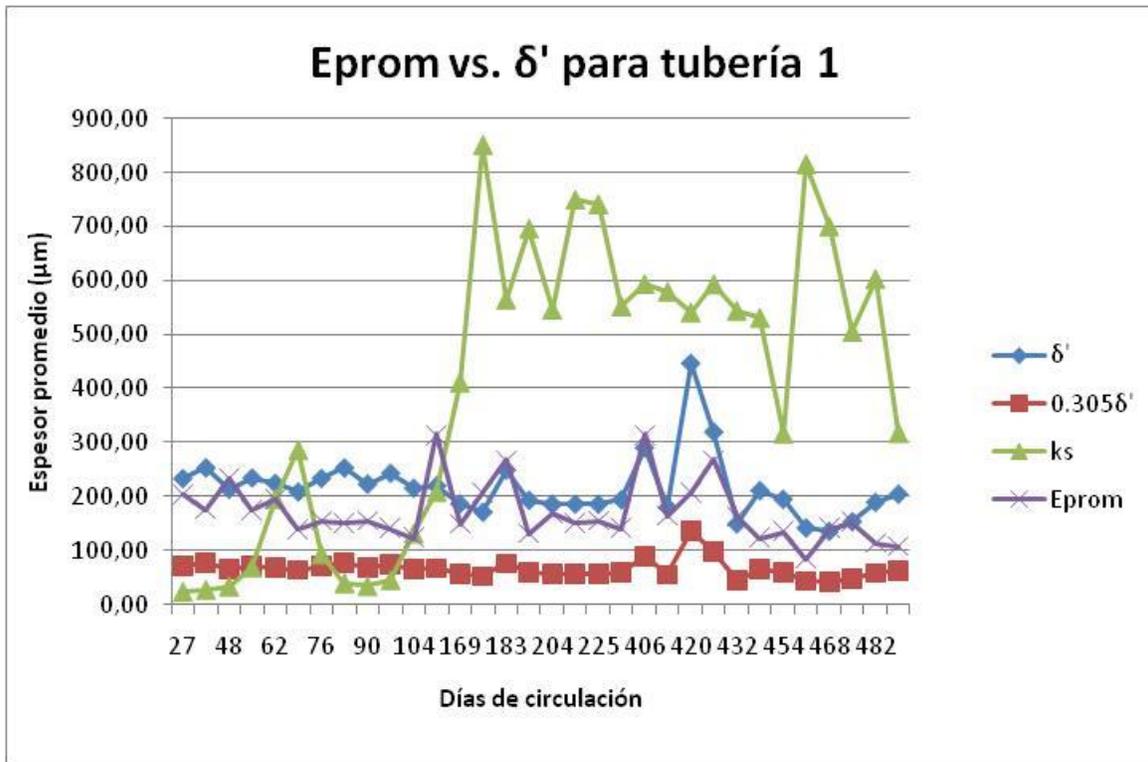


En la Gráfica 17 se puede apreciar que las mediciones más altas se tuvieron los primeros días de recirculación del montaje; se puede inferir que la ausencia de sustrato y el efecto tóxico de la cloración es muy significativo, pues en los días de altos conteos se realizó el cambio de costal de pasto después de un periodo largo de no contar con sustrato de calidad. Adicionalmente se observa que en los tres ciclos el efecto tóxico de la cloración continúa a lo largo del período de recirculación ya que se vio afectada considerablemente la formación de biopelícula en las tres tuberías.

Esto respalda lo concluido por María Ximena Trujillo en la tesis de “Modelación física de biopelículas en redes de distribución de agua potable alimentadas con carbono orgánico disuelto.” que planteó que sí es posible prevenir la formación de biopelículas en los sistemas de distribución de agua potable, minimizando la entrada de materia orgánica biodegradable a la red de distribución y manteniendo la concentración recomendada de desinfectante.

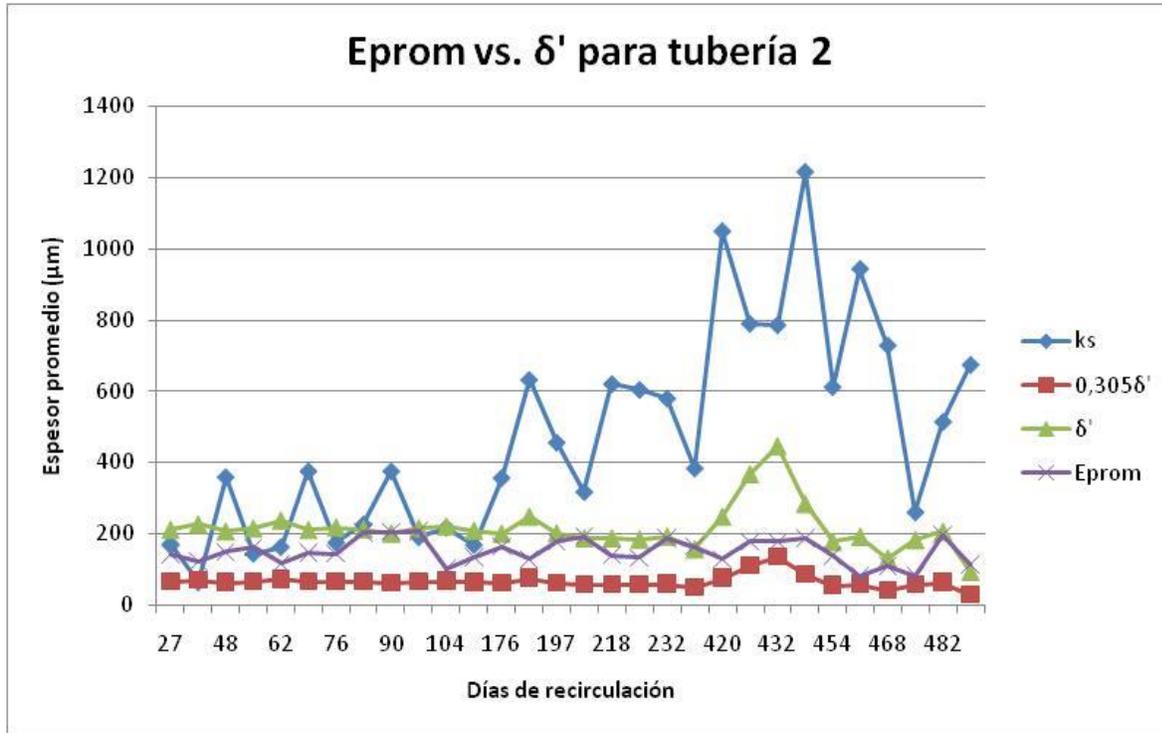
6.3.2. Comparación de la rugosidad absoluta, los espesores de la biopelícula y la subcapa laminar en cada tubería

Gráfica 18 Continuación datos de Trujillo y Vargas del espesor promedio, rugosidad y espesor de la subcapa laminar testigos de centro de la tubería 1.



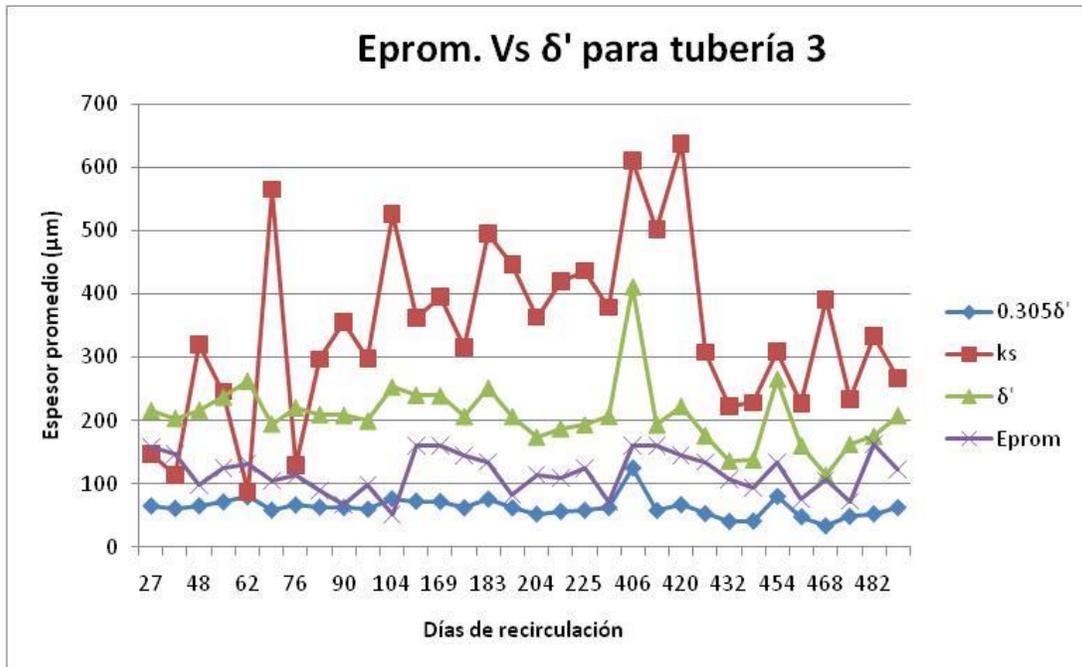
La Gráfica 18 muestra que en los primeros días de medición la rugosidad es menor que el espesor de la subcapa laminar viscosa, por lo que se maneja un flujo turbulento hidráulicamente liso, aunque cuenta con algunos segmentos que corresponden a flujo turbulento transicional. Con el paso de los días se observa como el flujo se transforma en turbulento hidráulicamente rugoso, pues a partir del día 104 Vargas (2012) calculó una rugosidad mayor que el espesor de la subcapa laminar.

Gráfica 19 Continuación datos de Trujillo y Vargas del espesor promedio, rugosidad y espesor de la subcapa laminar testigos de centro de la tubería 2.



En la Gráfica 19 se puede observar como la magnitud de la rugosidad relativa se encuentra influenciada por la velocidad de flujo, ya que se alcanzan valores más altos de rugosidad en la tubería 2 (3 m/s). Para el espesor de la biopelícula y de la subcapa laminar viscosa no se evidencia una influencia importante de la velocidad. El espesor de la subcapa laminar se mantuvo relativamente constante durante la totalidad de días durante los cuales se realizaron las mediciones, aunque se presentaron picos en los días que cambiaron las condiciones de flujo o de concentración de sustrato.

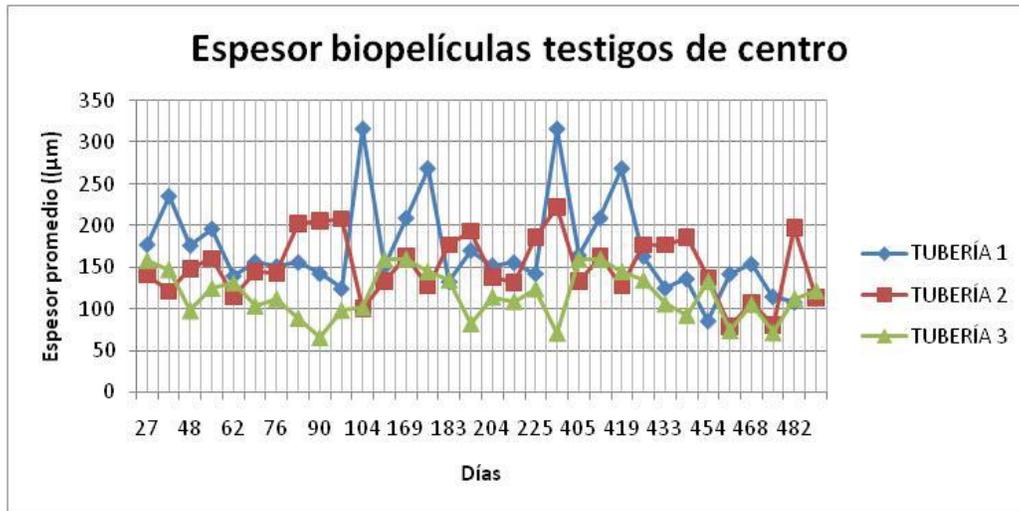
Gráfica 20 Continuación datos de Trujillo y Vargas del espesor promedio, rugosidad y espesor de la subcapa laminar testigos de centro de la tubería 3.



En tres tuberías se observa que la rugosidad excede a la subcapa laminar viscosa; está a su vez es mayor, en la mayoría del tiempo, que el espesor promedio de la tubería. Se concluye que los desprendimientos tienen un comportamiento similar al de la rugosidad pues los picos y mínimos de ambas variables se dan en los mismos días.

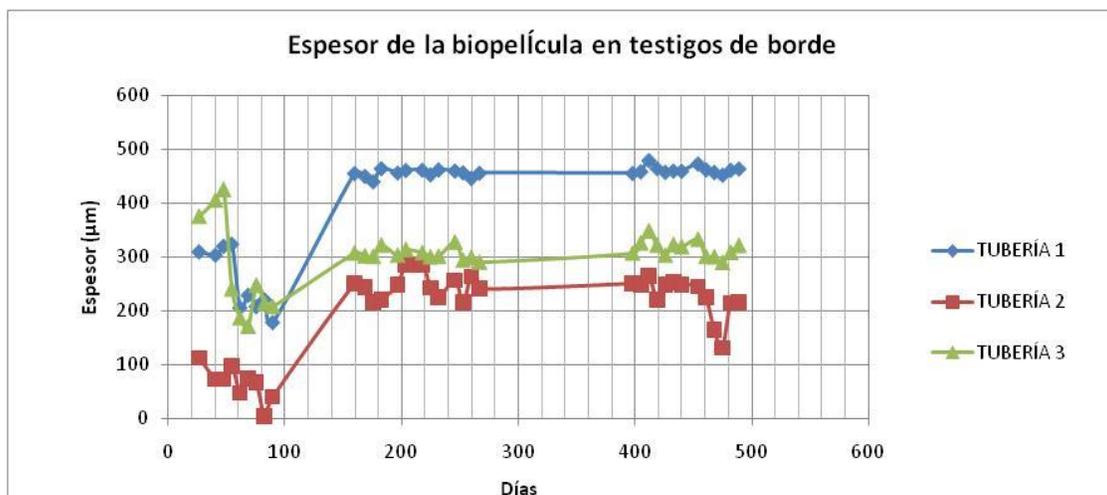
6.3.3. Comparación de espesores de testigos de centro

Gráfica 21 Datos de Trujillo, Vargas y Tamayo de espesor promedio testigos de centro.



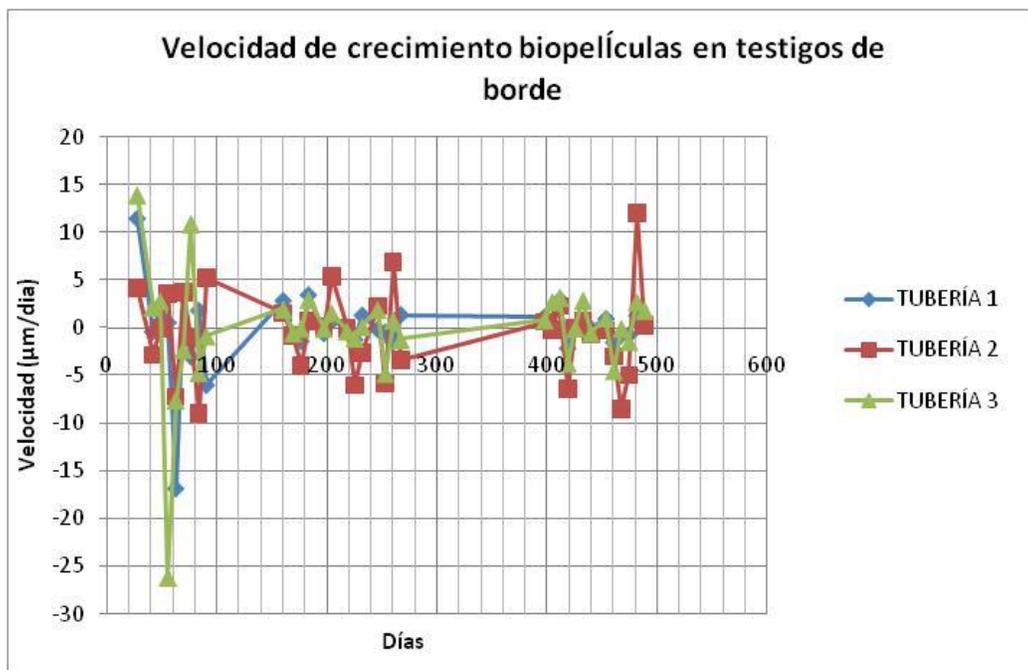
Se observa en la Gráfica 21 que la tendencia de crecimiento de las biopelículas se mantuvo constante; globalmente se observa que la tubería que mayor espesor presenta, es la de menor velocidad, seguida por la de velocidad media y por último la tubería con mayor velocidad. Los saltos de espesor que se presentan en los días 160 y 406 corresponden al cambio del orden de los testigos de borde, pues se comienzan las mediciones nuevamente de los testigos aguas arriba que presentaron un espesor mayor a los testigos de borde aguas abajo.

Gráfica 22 Datos de Trujillo, Vargas y Tamayo de espesor promedio testigos de borde.



En la Gráfica 22 se observa que en los primeros días de medición el desarrollo de la biopelícula fue más lento en la tubería de mayor velocidad, pero una vez formada se mantuvo el espesor sin caídas repentinas, lo que puede ser explicado por que a velocidades de flujo mayores se incrementa la transferencia de masa entre el flujo y la biopelícula, permitiéndole a ésta entrar en contacto con nutrientes limitantes del crecimiento. Sin embargo se observó que en la última etapa de medición el desprendimiento de la biopelícula ocurre con más facilidad en la tubería de mayor velocidad.

Gráfica 23 Datos de Trujillo, Vargas y Tamayo de velocidad de crecimiento del espesor de la biopelícula en testigos de borde

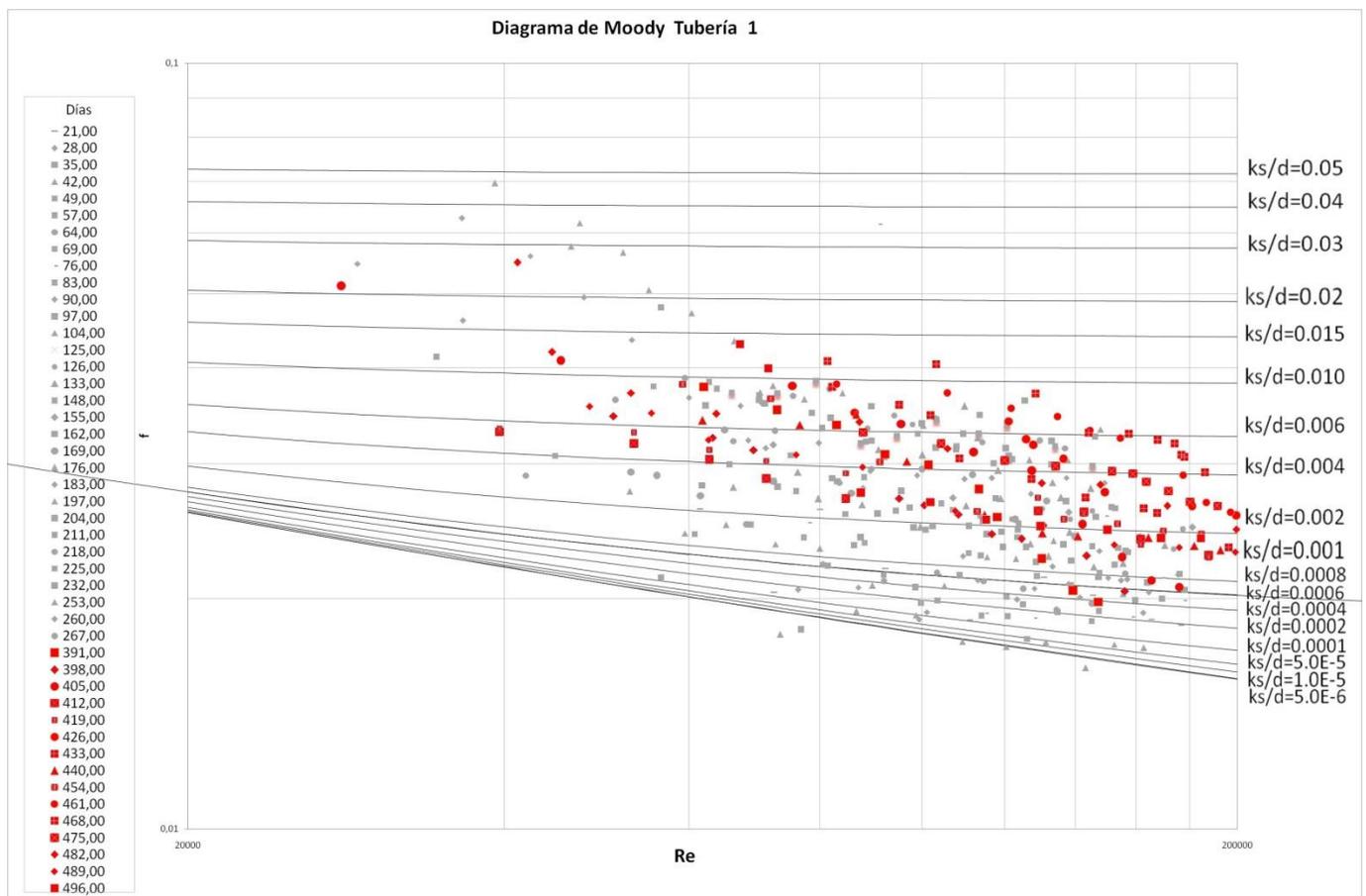


En la Gráfica 23 la tasa de cambio del espesor de la biopelícula en los primeros días muestra que la tubería con $v=1,5$ m/s fue la que presentó un mayor crecimiento inicial, mientras que en la de $v=3$ m/s el desarrollo de biomasa fue el menor, lo que se puede atribuir a que resulta más difícil la adherencia de los microorganismos pioneros al material liso, con velocidades altas. En las demás secciones de la gráfica se mantiene relativamente constante la velocidad de desarrollo, lo que indica que la tendencia en ambos casos es similar. Además una vez la película biológica se formó, las mayores fluctuación de velocidad se dieron en la tubería 2.

6.3.4. Comparación de los efectos de la biopelículas en las pérdidas por fricción en los trabajos de Trujillo (2011), Vargas (2012) y Tamayo (2013)

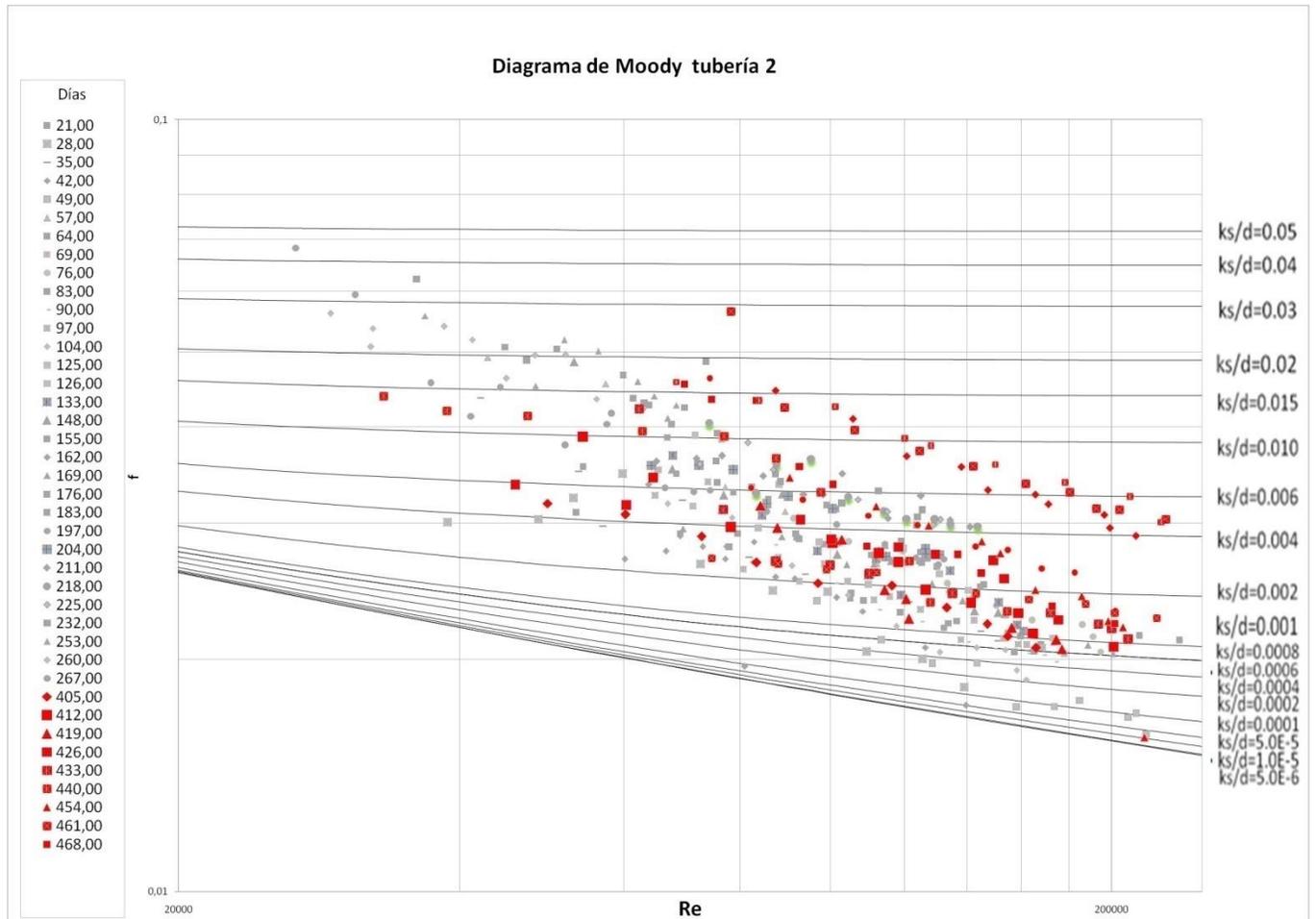
A continuación se muestran los diagramas de Moody para cada tubería, con los datos totales de Trujillo, Vargas y los obtenidos y expuestos en el presente trabajo. Se debe tener en cuenta que la velocidad de la tercera tubería sufrió una variación de 0.5 m/s en su velocidad y esto pudo alterar los resultados. En rojo se presentan los resultados obtenidos en el último periodo de medición y en grises los datos obtenidos en los dos trabajos antes mencionados.

Gráfica 24 Diagrama de Moody datos Trujillo, Vargas y Tamayo (v= 1 m/s).



De la Gráfica 24 se puede observar que el factor de fricción tiene a aumentar con el tiempo de recirculación. Se observa también que la relación entre el tiempo y el factor de fricción son proporcionales, debido a que con el paso de los días de recirculación se obtienen factores de fricción más altos y rugosidades relativas mayores.

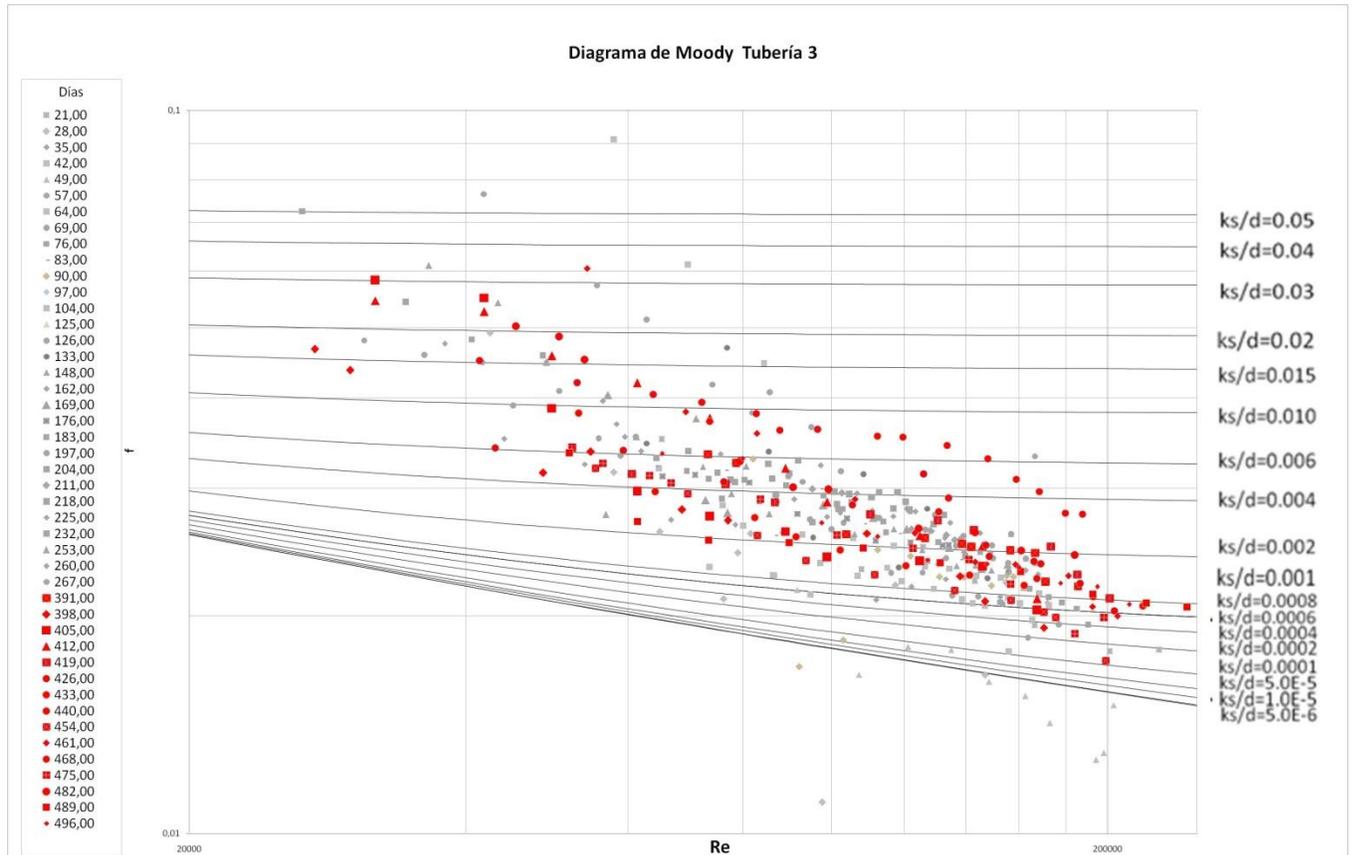
Gráfica 25 Diagrama de Moody datos Trujillo, Vargas y Tamayo ($v=3\text{ m/s}$).



En la Gráfica 25 y la Gráfica 26 el comportamiento del factor de fricción presenta una mayor flexibilidad como producto de la presencia de biopelículas. Se observan unos valores altos debido a que después de un periodo de no cambiar el pasto y disminuir el sustrato, se aumentó la concentración de CODB en el sistema.

El rango de valores que toma el valor de fricción para la tubería de velocidad media es el mayor, pero esto no se puede tomar como dato verídico, pues Vargas modificó la velocidad de flujo lo que pudo haber causado estas irregularidades. Comparando las primeras tuberías, se observa que durante todas las mediciones se presentaron valores de fricción mayores en aquellas tuberías de menor velocidad.

Gráfica 26 Diagrama de Moody datos Trujillo, Vargas y Tamayo ($v = 2$ m/s).



7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del presente estudio se concluyó que el principal efecto hidráulico de la biopelícula en las tuberías de las redes de distribución de agua potable, consistente en todas las pruebas realizadas, es el aumento del valor de rugosidad absoluta. Este a su vez depende de la cantidad y calidad del sustrato disponible y de la velocidad de flujo.

Las mediciones mostraron que el factor que más impacto tiene en la dinámica de crecimiento y desprendimiento de las biopelículas en sistemas de distribución de agua, fue la constancia con la que se suministró sustrato, o la disponibilidad de materia orgánica para uso de los microorganismos presentes en la película biológica.

La velocidad de flujo no tiene una influencia directa sobre la velocidad de desarrollo de las biopelículas, pues aunque se observaron patrones de desarrollo más rápidos en velocidades bajas, la regeneración de la biopelícula, posterior a los desprendimientos, fue mayor en la tubería de mayor velocidad debido a que se incrementa la transferencia de masa entre el flujo y la biopelícula, por lo que los microorganismos embebidos tienen un mayor contacto con nutrientes.

La disminución de la calidad del nutriente tuvo una influencia importante en el factor de fricción. Éste disminuyó cuando el cambio del costal de pasto fue mayor a una semana.

Los desprendimientos fueron mayores en la tubería con mayor velocidad; esto se le atribuye a los esfuerzos de cortante presentes en las paredes de las tuberías, que para mayores velocidades son mayores.

El pasto kikuyo, usado como fuente de carbono, causó variaciones importantes en los factores de fricción y las características hidráulicas del sistema. Se observó que es un nutriente de calidad, aprovechable por los microorganismos de la biopelícula, pues se presentaron crecimientos importantes del espesor en las fechas donde se realizó el cambio de costal. Adicionalmente los desprendimientos fueron mayores durante los días en que se mantuvo el mismo costal por más de una semana.

Se recomienda tener cuidado al momento de realizar las mediciones, pues si la bomba chupa aire las mediciones se ven afectadas y se deben repetir.

Es recomendable implementar un método de seguimiento cualitativo de las biopelículas diferente al registro fotográfico del tubo de vidrio, ya que los cambios observados en las fotografías no representan lo que ocurre dentro de las tuberías de PVC. Se podría realizar un mejor control cualitativo si se utilizan cámaras de inspección dentro de las tuberías y una cámara de video sumergible para observar el cambio de color de las paredes a medida que se desarrolla la película biológica.

8. BIBLIOGRAFÍA

Almeida, J. L. (1998). FORMACIÓN DE BIOPELÍCULAS Y SU IMPACTO EN LOS SISTEMAS DE CONDUCCIÓN DE AGUA. *Asociación Peruana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental* , 1-14.

Bernal, M. A. (2009). *Reglas de operación para el desprendimiento de biopelículas en sistemas de distribución de agua potable*. Bogotá D.C: Universidad de los Andes.

Carmen San José, Belén Orgaz. (2010). *La biopelículas microbianas, un bunker de uso habitual*.

Recuperado el 12 de Marzo de 2013, de

<http://www.analesranf.com/index.php/mono/article/viewFile/1110/1127>

Castilla, T. V. (2012). *BIOPELÍCULAS ALIMENTADAS CON CODB MEDIANTE PASTOS: DINÁMICA DE CRECIMIENTO Y DESPRENDIMIENTO EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE*. Bogotá: Universidad de los Andes.

CIACUA. (2009). *Investigación sobre los factores que generan la formación, crecimiento y posterior desprendimiento de biopelículas en las redes matrices de acueducto. Fase I*. Bogotá, D.C.: Centro de Investigaciones en Acueducto y Alcantarillado.

Gea-Izquierdo Enrique, Loza-Murguía Manuel. (Febrero de 2013). *Calidad del agua y Salud: Las biopelículas y Legionella*. Recuperado el 20 de Abril de 2013, de

http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2072-92942012000200005&script=sci_arttext

http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2072-92942012000200005&script=sci_arttext

Gelves, M. F. (2005). *Deterioro de la calidad de agua por el posible desprendimiento de las biopelículas en las redes de distribución de agua potable*. Bogotá: Universidad de los Andes.

Gelves, M. F. (2005). *Deterioro de la calidad del agua por el posible desprendimiento de las biopelículas en las redes de distribución de agua potable*. Bogotá: Universidad de los Andes.

Gelves, M. F. (2005). *Deterioro de la calidad del agua por el posible desprendimiento de las biopelículas en las redes de distribución de agua potable. Estado del arte*. Bogotá, D.C.: Universidad de los Andes.

Hilary M Lappin, Scott Costerton, J William Costerton. (2003). *Microbial Biofilms*. Reino Unido: Cambridge University Press.

Juliana Knobelsdorf, Rafael Mujeriego. (1997). Crecimiento bacteriano en las redes de distribución de agua potable: Una revisión bibliográfica. *Ingeniería del agua Vol. 4 No. 2* , 17-28.

L.C.Simoes, N.Azevedo, A.Pacheco, C.W.Keevil & M.J. Vieira. (2006). *“Drinking water biofilm assessment of total and culturable bacteria under different operating conditions”* . Braga, Portugal.: Taylor & Francis Group. .

Latorre, R. M. (2005). *Efecto hidráulico de las biopelículas en tuberías de agua potable*. Bogotá, D.C.: Universidad de los Andes.

LEWANDOWSKI, Z. (2005). *Special Edition of Water Science and Technology on Biofilm structure and Activity*. Bozeman: Z. Lewandowski and H. Beyenal.

Marisol Betancourth, Javier Enrique Boteo, Sandra Patricia Rivera. (2004). Biopelículas: una comunidad microscópica en desarrollo. *Colombia Médica Vol.35 número 003* , 34-39.

Matthew R. Parsek, E. G. (Enero de 2005). *ScienceDirect*. Recuperado el 4 de Enero de 2013, de Sociomicrobiology: the connections between quorum sensing and biofilms:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966842X04002616>

Melo L.F. (2008). *Biofilm physical structure, internal diffusivity and tortuosity*. Recuperado el 12 de Marzo de 2013, de <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/257/2/11677.pdf>

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. (2007). *Resolución 2115*. Bogotá.

Muñoz, L. (2010). *Velocidad de desprendimiento de las biopelículas en tuberías de distribución de agua potable*. Bogotá: Universidad de los Andes.

Murcia, M. A. (2009). *Biopelículas: Mecanismos y procesos para removerlas de los sistemas de distribución de agua potable*. Bogotá, D.C.: Universidad de los Andes.

Otero, L. (2005). *Efecto hidráulico de estructuras de soporte de biopelículas de alcantarillado*. Bogotá D.C.: Universidad de los ANDES.

P. CHANDY, M. L. ANGLES. (2001). *DETERMINATION OF NUTRIENTS LIMITING BIOFILM FORMATION AND THE SUBSEQUENT IMPACT ON DISINFECTANT DECAY*. Reino Unido: Elsevier Science Ltd.

Paul Stoodley, Zbigniew Lewandowski, John D. Boyle, Hilary M. Lappin-Scott. (1998). *Oscillation Characteristics of Biofilm Streamers in Turbulent Flowing Water as related to drag and pressure drop* . Devon, United Kingdom: Biotechnology and bioengineering Vol. 57. .

Picologlou, B. F., Zilver, N., & Characklis, W. G. (1980). Biofilm Growth and Hydraulic Performance. *106* (5).

Reyes, P. (2005). *Comportamiento de biopelículas luego de lavados sucesivos en tuberías de agua a presión*. Bogotá, D.C.: Universidad de los Andes.

Saldarriaga, J. G. (2007). *Hidráulica de tuberías. Abastecimiento de aguas, redes, riegos*. Bogotá, D.C.: Alfaomega.

Sánchez, R. M. (2005). *Efecto hidráulico de las biopelículas en las redes de distribución de agua potable*. Bogotá: Universidad de los Andes.

Sanchez, R. M. (2005). *Efecto hidráulico de las biopelículas en tuberías de agua potable*. Bogotá: Universidad de los Andes.

Stoodley P, Wilson S, Cargo R, Piscitelli C, Rupp CJ. (2001). "Detachment and other dynamic processes in bacterial biofilms". *Surfaces in Biomaterials Foundation* , 189-192.

Sutherland IW. (9 de Mayo de 2001). *NCBI PubMed*. Recuperado el 4 de Enero de 2013, de The biofilm matrix--an immobilized but dynamic microbial environment:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11336839?report=docsum>

Trujillo Gómez, M. X. (2011). *Modelación física de biopelículas en redes de distribución de agua potable alimentadas con carbono orgánico disuelto*. Bogotá: Universidad de los Andes.

Trujillo, M. X. (2011). *Modelación de biopelículas en redes de distribución de agua potable alimentadas con Carbono Orgánico Disuelto Biodegradable*. Bogotá: Universidad de los Andes.

Uzcudun, Í. L. (2003). *Biofilms bacterianos*. Recuperado el 28 de Enero de 2013, de Semicrobiología:
http://www.semicrobiologia.org/pdf/actualidad/SEM37_14.pdf

Vanegas, M. X. (2010). *Influencia de la fuente de carbono en el desarrollo de biopelículas y su efecto hidráulico en los sistemas de distribución de agua potable*. Bogotá: Universidad de los Andes.

Vargas, A. (2005). *Influencia de los materiales de las tuberías en el crecimiento de biopelículas en las redes de distribución de agua a presión*. Bogotá, Colombia.: Universidad de los Andes.

W. G. Characklis, K. E. Cooksey. (1990). *Advances in applied microbiology Vol.29*. Nueva York: Academic Press INC. (LONDON) LTD.

9. ANEXOS

9.1. ANEXO CÁLCULOS HIDRÁULICOS DE LAS TUBERÍAS CON PRESENCIA DE BIOPELÍCULAS

La determinación de los parámetros más relevantes fueron definitivos en la fase de construcción del proyecto, esto fue realizado por María Ximena Trujillo en el año 2011 y los resultados para la tubería 1, para la tubería 2 y para la tubería 3 se muestran en el Tabla 10.

Tabla 10 Parámetros relevantes para el cálculo hidráulico.

C	(-)	0,008551
n	(-)	2,460025
ϕ	(m)	0,108
A	(m ²)	0,009
L	(m)	2,765
Q	(L/s)	7,7658
Q	(m ³ /s)	0,0078
v	(m/s)	0,8477

Antes de prender la bomba se registra es la altura inicial (H_o) de cada uno de los vertederos con el limnómetro. Posteriormente se prende la bomba y se comienzan a registrar las alturas piezométricas; por cada medida se registra además la temperatura, la altura del vertedero y el tiempo en que se realiza la medición.

Con los datos obtenidos se procede, en principio, a calcular la viscosidad cinemática del agua y la densidad de la misma al interpolar con los datos encontrados en la literatura, y los mismos usados por Tatiana. Estos se muestran en el cuadro a continuación:

Tabla 11 Cambio de la viscosidad y densidad del agua con la temperatura.

T (°C)	μ (kg/ms)	ρ (kg/m ³)
20	0,001003	998,29
21	0,000979	998,09
22	0,000911	997,38
23	0,000933	997,62
24	0,000911	997,38
25	0,000891	997,13
26	0,000871	996,86
27	0,000852	996,59
28	0,000833	996,31
29	0,000815	996,02
30	0,000798	995,71

Fuente: [Base de datos]. [Consultado el 31 de Enero de 2013]. <Disponible en>:
http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/qui/denh2o.pdf

Tomando los datos del 31 de Enero de 2013, se muestran a continuación las temperaturas registradas para la tubería número 1.

Tabla 12 Datos registrados de temperatura por medición.

Medición	Temp (°C)	Minutos
1	24.9	155
2	25.2	160
3	25.3	164
4	25.4	168
5	25.4	172
6	25.4	176
7	25.5	179
8	25.5	181
9	25.5	184
10	25.6	186

Se encuentra entonces que la temperatura fluctúa entre 25 y 26°C, la ecuación que se utiliza para realizar la interpolación se muestra a continuación.

$$\mu_0 = \mu_{\text{tablaDe}T_{\text{max}}} - \frac{T_{\text{max}} - T_{\text{medida}}}{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}} * (\mu_{\text{tablaDe}T_{\text{max}}} - \mu_{\text{tablaDe}T_{\text{min}}})$$

Ecuación 8. Interpolación de la viscosidad según la temperatura medida.

donde:

- μ_0 = la viscosidad en la temperatura medida
- $\mu_{\text{tablaDe}T_{\text{max}}}$ = la viscosidad consignada en la Tabla 11 para el límite máximo en el que fluctúa la temperatura medida en la tubería dentro de las 10 mediciones.
- $\mu_{\text{tablaDe}T_{\text{min}}}$ = la viscosidad consignada en la Tabla 11 para el límite mínimo en el que fluctúa la temperatura medida en la tubería dentro de las 10 mediciones.
- T_{max} = límite máximo para la temperatura en la que fluctúa la medición en los registros realizados.

T_{min} = límite mínimo e para la temperatura en la que fluctúa la medición en los registros Reemplazando los valores en la ecuación se tiene:

$$\mu_0 = 0.00087 \frac{\text{kg}}{\text{ms}} - \frac{26 - T_{\text{medida}}}{26 - 25} * (0.00087 \frac{\text{kg}}{\text{ms}} - 0.00089 \frac{\text{kg}}{\text{ms}})$$

Ahora para encontrar la densidad en la temperatura medida se usa la misma ecuación pero reemplazando la viscosidad por los valores respectivos de las densidades.

$$\rho_0 = \rho_{\text{tablaDe}T_{\text{max}}} - \frac{T_{\text{max}} - T_{\text{medida}}}{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}} * (\rho_{\text{tablaDe}T_{\text{max}}} - \rho_{\text{tablaDe}T_{\text{min}}})$$

Ecuación 9. Interpolación de la densidad según la temperatura medida.

Reemplazando se obtiene

$$\rho_0 = 996.86 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - \frac{26 - T_{\text{medida}}}{26 - 25} * (996.86 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 997.13 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})$$

Los resultados se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13 Resultados de viscosidad, densidad y viscosidad cinemática para ejemplo.

T	μ	ρ
(°C)	(kg/ms)	(kg/m ³)
24.9	8.93E-04	997.1550
25.2	8.87E-04	997.0760
25.3	8.85E-04	997.0490
25.4	8.83E-04	997.0220
25.4	8.83E-04	997.0220
25.4	8.83E-04	997.0220
25.5	8.81E-04	996.9950
25.5	8.81E-04	996.9950
25.5	8.81E-04	996.9950
25.6	8.79E-04	996.9680

Con los datos de temperatura y de altura del vertedero se procede a calcular la velocidad de flujo haciendo uso de la ecuación de calibración para el primer vertedero esbozado en la Tabla 1. La fórmula se retoma en la Ecuación 910.

La viscosidad cinemática se calcula dividiendo la viscosidad μ por la densidad ρ , como se muestra:

$$v = \frac{\mu}{\rho} = \frac{8.93 * E^{-4} \frac{kg}{ms}}{997.1550 \frac{kg}{m^3}} = 8.96 * E^{-7} \frac{m^2}{s}$$

Tomando la altura para la medición 1, se tiene que $H_L = 34.03 \text{ cm}$ y si la altura inicial del vertedero uno fue 11.53 cm entonces:

$$Q = 0.0085(H_L - H_o)^{2.46} = 0.0085(30.03m - 11.53m)^{2.46} = 11.20 \frac{L}{s} * \frac{1m^3}{1000L} = 0.011202 \text{ m}^3/s$$

Ecuación 9. Cálculo del caudal para cada tubería.

La velocidad entonces se calcula como:

$$v = Q * \frac{4}{\pi * \phi^2} = \frac{0.011202 \text{ m}^3}{s} * \frac{4}{\pi * 0.108^2} = 1.22285 \text{ m/s}$$

Ecuación 10. Cálculo de la velocidad para cada tubería.

El diámetro usada en la ecuación anterior es el diámetro interno de las tuberías registrado por María Ximena en su proyecto de grado.

El siguiente paso es calcular el número de Reynolds como se muestra a continuación:

$$Re = \frac{d * v}{\nu} = \frac{0.108m * 1.22285 \frac{m}{s}}{8.96 * E^{-7} \frac{m^2}{s}} = 147471.7644$$

Las pérdidas por fricción se calculan con los registros de la altura piezométrica aguas arriba y aguas abajo para cada tubería. Con estos datos se realiza un promedio excluyendo los piezómetros conectados a la parte superior de las tuberías, ya que no arrojan datos razonables por la presencia de burbujas. El promedio se realiza aguas arriba (H_{prom1}) y aguas abajo (H_{prom2}) así la pérdida de la altura piezométrica (H_f) es la diferencia de (H_{prom1}) y (H_{prom2}).

Con estos datos se hace uso de la ecuación de Darcy-Weisbach que se muestra a continuación:

$$f = H_f * \frac{d}{l} * \frac{2g}{v^2}$$

Los datos de las alturas piezométricas se pueden observar en el anexo 9.2 H_f es igual a 0.13 m, entonces reemplazando los valores se tiene:

$$f = 0.13m * \frac{0,108m}{2.765m} * 2 * \frac{9,81 \frac{m}{s^2}}{\left(1.228 \frac{m}{s}\right)^2} = 0.01979$$

La rugosidad absoluta ahora se calcula con la Ecuación 5, resolviendo para k_s , entonces se tiene:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\sqrt{f}} &= -2 \cdot \log_{10} \left(\frac{k_s}{3,7d} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right) \rightarrow k_s = 3,7 * d \left(10^{-\frac{0,5}{\sqrt{f}}} - \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right) \\ &= 3,7 * 0,108 \left(10^{-0,5 \cdot \frac{1}{\sqrt{0,01979}}} - \frac{2,51}{147471,76 \cdot \sqrt{0,01979}} \right) = 1,1163E - 4 \text{ m} \end{aligned}$$

El esfuerzo cortante se debe calcular para determinar el espesor de la subcapa laminar viscosa, como se muestra a continuación:

$$\tau_0 = \frac{d}{4} \cdot \rho g \cdot \frac{H_f}{l} = \frac{0.108\text{m}}{4} \cdot 997.155 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{0.04\text{m}}{2.765\text{m}} = 3.69349 \frac{\text{Kg}}{\text{ms}^2}$$

Ahora se debe determinar: $v_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = \sqrt{\frac{3.69349 \frac{\text{Kg}}{\text{ms}^2}}{997.155 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 0.06086 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ para finalmente calcular el espesor de la subcapa laminar viscosa:

$$\delta' = 11,6 \cdot \frac{\mu}{u_* \rho} = 11,6 \cdot \frac{8.93 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{ms}}}{0,06086 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 997.155 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \cdot 1000000 = 170.6905 \mu\text{m}$$

9.2. ANEXO BASE DE DATOS SEMANAL, MEDICIONES:

2/14/2013	405.00	1	10.34		30.200	0.001	997.130	8.94E-07	0.013338	1.455999	175978.2	1.003	1.010	1.010	1.008	0.949	0.952	0.950	0.950	0.054	0.058	0.060	0.057	0.0207	1.34E-04	5.476418	0.074109	139.865788	
			10.34		29.730	0.001	997.155	8.96E-07	0.012575	1.372693	165542.1	0.982	0.985	0.984	0.984	0.928	0.933	0.934	0.932	0.932	0.054	0.052	0.050	0.052	0.02113	1.45E-04	4.967109	0.070578	147.189316
			10.34		29.230	0.001	997.155	8.96E-07	0.011792	1.287248	155237.7	0.954	0.956	0.958	0.956	0.904	0.908	0.909	0.907	0.907	0.050	0.048	0.049	0.049	0.02264	1.90E-04	4.680545	0.070578	151.6281789
			10.34		28.590	0.001	997.180	8.98E-07	0.010834	1.1826	142302.4	0.913	0.915	0.916	0.915	0.867	0.871	0.869	0.869	0.869	0.046	0.044	0.047	0.046	0.025	2.75E-04	4.36225	0.066141	157.4124183
			10.34		27.790	0.001	997.180	8.98E-07	0.009703	1.059126	127444.7	0.892	0.894	0.893	0.893	0.845	0.852	0.853	0.850	0.850	0.047	0.042	0.040	0.043	0.02935	4.82E-04	4.10752	0.06418	162.2200083
			10.34		26.920	0.001	997.205	9.00E-07	0.008556	0.933917	112130.6	0.866	0.888	0.867	0.874	0.836	0.839	0.840	0.838	0.830	0.049	0.027	0.035	0.03101	5.79E-04	3.375256	0.058178	179.3514374	
			10.34		25.880	0.001	997.205	9.00E-07	0.007295	0.796341	95612.54	0.827	0.828	0.829	0.828	0.798	0.800	0.802	0.800	0.029	0.028	0.027	0.028	0.0308	5.79E-04	2.674731	0.05179	201.4736021	
			10.34		24.470	0.001	997.255	9.03E-07	0.005773	0.6302	75332.69	0.768	0.770	0.771	0.770	0.745	0.752	0.753	0.750	0.023	0.018	0.018	0.020	0.03791	1.08E-03	1.878774	0.043404	241.4584238	
			10.34		21.830	0.001	997.255	9.03E-07	0.003471	0.37889	45291.72	0.694	0.696	0.698	0.696	0.686	0.690	0.689	0.688	0.008	0.006	0.009	0.008	0.04088	1.34E-03	0.732404	0.0271	386.72696	
		10.34		19.790	0.001	997.255	9.03E-07	0.002146	0.234254	28002.17	0.657	0.659	0.660	0.659	0.653	0.655	0.657	0.655	0.004	0.004	0.003	0.004	0.05115	2.46E-03	0.35028	0.018742	559.2062602		
		10.25		29.820	0.001	997.380	9.13E-07	0.012864	1.404253	166039.5	1.007	0.931	0.938	0.959	0.953	0.882	0.881	0.905	0.054	0.049	0.057	0.053	0.02071	1.34E-04	5.09562	0.071477	148.233898		
		10.25		29.190	0.001	997.255	9.03E-07	0.011869	1.295646	154878.7	0.986	0.914	0.926	0.942	0.941	0.872	0.872	0.895	0.045	0.042	0.054	0.047	0.02143	1.54E-04	4.489952	0.067099	156.1920089		
		10.25		28.800	0.001	997.255	9.03E-07	0.011277	1.230998	147150.8	0.965	0.905	0.916	0.929	0.939	0.856	0.859	0.885	0.026	0.049	0.057	0.044	0.02223	1.77E-04	4.203359	0.064922	161.4289424		
		10.25		28.080	0.001	997.280	9.05E-07	0.010231	1.116769	133203.8	0.945	0.888	0.899	0.911	0.908	0.845	0.865	0.873	0.037	0.043	0.034	0.038	0.02333	2.13E-04	3.630265	0.060334	174.0876704		
		10.25		27.130	0.001	997.280	9.05E-07	0.008941	0.976038	116417.9	0.885	0.818	0.846	0.850	0.838	0.804	0.814	0.819	0.047	0.014	0.032	0.031	0.02491	2.71E-04	2.961532	0.054494	192.7431557		
		10.25		25.920	0.001	997.280	9.05E-07	0.007446	0.812829	96951.05	0.836	0.775	0.809	0.807	0.795	0.779	0.781	0.785	0.041	-0.004	0.028	0.022	0.02511	2.79E-04	2.069888	0.045558	230.5492751		
		10.25		24.980	0.001	997.280	9.05E-07	0.006395	0.698084	83264.69	0.805	0.748	0.783	0.779	0.778	0.751	0.756	0.762	0.027	-0.003	0.027	0.017	0.02671	3.48E-04	1.624066	0.040355	260.2767357		
		10.25		24.190	0.001	997.280	9.05E-07	0.005584	0.609558	72705.62	0.771	0.724	0.739	0.745	0.739	0.724	0.729	0.731	0.032	0.000	0.010	0.014	0.02885	4.54E-04	1.337466	0.036621	286.8109937		
	10.25		23.180	0.001	997.305	9.07E-07	0.004641	0.506594	60292.48	0.718	0.692	0.713	0.708	0.698	0.696	0.698	0.697	0.020	-0.004	0.015	0.010	0.03083	5.67E-04	0.987202	0.031462	334.5197554			
	10.25		22.230	0.001	997.355	9.11E-07	0.003847	0.419885	49755.4	0.659	0.643	0.653	0.652	0.650	0.638	0.645	0.644	0.009	0.005	0.008	0.007	0.03184	6.30E-04	0.70063	0.026504	398.8894703			
	10.23	1	33.160	0.001	997.405	9.15E-07	0.018996	2.073613	244654	1.022	1.034	0.977	1.011	0.901	0.904	0.885	0.897	0.121	0.130	0.092	0.114	0.02036	1.25E-04	10.92401	0.104654	101.4616627			
	10.23	2	32.790	0.001	997.405	9.15E-07	0.018251	1.992268	235056.5	1.007	1.010	0.955	0.991	0.886	0.871	0.851	0.869	0.121	0.139	0.104	0.121	0.0234	2.15E-04	11.59283	0.10781	98.94140739			
	10.23	3	29.800	0.001	997.430	9.17E-07	0.012864	1.404253	165322	0.882	0.883	0.869	0.878	0.819	0.820	0.811	0.817	0.063	0.063	0.058	0.061	0.02381	2.30E-04	5.860257	0.076651	138.8287952			
	10.23	4	29.180	0.001	997.380	9.13E-07	0.011885	1.29733	153396.8	0.851	0.854	0.837	0.847	0.795	0.797	0.791	0.794	0.056	0.057	0.046	0.053	0.02411	2.41E-04	5.063772	0.071254	148.6993117			
	10.23	5	29.100	0.001	997.405	9.15E-07	0.011762	1.283898	151479.9	0.840	0.849	0.824	0.838	0.785	0.787	0.772	0.781	0.055	0.062	0.052	0.056	0.02616	3.24E-04	5.382383	0.07346	144.5458685			
	10.23	6	28.270	0.001	997.380	9.13E-07	0.01053	1.149405	135906.1	0.823	0.825	0.808	0.819	0.776	0.779	0.759	0.771	0.047	0.046	0.049	0.047	0.02743	3.82E-04	4.522363	0.067337	157.3487685			
	10.23	7	26.550	0.001	997.355	9.11E-07	0.008229	0.898301	106446.5	0.754	0.757	0.749	0.753	0.722	0.722	0.722	0.032	0.035	0.027	0.031	0.02973	5.03E-04	2.993602	0.054786	192.9745273				
	10.23	8	25.490	0.001	997.380	9.13E-07	0.006976	0.761506	90040.85	0.724	0.722	0.719	0.722	0.696	0.696	0.685	0.692	0.028	0.026	0.034	0.029	0.03873	1.15E-03	2.802591	0.053009	199.8785473			
	10.23	9	24.660	0.001	997.355	9.11E-07	0.006079	0.663627	78638.21	0.705	0.706	0.703	0.705	0.677	0.676	0.666	0.673	0.028	0.030	0.037	0.032	0.05055	2.95E-03	3.025448	0.050577	191.956185			
	10.23	10	23.480	0.001	997.355	9.11E-07	0.004929	0.537996	63751.23	0.674	0.675	0.673	0.674	0.659	0.656	0.641	0.652	0.015	0.019	0.032	0.022	0.05819	3.38E-03	2.10189	0.045907	230.2989431			
	2/21/2013	412.00	1	11.86		30.640	9.59E-04	997.8770	9.61E-07	0.011624	1.268886	142654.7	0.985	0.989	0.989	0.988	0.937	0.944	0.945	0.942	0.048	0.045	0.044	0.046	0.02171	1.62E-04	4.365299	0.066141	168.4806103
				11.86		29.270	9.52E-04	997.8060	9.54E-07	0.009648	1.053163	119239.4	0.966	0.970	0.972	0.969	0.931	0.939	0.939	0.936	0.035	0.031	0.033	0.033	0.02278	1.94E-04	3.154261	0.056225	196.8030346
				11.86		28.020	9.52E-04	997.8060	9.54E-07	0.008032	0.87679	99270.43	0.953	0.955	0.958	0.955	0.929	0.932	0.933	0.931	0.024	0.023	0.025	0.024	0.0239	2.33E-04	2.294008	0.047948	230.7720137
				11.86		27.930	9.52E-04	997.8060	9.54E-07	0.007923	0.864827	97915.89	0.936	0.940	0.942	0.939	0.901	0.920	0.921	0.914	0.035	0.020	0.021	0.025	0.02593	3.14E-04	2.421453	0.049262	224.6169842
				11.86		26.610	9.52E-04	997.8060	9.54E-07	0.006416	0.700418	79301.53	0.920	0.922	0.924	0.922	0.896	0.911	0.909	0.905	0.024	0.011	0.015	0.017	0.02601	3.17E-04	1.593061	0.039957	276.9264165
				11.86		25.230	9.52E-04	997.8060	9.54E-07	0.005039	0.550061	62278.11	0.904	0.906	0.907	0.906	0.888	0.898	0.899	0.895	0.016	0.008	0.008	0.011	0.02699	3.61E-04	1.019559	0.031966	346.1580206
11.86					24.980	9.45E-04	997.7350	9.47E-07	0.00481	0.525104	59875.92	0.894	0.896	0.897	0.896	0.881	0.887	0.888	0.885	0.013	0.009	0.009	0.010	0.02869	4.66E-04	0.987628	0.031462	349.2091004	
11.86					23.600	9.45E-04	997.7350	9.47E-07	0.00366	0.399494	45553.03	0.874	0.888	0.887	0.883	0.873	0.879	0.878	0.877	0.001	0.009	0.009	0.006	0.03038	5.40E-04	0.60532	0.024631	446.0562196	
11.86					23.360	9.45E-04	997.7350	9.47E-07	0.003478																				

2/28/2013	419.00	1	10.45	31.600	9.13E-04	997.4040	9.16E-07	0.015572	1.699794	200505.1	0.917	0.945	0.929	0.930	0.849	0.850	0.856	0.852	0.068	0.095	0.073	0.079	0.02084	1.38E-04	7.51622	0.086809	122.3456674
			10.45	30.840	8.91E-04	997.3800	8.93E-07	0.014231	1.553456	187804.3	0.921	0.927	0.896	0.915	0.842	0.846	0.842	0.843	0.079	0.081	0.054	0.071	0.02263	1.90E-04	6.815392	0.082664	125.3602821
			10.45	29.640	8.91E-04	997.3800	8.93E-07	0.012258	1.338124	161771.9	0.869	0.873	0.865	0.869	0.818	0.817	0.807	0.814	0.051	0.056	0.058	0.055	0.02352	2.19E-04	5.254858	0.072586	142.7660275
			10.45	28.690	8.91E-04	997.3550	8.93E-07	0.010819	1.181007	142773.7	0.840	0.841	0.823	0.835	0.789	0.789	0.785	0.788	0.051	0.052	0.038	0.047	0.0258	3.08E-04	4.490402	0.067099	154.4429815
			10.45	27.960	8.91E-04	997.3550	8.93E-07	0.009785	1.068107	129125.1	0.765	0.768	0.758	0.764	0.725	0.726	0.719	0.723	0.040	0.042	0.039	0.040	0.02707	3.65E-04	3.853466	0.062159	166.7189814
			10.45	25.200	8.91E-04	997.3550	8.93E-07	0.006416	0.700418	84674.61	0.720	0.720	0.715	0.718	0.701	0.701	0.697	0.700	0.019	0.019	0.018	0.019	0.02913	4.70E-04	1.783422	0.042287	245.0663711
			10.45	24.190	8.91E-04	997.3550	8.93E-07	0.005389	0.588269	71116.68	0.695	0.696	0.690	0.694	0.683	0.681	0.676	0.680	0.012	0.015	0.014	0.014	0.03023	5.32E-04	1.30572	0.036183	286.4084356
			10.45	23.510	8.91E-04	997.3550	8.93E-07	0.004756	0.519216	62768.79	0.678	0.680	0.676	0.678	0.669	0.667	0.665	0.667	0.009	0.013	0.011	0.011	0.03124	5.92E-04	1.050945	0.032461	319.2425444
			10.45	22.660	8.91E-04	997.3550	8.93E-07	0.004031	0.439995	53191.64	0.660	0.660	0.658	0.659	0.652	0.651	0.650	0.651	0.008	0.009	0.008	0.008	0.03295	7.03E-04	0.796171	0.028254	366.7817591
			10.45	21.280	8.91E-04	997.3550	8.93E-07	0.003001	0.327576	39601.13	0.640	0.641	0.635	0.639	0.636	0.635	0.631	0.634	0.004	0.006	0.004	0.005	0.03329	7.26E-04	0.445856	0.021143	490.1327423
2/28/2013	419.00	2	10.20	30.100	8.91E-04	997.2800	8.93E-07	0.013404	1.463224	176878.1	0.818	0.807	0.795	0.807	0.751	0.751	0.745	0.749	0.067	0.056	0.050	0.058	0.02062	1.32E-04	5.509087	0.074324	139.4399896
			10.20	29.990	8.91E-04	997.3300	8.93E-07	0.013223	1.443407	174491.3	0.795	0.791	0.795	0.794	0.736	0.737	0.735	0.736	0.059	0.054	0.060	0.058	0.02119	1.47E-04	5.509363	0.074324	139.4329989
			10.20	29.130	8.91E-04	997.2800	8.93E-07	0.011854	1.293964	156417.5	0.794	0.780	0.770	0.781	0.735	0.735	0.730	0.733	0.059	0.045	0.040	0.048	0.02195	1.68E-04	4.585598	0.067809	152.8372262
			10.20	27.270	8.91E-04	997.3300	8.93E-07	0.009191	1.003287	121285.8	0.761	0.757	0.740	0.753	0.725	0.721	0.723	0.723	0.036	0.036	0.017	0.030	0.02256	1.87E-04	2.834296	0.053309	194.3988164
			10.20	27.220	8.91E-04	997.3050	8.93E-07	0.009125	0.996073	120410.7	0.740	0.738	0.730	0.736	0.707	0.707	0.701	0.705	0.033	0.031	0.029	0.031	0.02392	2.34E-04	2.961606	0.054494	190.1770174
			10.20	26.860	8.91E-04	997.3800	8.93E-07	0.008657	0.945041	114250.3	0.715	0.713	0.705	0.715	0.682	0.682	0.683	0.682	0.033	0.031	0.022	0.029	0.02457	2.58E-04	2.738896	0.052403	197.7505144
			10.20	26.770	8.91E-04	997.3300	8.93E-07	0.008543	0.932532	112732.4	0.715	0.712	0.710	0.712	0.680	0.681	0.682	0.681	0.035	0.031	0.028	0.031	0.02758	3.90E-04	2.993527	0.054786	189.157991
			10.20	26.160	8.91E-04	997.3800	8.93E-07	0.00779	0.850336	102801	0.706	0.705	0.704	0.705	0.679	0.679	0.676	0.678	0.027	0.026	0.028	0.027	0.02859	4.41E-04	2.579658	0.050857	203.7625364
			10.20	25.160	8.91E-04	997.3050	8.93E-07	0.006644	0.725205	87666.76	0.686	0.687	0.685	0.686	0.665	0.667	0.665	0.666	0.021	0.020	0.020	0.020	0.0296	4.96E-04	1.942559	0.044134	234.8197324
			10.20	24.910	8.91E-04	997.3550	8.93E-07	0.006374	0.695755	84110.85	0.681	0.682	0.683	0.682	0.662	0.663	0.661	0.662	0.019	0.019	0.022	0.020	0.03163	6.17E-04	1.91081	0.043771	236.7566075
11.23	32.190	8.91E-04	997.2550	8.93E-07	0.01523	1.662476	200959.1	1.050	1.039	1.050	1.046	0.969	0.971	0.970	0.970	0.081	0.068	0.080	0.076	0.02114	1.46E-04	7.292192	0.085512	121.2002565			
2/28/2013	419.00	3	11.23	31.510	8.91E-04	997.2550	8.93E-07	0.014043	1.53292	185298.5	1.032	1.025	1.031	1.029	0.958	0.959	0.961	0.959	0.074	0.066	0.070	0.070	0.02281	1.95E-04	6.687163	0.081888	126.5644199
			11.23	30.970	8.91E-04	997.2550	8.93E-07	0.013141	1.434452	173395.7	1.002	1.005	1.004	1.004	0.938	0.933	0.939	0.937	0.064	0.072	0.065	0.067	0.02493	2.72E-04	6.40057	0.080114	129.3669239
			11.23	29.480	8.91E-04	997.2550	8.93E-07	0.010834	1.1826	142952	0.970	0.972	0.971	0.971	0.925	0.923	0.921	0.923	0.045	0.049	0.050	0.048	0.02628	3.29E-04	4.585483	0.067809	152.8410576
			11.23	28.820	8.91E-04	997.2550	8.93E-07	0.009895	1.080152	130568.1	0.932	0.932	0.945	0.936	0.898	0.899	0.888	0.895	0.034	0.033	0.057	0.041	0.02712	3.68E-04	3.94861	0.062924	164.7063859
			11.23	27.650	8.91E-04	997.2550	8.93E-07	0.008354	0.911902	110230.2	0.885	0.890	0.890	0.888	0.861	0.863	0.851	0.858	0.024	0.027	0.039	0.030	0.02762	3.92E-04	2.865927	0.053608	193.3303448
			11.23	26.130	8.91E-04	997.2550	8.93E-07	0.006578	0.718071	86799.98	0.845	0.845	0.840	0.843	0.827	0.823	0.822	0.824	0.018	0.022	0.018	0.019	0.0287	4.47E-04	1.846931	0.043035	240.8218688
			11.23	25.400	8.91E-04	997.2550	8.93E-07	0.005813	0.634598	76709.78	0.771	0.776	0.775	0.774	0.757	0.759	0.758	0.758	0.014	0.017	0.017	0.016	0.03042	5.43E-04	1.528494	0.03915	264.7284773
			11.23	24.110	8.91E-04	997.2550	8.93E-07	0.004597	0.501788	60655.88	0.699	0.698	0.699	0.699	0.688	0.688	0.688	0.688	0.011	0.009	0.011	0.010	0.03142	6.03E-04	0.987153	0.031462	329.4127718
			11.23	23.350	8.91E-04	997.2300	8.93E-07	0.003958	0.432059	52225.76	0.643	0.644	0.650	0.646	0.638	0.639	0.635	0.637	0.005	0.005	0.015	0.008	0.03418	7.88E-04	0.796071	0.028254	366.8277342
			3/7/2013	426.00	1	10.65	32.190	8.95E-04	997.1800	8.98E-07	0.016288	1.777942	213939.9	1.056	1.055	1.044	1.052	0.962	0.954	0.977	0.964	0.094	0.101	0.067	0.087	0.02115	1.46E-04
10.65	31.670	8.91E-04				997.1800	8.94E-07	0.015337	1.674208	202362	1.045	1.042	1.041	1.043	0.959	0.957	0.958	0.958	0.086	0.085	0.083	0.085	0.02312	2.06E-04	8.087674	0.090059	115.0898661
10.65	31.550	8.91E-04				997.1550	8.94E-07	0.015123	1.650793	199526.9	1.031	1.040	1.034	1.035	0.946	0.944	0.941	0.944	0.085	0.096	0.093	0.091	0.02566	3.02E-04	8.72428	0.093537	110.8127034
10.65	30.740	8.91E-04				997.1550	8.94E-07	0.013721	1.497832	181038.1	1.012	1.013	1.006	1.010	0.931	0.930	0.938	0.933	0.081	0.083	0.068	0.077	0.02639	3.34E-04	7.386982	0.08607	120.4261602
10.65	29.240	8.91E-04				997.1800	8.94E-07	0.011337	1.237539	149581.7	0.982	0.976	0.980	0.979	0.925	0.923	0.925	0.924	0.057	0.053	0.055	0.055	0.02749	3.86E-04	5.253804	0.072586	142.7946614
10.65	28.560	8.91E-04				997.1550	8.94E-07	0.010344	1.129136	136475.6	0.921	0.926	0.922	0.923	0.874	0.872	0.871	0.872	0.047	0.054	0.051	0.051	0.03042	5.43E-04	4.839747	0.069667	148.7794803
10.65	28.090	8.91E-04				997.1800	8.94E-07	0.009689	1.057633	127836.5	0.873	0.868	0.865	0.869	0.831	0.825	0.811	0.822	0.042	0.043	0.054	0.046	0.03171	6.22E-04	4.425932	0.066622	155.5774121
10.65	27.980	8.91E-04				997.1550	8.94E-07	0.009539	1.041298	125858.9	0.815	0.821	0.807	0.814	0.779	0.765	0.762	0.769	0.036	0.056	0.045	0.046	0.03224	6.56E-04	4.36214	0.066141	156.712828
10.65	27.710	8.91E-04				997.1550	8.94E-07	0.009178	1.001841	121089.8	0.735	0.739	0.729	0.734	0.693	0.691	0.685	0.685	0.042	0.048	0.044	0.045	0.03407	7.81E-04	4.266619	0.065412	158.4573659
10.65	25.520	8.91E-04				997.1800	8.94E-07	0.006546	0.71452	86364.19	0.700	0.702	0.698	0.700	0.681	0.674	0.675	0.677	0.019	0.028	0.023	0.023	0.03499	8.48E-04	2.228887	0.047278	219.2324934
3/7/2013	426.00	2	11.65	32.620	8.91E-04	997.2550	8.93E-07	0.015248	1.664428	201195	0.972	1.036	1.061	1.023	0.949	0.946	0.949	0.948	0.023	0.090	0.112	0.075	0.02073	1.34E-04	7.164817	0.084762	122.2728461
			11.65	31.490	8.91E-04	997.2550	8.93E-07	0.013305	1.452395	175564.6	0.960	1.021	1.023	1.001	0.939	0.938	0.941	0.939	0.021	0.083	0.082	0.062	0.0225</				

433.00	1	11.18	32.000	8.60E-04	996.6980	8.62E-07	0.014981	1.635292	204779.4	0.990	0.995	0.995	0.993	0.901	0.924	0.923	0.916	0.089	0.071	0.072	0.077	0.02214	1.74E-04	7.383596	0.08607	116.2354567		
		11.18	31.620	8.58E-04	996.6710	8.61E-07	0.014317	1.562844	196135.3	0.975	0.978	0.976	0.976	0.881	0.913	0.912	0.902	0.094	0.065	0.064	0.074	0.02233	2.12E-04	7.096972	0.084384	118.2989678		
		11.18	30.360	8.58E-04	996.6710	8.61E-07	0.012243	1.336409	167718	0.935	0.937	0.938	0.937	0.867	0.882	0.880	0.876	0.068	0.055	0.058	0.060	0.02586	3.11E-04	5.760322	0.076023	131.3088807		
		11.18	30.130	8.58E-04	996.6710	8.61E-07	0.011885	1.297333	162813.6	0.900	0.902	0.903	0.902	0.831	0.851	0.850	0.844	0.069	0.051	0.053	0.058	0.02623	3.27E-04	5.505722	0.074324	134.3106143		
		11.18	29.160	8.56E-04	996.6440	8.59E-07	0.010444	1.140023	143385.5	0.867	0.871	0.871	0.870	0.814	0.828	0.829	0.824	0.053	0.043	0.042	0.046	0.02711	3.66E-04	4.391729	0.066382	150.0522393		
		11.18	28.310	8.56E-04	996.6440	8.59E-07	0.009271	1.011984	127281.5	0.840	0.843	0.840	0.841	0.792	0.808	0.808	0.803	0.048	0.035	0.032	0.038	0.02866	4.44E-04	3.659774	0.060598	164.3739926		
		11.18	27.240	8.56E-04	996.6440	8.59E-07	0.00791	0.863503	108606.4	0.790	0.790	0.792	0.791	0.757	0.764	0.762	0.761	0.033	0.026	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	186.8473836
		11.18	26.820	8.54E-04	996.6170	8.57E-07	0.007411	0.809007	101975.8	0.781	0.782	0.779	0.781	0.744	0.756	0.753	0.751	0.037	0.026	0.026	0.030	0.0347	8.27E-04	2.83227	0.053309	186.4376061		
		11.18	26.390	8.54E-04	996.6170	8.57E-07	0.00692	0.755383	95216.51	0.737	0.738	0.737	0.737	0.708	0.712	0.712	0.711	0.029	0.026	0.025	0.027	0.03578	9.08E-04	2.545861	0.050542	196.6452805		
		11.18	25.510	8.54E-04	996.6170	8.57E-07	0.005976	0.652371	82231.72	0.697	0.695	0.695	0.696	0.668	0.678	0.678	0.675	0.029	0.017	0.017	0.021	0.03778	1.07E-03	2.004865	0.044852	221.5941273		
		11.18	32.160	8.62E-04	996.6170	8.64E-07	0.015266	1.666381	208217.9	0.895	0.875	0.850	0.873	0.800	0.801	0.788	0.796	0.095	0.074	0.062	0.077	0.02123	1.48E-04	7.35197	0.085884	116.7410887		
		11.18	31.820	8.62E-04	996.6170	8.64E-07	0.014664	1.600731	200014.9	0.879	0.860	0.843	0.861	0.792	0.791	0.779	0.787	0.087	0.069	0.064	0.073	0.02191	1.67E-04	7.001876	0.083185	119.6240188		
	11.18	31.530	8.60E-04	996.6980	8.62E-07	0.014162	1.54597	193594	0.853	0.836	0.818	0.836	0.771	0.769	0.759	0.766	0.082	0.067	0.059	0.069	0.02221	1.76E-04	6.619776	0.081497	122.7583242			
	11.18	30.580	8.60E-04	996.6980	8.62E-07	0.012591	1.374435	172113.6	0.813	0.803	0.792	0.803	0.748	0.748	0.742	0.746	0.065	0.055	0.050	0.057	0.02296	2.00E-04	5.410394	0.073677	135.7869889			
	11.18	28.760	8.60E-04	996.6980	8.62E-07	0.009881	1.078642	135072.9	0.775	0.767	0.755	0.766	0.731	0.730	0.725	0.729	0.044	0.037	0.030	0.037	0.02435	2.49E-04	3.532669	0.059535	168.043272			
	11.18	27.350	8.60E-04	996.6980	8.62E-07	0.008044	0.878126	109963.3	0.740	0.737	0.725	0.734	0.710	0.710	0.704	0.708	0.030	0.027	0.021	0.026	0.02581	3.09E-04	2.482416	0.049906	200.463504			
	11.18	26.730	8.60E-04	996.6980	8.62E-07	0.007307	0.797602	99879.72	0.715	0.710	0.705	0.710	0.689	0.690	0.685	0.688	0.026	0.020	0.020	0.022	0.02647	3.38E-04	2.100506	0.045907	217.9268046			
	11.18	25.900	8.60E-04	996.6980	8.62E-07	0.006384	0.696919	87271.65	0.695	0.693	0.689	0.692	0.676	0.675	0.675	0.675	0.019	0.018	0.014	0.017	0.0268	3.2E-04	1.623118	0.040355	247.9198995			
	11.18	25.150	8.60E-04	996.6980	8.62E-07	0.005614	0.61279	76736.6	0.681	0.680	0.680	0.680	0.664	0.665	0.666	0.665	0.017	0.015	0.014	0.015	0.03126	5.94E-04	1.463989	0.038325	261.0379817			
	11.18	24.020	8.60E-04	996.6980	8.62E-07	0.004562	0.497964	62357.46	0.665	0.664	0.663	0.664	0.650	0.650	0.651	0.650	0.015	0.014	0.012	0.014	0.04219	1.47E-03	1.30486	0.036183	276.4971698			
	10.38	31.700	8.54E-04	996.6170	8.57E-07	0.015881	1.733602	218521.7	0.935	0.942	0.914	0.930	0.852	0.850	0.846	0.849	0.083	0.092	0.068	0.081	0.02063	1.32E-04	7.733052	0.088087	112.8302069			
	10.38	30.650	8.54E-04	996.6170	8.57E-07	0.014026	1.531062	192991.3	0.908	0.912	0.887	0.902	0.835	0.837	0.840	0.837	0.073	0.075	0.047	0.065	0.02123	1.48E-04	6.205536	0.078909	125.9537829			
	10.38	29.350	8.63E-04	996.7520	8.66E-07	0.011916	1.300701	162172.1	0.865	0.870	0.847	0.861	0.811	0.810	0.815	0.812	0.054	0.060	0.032	0.049	0.02202	1.71E-04	4.646825	0.068279	147.1628871			
	10.38	28.330	8.63E-04	996.7520	8.66E-07	0.010401	1.13535	141556.1	0.800	0.804	0.785	0.796	0.760	0.759	0.755	0.758	0.040	0.045	0.030	0.038	0.02277	1.94E-04	3.660171	0.060598	165.8157605			
	10.38	27.200	8.63E-04	996.7520	8.66E-07	0.008863	0.967525	120631.6	0.762	0.765	0.752	0.760	0.730	0.731	0.732	0.731	0.032	0.034	0.020	0.029	0.02344	2.17E-04	2.737171	0.052403	191.756418			
	10.38	26.110	8.63E-04	996.7520	8.66E-07	0.007517	0.820507	102301.3	0.731	0.730	0.725	0.729	0.705	0.707	0.709	0.707	0.026	0.023	0.016	0.022	0.02464	2.61E-04	2.068792	0.045558	220.5555795			
	10.38	25.400	8.62E-04	996.7250	8.64E-07	0.006709	0.732381	91512.64	0.706	0.707	0.700	0.704	0.687	0.687	0.685	0.686	0.019	0.020	0.015	0.018	0.02569	3.03E-04	1.718642	0.041525	241.4531353			
	10.38	24.800	8.63E-04	996.7520	8.66E-07	0.006069	0.662496	82600.4	0.720	0.721	0.715	0.719	0.702	0.702	0.705	0.703	0.018	0.019	0.010	0.016	0.02733	3.77E-04	1.495896	0.03874	259.3736169			
	10.38	23.410	8.63E-04	996.7520	8.66E-07	0.00473	0.516287	64370.93	0.695	0.696	0.692	0.694	0.682	0.682	0.688	0.684	0.013	0.014	0.004	0.010	0.02968	5.00E-04	0.986655	0.031462	319.369825			
	10.38	22.420	8.62E-04	996.7250	8.64E-07	0.003894	0.425077	53114.35	0.670	0.668	0.667	0.668	0.660	0.659	0.659	0.659	0.010	0.009	0.008	0.009	0.03813	1.10E-03	0.859321	0.029362	341.4662986			
	10.74	31.360	8.93E-04	997.1550	8.96E-07	0.014629	1.596918	192582.9	0.881	0.878	0.879	0.879	0.788	0.809	0.810	0.802	0.093	0.069	0.069	0.077	0.02312	2.06E-04	7.355142	0.085884	120.9574427			
	10.74	30.890	8.93E-04	997.1550	8.96E-07	0.013822	1.50886	181963.4	0.859	0.859	0.862	0.860	0.779	0.795	0.797	0.790	0.080	0.064	0.065	0.070	0.02343	2.16E-04	6.654652	0.081692	127.1643698			
	10.74	30.080	8.93E-04	997.1550	8.96E-07	0.012495	1.364001	164493.9	0.831	0.833	0.832	0.832	0.762	0.779	0.780	0.774	0.069	0.054	0.052	0.058	0.024	2.37E-04	5.572077	0.074753	138.9695214			
	10.74	28.900	8.93E-04	997.1550	8.96E-07	0.010703	1.168305	140893.6	0.779	0.785	0.786	0.783	0.735	0.745	0.741	0.740	0.044	0.040	0.045	0.043	0.02412	2.41E-04	4.107417	0.06418	161.8615635			
	10.74	28.320	8.91E-04	997.1300	8.94E-07	0.009881	1.078642	130369.3	0.763	0.764	0.765	0.764	0.721	0.730	0.730	0.727	0.042	0.034	0.035	0.037	0.02435	2.49E-04	3.5342	0.059535	174.1061975			
	10.74	27.440	8.91E-04	997.1300	8.94E-07	0.008709	0.950633	114897.5	0.740	0.743	0.746	0.743	0.709	0.714	0.715	0.713	0.031	0.029	0.031	0.030	0.0257	3.04E-04	2.897407	0.053905	192.2892581			
10.74	26.320	8.91E-04	997.1300	8.94E-07	0.007341	0.801393	96859.76	0.711	0.710	0.711	0.711	0.677	0.690	0.689	0.685	0.034	0.020	0.022	0.025	0.0302	5.30E-04	2.419813	0.049262	210.4112342				
10.74	25.630	8.91E-04	997.1300	8.94E-07	0.006567	0.716886	86645.88	0.695	0.695	0.696	0.695	0.665	0.676	0.675	0.672	0.030	0.019	0.021	0.023	0.03476	8.31E-04	2.228775	0.047278	219.2434865				
10.74	24.900	8.91E-04	997.1300	8.94E-07	0.005803	0.633496	76567.07	0.680	0.679	0.682	0.680	0.652	0.668	0.668	0.663	0.028	0.011	0.014	0.018	0.0337	7.55E-04	1.974107	0.041138	251.9635885				
10.74	23.720	8.91E-04	997.1300	8.94E-07	0.004685	0.511427	61813.2	0.665	0.666	0.665	0.665	0.650	0.656	0.655	0.654	0.015	0.010	0.010	0.012	0.03415	7.86E-04	1.114387	0.03343	310.0571121				
11.640	30.510	8.95E-04	997.1800	8.98E-07	0.011762	1.283898	154491.6	0.125	0.987	0.950	0.987	0.942	0.936	0.935	0.938	0.083	0.051	0.015	0.050	0.02307	2.04E-04	4.744344	0.068977	150.9406237				
11.640	29.120	8.95E-04	997.1800	8.98E-07	0.009744	1.063611	127984.4	0.979	0.969	0.933	0.960	0.929	0.928	0.919	0.925	0.050	0.041	0.014	0.035	0.02369	2.25E-04	3.34333	0.057903	179.8061843				
11.640	28.750	8.95E-04	997.1800	8.98E-07	0.009244	1.00908	121422.7	0.961	0.956	0																		

4/4/2013	454.00	1	10.790	32.470	9.26E-04	997.5480	9.29E-07	0.016549	1.806504	210086.4	0.925	0.926	0.930	0.927	0.812	0.842	0.839	0.831	0.113	0.084	0.091	0.096	0.02252	1.86E-04	9.173661	0.095897	112.3358301
			10.790	32.050	9.26E-04	997.5480	9.29E-07	0.015772	1.721625	200215.4	0.903	0.914	0.924	0.914	0.812	0.824	0.825	0.820	0.091	0.090	0.099	0.093	0.02411	2.41E-04	8.918837	0.094556	113.9293257
			10.790	31.670	9.31E-04	997.5480	9.29E-07	0.014559	1.589309	184827.8	0.877	0.881	0.879	0.879	0.790	0.802	0.805	0.799	0.087	0.079	0.074	0.080	0.02425	2.46E-04	7.644717	0.087541	123.0577363
			10.790	30.680	9.26E-04	997.5480	9.29E-07	0.013388	1.461416	169954.6	0.852	0.856	0.857	0.855	0.777	0.791	0.792	0.787	0.075	0.065	0.065	0.068	0.02449	2.55E-04	6.529863	0.080907	133.148909
			10.790	29.900	9.29E-04	997.5720	9.31E-07	0.012133	1.324442	153664.1	0.829	0.826	0.829	0.828	0.761	0.775	0.776	0.771	0.068	0.051	0.053	0.057	0.02502	2.76E-04	5.478846	0.074109	145.7035065
			10.790	29.010	9.29E-04	997.5720	9.31E-07	0.01079	1.177824	136653.1	0.795	0.796	0.795	0.795	0.742	0.754	0.752	0.749	0.053	0.042	0.043	0.046	0.02539	2.91E-04	4.395818	0.066382	162.6652122
			10.790	27.670	9.31E-04	997.5960	9.33E-07	0.008941	0.976038	112976.7	0.750	0.756	0.754	0.753	0.716	0.725	0.722	0.721	0.034	0.031	0.032	0.032	0.02598	3.16E-04	3.089889	0.055654	194.4758181
		10.790	26.250	9.29E-04	997.5720	9.31E-07	0.007203	0.786294	91227.17	0.719	0.717	0.719	0.718	0.691	0.696	0.695	0.694	0.028	0.021	0.024	0.024	0.03013	5.26E-04	2.325324	0.04828	223.6520056	
		10.790	24.830	9.31E-04	997.5960	9.33E-07	0.005683	0.620371	71808.14	0.689	0.687	0.685	0.687	0.667	0.670	0.669	0.669	0.022	0.017	0.016	0.018	0.03647	9.62E-04	1.751999	0.041907	258.2677205	
		10.790	23.770	9.31E-04	997.5960	9.33E-07	0.004685	0.511427	59197.79	0.662	0.660	0.664	0.662	0.642	0.652	0.653	0.649	0.020	0.008	0.011	0.013	0.03805	1.09E-03	1.242326	0.035289	306.7038097	
		11.230	33.150	9.22E-04	997.5000	9.24E-07	0.017004	1.856099	216873.6	0.925	0.907	0.880	0.904	0.899	0.813	0.786	0.833	0.026	0.094	0.094	0.071	0.01585	4.27E-05	6.816212	0.082664	129.7062575	
		11.230	32.680	9.22E-04	997.5000	9.24E-07	0.016121	1.759722	205612.7	0.902	0.889	0.862	0.884	0.801	0.804	0.781	0.795	0.101	0.085	0.081	0.089	0.022	1.70E-04	8.504339	0.092334	116.121379	
		11.230	32.370	9.22E-04	997.5000	9.24E-07	0.015554	1.697818	198379.5	0.882	0.877	0.848	0.869	0.791	0.794	0.769	0.785	0.091	0.083	0.079	0.084	0.0224	1.82E-04	8.058418	0.089881	119.2909658	
		11.230	31.810	9.22E-04	997.5000	9.24E-07	0.014559	1.589309	185700.9	0.876	0.851	0.835	0.854	0.780	0.782	0.761	0.774	0.096	0.069	0.074	0.080	0.02415	2.42E-04	7.612498	0.087359	122.7351238	
		11.230	30.900	9.24E-04	997.5240	9.26E-07	0.013027	1.421971	165757	0.837	0.824	0.810	0.824	0.763	0.764	0.749	0.759	0.074	0.060	0.061	0.065	0.02461	2.60E-04	6.211183	0.078909	136.1993716	
		11.230	30.200	9.22E-04	997.5000	9.24E-07	0.011916	1.300701	151978.8	0.817	0.809	0.795	0.807	0.749	0.754	0.736	0.746	0.068	0.055	0.059	0.061	0.02745	3.84E-04	5.796665	0.076233	140.6475338	
		11.230	29.850	9.22E-04	997.5000	9.24E-07	0.011382	1.242457	145173.5	0.800	0.791	0.791	0.794	0.741	0.742	0.727	0.737	0.059	0.049	0.064	0.057	0.02843	4.33E-04	5.47845	0.074109	144.6783649	
		11.230	28.890	9.22E-04	997.5000	9.24E-07	0.009992	1.090757	127448.2	0.775	0.769	0.764	0.769	0.726	0.726	0.717	0.723	0.049	0.043	0.047	0.046	0.02981	5.08E-04	4.427352	0.066622	160.9386727	
		11.230	28.000	9.24E-04	997.5240	9.26E-07	0.008799	0.960465	111960	0.741	0.738	0.736	0.738	0.705	0.699	0.697	0.700	0.036	0.039	0.039	0.038	0.03154	6.11E-04	3.631153	0.060334	178.131196	
		11.230	26.600	9.24E-04	997.5240	9.26E-07	0.0071	0.775081	90350.04	0.713	0.712	0.706	0.710	0.685	0.682	0.683	0.683	0.028	0.030	0.023	0.027	0.03441	8.05E-04	2.58003	0.050857	211.3245243	
		10.220	31.340	9.18E-04	997.4520	9.20E-07	0.015517	1.693869	198857.6	0.921	0.933	0.896	0.917	0.852	0.852	0.851	0.852	0.069	0.081	0.045	0.065	0.01734	6.38E-05	6.210735	0.078909	135.2364906	
	10.220	30.290	9.18E-04	997.4520	9.20E-07	0.013688	1.494166	175412.8	0.899	0.906	0.875	0.893	0.836	0.835	0.835	0.835	0.063	0.071	0.040	0.058	0.01989	1.14E-04	5.541887	0.074539	143.1649065		
	10.220	30.050	9.18E-04	997.4520	9.20E-07	0.013289	1.450595	170297.6	0.870	0.875	0.872	0.872	0.819	0.815	0.816	0.817	0.051	0.060	0.056	0.056	0.02025	1.22E-04	5.318937	0.073024	146.1345688		
	10.220	29.400	9.18E-04	997.4520	9.20E-07	0.012243	1.336409	156892.3	0.836	0.841	0.835	0.837	0.791	0.787	0.787	0.788	0.045	0.054	0.048	0.049	0.021	1.42E-04	4.681939	0.060512	155.7587778		
	10.220	28.350	9.20E-04	997.4760	9.22E-07	0.010659	1.163563	136277	0.795	0.800	0.794	0.796	0.759	0.757	0.758	0.758	0.036	0.043	0.036	0.038	0.02168	1.60E-04	3.662829	0.060598	176.5191505		
	10.220	26.930	9.20E-04	997.4760	9.22E-07	0.008721	0.952034	111502.7	0.754	0.755	0.745	0.751	0.726	0.724	0.723	0.724	0.028	0.031	0.022	0.027	0.02281	1.95E-04	2.579906	0.050857	210.3285556		
	10.220	25.800	9.20E-04	997.4760	9.22E-07	0.007341	0.801393	93859.53	0.727	0.730	0.720	0.726	0.711	0.701	0.705	0.706	0.016	0.029	0.015	0.020	0.02384	2.31E-04	1.911041	0.043771	244.3796979		
	10.220	25.050	9.20E-04	997.4760	9.22E-07	0.006502	0.709801	83132.17	0.700	0.705	0.699	0.701	0.685	0.685	0.683	0.684	0.015	0.020	0.016	0.017	0.02583	3.09E-04	1.624385	0.040355	265.0669988		
	10.220	24.030	9.20E-04	997.4760	9.22E-07	0.005457	0.595669	69765	0.686	0.685	0.679	0.683	0.672	0.670	0.667	0.670	0.014	0.015	0.012	0.014	0.02949	4.89E-04	1.305878	0.036183	295.6302158		
	10.220	22.790	9.20E-04	997.4760	9.22E-07	0.004329	0.472598	55350.93	0.665	0.666	0.663	0.665	0.655	0.659	0.652	0.655	0.010	0.007	0.011	0.009	0.03199	6.40E-04	0.891819	0.029901	357.7352475		
	12.01	33.150	0.000871	996.86	8.74E-07	0.015554	1.697818	209860.6	0.96	0.958	0.96	0.959	0.858	0.866	0.869	0.864	0.102	0.092	0.091	0.095	0.02523	2.84E-04	9.071841	0.095396	106.2456979		
	12.01	32.62	0.000871	996.86	8.74E-07	0.014612	1.595014	197153.4	0.935	0.931	0.931	0.932	0.838	0.853	0.848	0.846	0.097	0.078	0.083	0.086	0.02588	3.12E-04	8.212403	0.090765	111.666764		
	12.01	32.18	0.000871	996.86	8.74E-07	0.013856	1.512547	186960	0.9	0.907	0.91	0.906	0.815	0.835	0.828	0.826	0.085	0.072	0.082	0.080	0.02666	3.46E-04	7.607614	0.087359	116.0205269		
	12.01	31.76	0.000871	996.86	8.74E-07	0.013157	1.436241	177528.1	0.895	0.9	0.905	0.900	0.81	0.83	0.826	0.822	0.085	0.070	0.079	0.078	0.02895	4.60E-04	7.448459	0.08644	117.2535108		
	12.01	30.69	0.000871	996.86	8.74E-07	0.011472	1.25233	154795.5	0.882	0.885	0.886	0.884	0.808	0.825	0.821	0.818	0.074	0.060	0.065	0.066	0.03238	6.65E-04	6.334373	0.079714	127.1473302		
	12.01	30.19	0.000871	996.86	8.74E-07	0.010732	1.171473	144801.1	0.862	0.865	0.865	0.864	0.797	0.809	0.808	0.805	0.065	0.056	0.057	0.059	0.0331	7.13E-04	5.665922	0.075391	134.4385385		
	12.01	29.67	0.000871	996.86	8.74E-07	0.009992	1.090757	134824.2	0.855	0.85	0.858	0.854	0.795	0.799	0.808	0.801	0.060	0.051	0.050	0.054	0.03453	8.15E-04	5.124794	0.0717	141.3581477		
	12.01	28.94	0.000869	996.833	8.72E-07	0.009007	0.983165	121787.6	0.81	0.815	0.816	0.814	0.766	0.777	0.771	0.769	0.044	0.045	0.045	0.045	0.03538	8.77E-04	4.265241	0.065412	154.6125499		
	12.01	28	0.000869	996.833	8.72E-07	0.007826	0.854274	105821.4	0.754	0.756	0.755	0.755	0.72	0.719	0.72	0.720	0.034	0.037	0.035	0.035	0.03707	1.01E-03	3.373997	0.058178	173.8377968		
	12.01	26.5	0.000869	996.833	8.72E-07	0.006142	0.670436	83048.82	0.715	0.716	0.72	0.717	0.692	0.695	0.697	0.695	0.023	0.021	0.023	0.022	0.03804	1.09E-03	2.132621	0.046254	218.6551649		
	12.76	34.67	0.000873	996.905	8.76E-07	0.016984	1.854016	228652.9	1.015	0.975	0.92	0.970	0.848	0.852	0.801	0.834	0.167	0.123	0.119	0.136	0.03036	5.40E-04	13.01947	0.11428	88.88912152		
	12.76	33.68	0.000873	996.905	8.76E-07	0.015158	1.654682	204069.4	0.95	0.924	0.89	0.921	0.817	0.822	0.79	0.810	0.133	0.102	0.100	0.112	0.03122	5.91E-04	10.66387	0.103426	98.21727138		
12.76	33.2	0.000873	996.905	8.76E-07	0.014317	1.562844	192743.1	0.915	0.894	0.875	0.895																

4/18/2013	468.00	1	12.46	32.6	0.000871	996.86	8.74E-07	0.013806	1.507019	186276.7	0.921	0.924	0.925	0.923	0.825	0.845	0.84	0.837	0.096	0.079	0.085	0.087	0.02921	4.75E-04	8.276065	0.091116	111.2364473	
			12.46	32.22	0.000869	996.833	8.72E-07	0.013174	1.43803	178133	0.911	0.914	0.921	0.915	0.821	0.839	0.838	0.833	0.090	0.075	0.083	0.083	0.0306	5.54E-04	7.893879	0.088989	113.6504871	
			12.46	32.16	0.000869	996.833	8.72E-07	0.013075	1.427312	176805.4	0.903	0.909	0.911	0.907	0.812	0.834	0.83	0.825	0.091	0.075	0.080	0.082	0.03081	5.67E-04	7.830219	0.088629	114.1115457	
			12.46	32.04	0.000869	996.833	8.72E-07	0.01288	1.406019	174167.7	0.897	0.905	0.899	0.900	0.81	0.824	0.82	0.818	0.087	0.081	0.079	0.082	0.03188	6.33E-04	7.862049	0.088809	113.8803164	
			12.46	31.75	0.000869	996.833	8.72E-07	0.012416	1.355343	167890.3	0.877	0.886	0.89	0.884	0.802	0.81	0.809	0.807	0.075	0.076	0.081	0.077	0.03223	6.55E-04	7.384597	0.08607	117.5041349	
			12.46	31.26	0.000869	996.833	8.72E-07	0.011655	1.272213	157592.8	0.86	0.868	0.872	0.867	0.791	0.801	0.8	0.797	0.069	0.067	0.072	0.069	0.03279	6.93E-04	6.620673	0.081497	124.0981977	
			12.46	30.6	0.000869	996.833	8.72E-07	0.010674	1.165142	144329.6	0.844	0.847	0.849	0.847	0.784	0.791	0.79	0.788	0.060	0.056	0.059	0.058	0.0329	6.99E-04	5.570278	0.074753	135.2938693	
			12.46	29.76	0.000869	996.833	8.72E-07	0.009499	1.03687	128440.1	0.82	0.824	0.82	0.821	0.764	0.774	0.77	0.769	0.056	0.050	0.050	0.052	0.03703	1.01E-03	4.965505	0.070578	143.2962557	
			12.46	28.29	0.000869	996.833	8.72E-07	0.007635	0.833399	103235.5	0.77	0.774	0.774	0.773	0.732	0.741	0.735	0.736	0.038	0.033	0.039	0.037	0.04042	1.30E-03	3.501317	0.059266	170.6478414	
		12.46	26.83	0.000869	996.833	8.72E-07	0.006017	0.656859	81367.1	0.72	0.722	0.721	0.721	0.697	0.699	0.698	0.698	0.023	0.023	0.023	0.023	0.04081	1.34E-03	2.196281	0.046939	215.4629474		
		12.17	32.99	0.000873	996.887	8.76E-07	0.014981	1.635292	201674.4	0.959	0.94	0.9	0.933	0.82	0.831	0.795	0.815	0.139	0.109	0.105	0.118	0.03369	7.54E-04	11.23665	0.106168	95.6821129		
		12.17	32.72	0.000873	996.887	8.76E-07	0.014507	1.583615	195301.3	0.945	0.934	0.9	0.926	0.815	0.825	0.789	0.810	0.130	0.109	0.111	0.117	0.03561	8.96E-04	11.14116	0.105716	96.09130413		
		12.17	32.38	0.000873	996.887	8.76E-07	0.013924	1.519937	187448.1	0.935	0.929	0.89	0.918	0.813	0.822	0.786	0.807	0.122	0.107	0.104	0.111	0.03678	9.88E-04	10.60002	0.103117	98.51355535		
		12.17	31.94	0.000871	996.86	8.74E-07	0.01319	1.439821	177970.6	0.916	0.895	0.878	0.896	0.805	0.805	0.777	0.796	0.111	0.090	0.101	0.101	0.03718	1.02E-03	9.612968	0.0982	103.2120282		
		12.17	31.39	0.000871	996.86	8.74E-07	0.012306	1.343276	166037	0.885	0.876	0.855	0.872	0.785	0.793	0.77	0.783	0.100	0.083	0.085	0.089	0.0379	1.08E-03	8.530713	0.092507	109.5636235		
		12.17	30.85	0.000871	996.86	8.74E-07	0.011472	1.25233	154795.5	0.855	0.85	0.841	0.849	0.776	0.779	0.754	0.770	0.079	0.071	0.087	0.079	0.03856	1.14E-03	7.543952	0.086993	116.5090365		
		12.17	30.33	0.000871	996.86	8.74E-07	0.010703	1.168305	144409.6	0.835	0.828	0.825	0.829	0.764	0.766	0.748	0.759	0.071	0.062	0.077	0.070	0.03926	1.20E-03	6.684514	0.081888	123.7724924		
		12.17	29.69	0.000871	996.86	8.74E-07	0.009799	1.069608	132210.1	0.821	0.814	0.805	0.813	0.75	0.757	0.739	0.749	0.071	0.057	0.066	0.065	0.04327	1.58E-03	6.175218	0.078706	128.7754033		
	12.17	29.05	0.000871	996.86	8.74E-07	0.008941	0.976038	120644.2	0.802	0.788	0.785	0.792	0.741	0.742	0.73	0.738	0.061	0.046	0.055	0.054	0.0434	1.59E-03	5.156625	0.071923	140.9211818			
	12.17	28.08	0.000871	996.86	8.74E-07	0.008467	0.924247	114242.5	0.783	0.781	0.776	0.780	0.732	0.736	0.72	0.729	0.051	0.045	0.056	0.051	0.04541	1.80E-03	4.838315	0.069667	145.4829135			
	4/25/2013	475.00	1	11.79	32.05	0.000877	996.941	8.8E-07	0.014009	1.529204	187741	0.993	1.001	0.948	0.981	0.902	0.901	0.886	0.896	0.091	0.100	0.062	0.084	0.02761	3.91E-04	8.053902	0.089881	113.5323623
				11.80	31.7	0.000877	996.941	8.8E-07	0.013404	1.463224	179640.6	0.975	0.98	0.937	0.964	0.888	0.886	0.885	0.886	0.087	0.094	0.052	0.078	0.02777	3.99E-04	7.41723	0.086255	118.3046934
				11.81	31.18	0.000877	996.941	8.8E-07	0.012543	1.362912	168098.7	0.952	0.97	0.922	0.948	0.878	0.874	0.873	0.875	0.074	0.096	0.049	0.073	0.02981	5.08E-04	6.97156	0.083624	122.027546
				11.82	30.71	0.000875	996.914	8.78E-07	0.011792	1.287248	158392.9	0.937	0.941	0.906	0.928	0.862	0.861	0.859	0.861	0.075	0.080	0.047	0.067	0.03111	5.84E-04	6.430214	0.080313	126.7723298
				11.83	30.17	0.000875	996.914	8.78E-07	0.010966	1.196999	147287.9	0.916	0.927	0.895	0.913	0.85	0.85	0.851	0.850	0.066	0.077	0.044	0.062	0.03331	7.27E-04	5.952723	0.077273	131.7587158
				11.84	29.42	0.000875	996.914	8.78E-07	0.009881	1.078642	132724.4	0.874	0.88	0.858	0.871	0.819	0.817	0.817	0.818	0.055	0.063	0.041	0.053	0.03487	8.40E-04	5.061406	0.071254	142.8899205
				11.85	28.65	0.000875	996.914	8.78E-07	0.008837	0.964698	118703.8	0.82	0.829	0.81	0.820	0.781	0.768	0.779	0.776	0.039	0.061	0.031	0.044	0.03592	9.19E-04	4.170089	0.064676	157.4216677
				11.86	28.2	0.000873	996.887	8.76E-07	0.008254	0.901011	111118.3	0.791	0.79	0.78	0.787	0.746	0.75	0.75	0.749	0.045	0.040	0.030	0.038	0.03615	9.37E-04	3.660666	0.060598	167.6367334
				11.87	26.65	0.000873	996.887	8.76E-07	0.006449	0.703928	86812.77	0.743	0.745	0.734	0.741	0.716	0.717	0.717	0.717	0.027	0.028	0.017	0.024	0.03708	1.01E-03	2.291895	0.047948	211.8614116
			11.88	25.62	0.000873	996.887	8.76E-07	0.005389	0.588269	72548.94	0.706	0.71	0.703	0.706	0.685	0.69	0.692	0.689	0.021	0.020	0.011	0.017	0.03835	1.12E-03	1.655258	0.040748	249.2966473	
			2	11.58	32.17	0.000895	997.18	8.98E-07	0.014577	1.591209	191470.3	0.915	0.913	0.912	0.913	0.813	0.834	0.831	0.826	0.102	0.079	0.081	0.087	0.02641	3.35E-04	8.342404	0.091466	113.8278751
				11.58	31.67	0.000895	997.18	8.98E-07	0.013721	1.497832	180234.2	0.885	0.886	0.889	0.887	0.797	0.815	0.813	0.808	0.088	0.071	0.076	0.078	0.02673	3.49E-04	7.482691	0.086625	120.189172
				11.58	31.29	0.000895	997.18	8.98E-07	0.013092	1.429095	171963.2	0.872	0.87	0.878	0.873	0.791	0.803	0.805	0.800	0.081	0.067	0.073	0.074	0.02761	3.91E-04	7.036914	0.084005	123.9376159
				11.58	30.9	0.000895	997.18	8.98E-07	0.012464	1.360534	163713.2	0.857	0.867	0.865	0.863	0.784	0.797	0.802	0.794	0.073	0.070	0.063	0.069	0.0284	4.31E-04	6.559295	0.081104	128.3706276
				11.58	30.67	0.000895	997.18	8.98E-07	0.012102	1.321035	158960.3	0.843	0.848	0.852	0.848	0.777	0.785	0.782	0.781	0.066	0.063	0.070	0.066	0.0291	4.68E-04	6.336406	0.079714	130.6088893
				11.58	30.32	0.000895	997.18	8.98E-07	0.011563	1.262248	151886.5	0.85	0.829	0.83	0.836	0.766	0.78	0.78	0.775	0.084	0.049	0.050	0.061	0.02931	4.80E-04	5.826946	0.076442	136.1989406
11.58				29.4	0.000895	997.18	8.98E-07	0.010216	1.115229	134195.6	0.8	0.801	0.804	0.802	0.751	0.757	0.752	0.753	0.049	0.044	0.052	0.048	0.02975	5.04E-04	4.616979	0.068044	153.0083999	
11.58				28.61	0.000895	997.18	8.98E-07	0.009138	0.997513	120030.9	0.775	0.777	0.78	0.777	0.732	0.741	0.741	0.738	0.043	0.036	0.039	0.039	0.03026	5.34E-04	3.757266	0.061383	169.6126622	
11.58	27.67	0.000895		997.18	8.98E-07	0.007947	0.867477	104383.6	0.748	0.75	0.75	0.749	0.714	0.72	0.72	0.718	0.034	0.030	0.030	0.031	0.03188	6.32E-04	2.993076	0.054786	190.0357668			
11.58	26.59	0.000895	997.18	8.98E-07	0.006698	0.731182	87983.25	0.716	0.721	0.72	0.719	0.693	0.699	0.696	0.696	0.023	0.022	0.024	0.023	0.03294	7.02E-04	2.197045	0.046939	221.806735				
3	11.45	32.49	0.000895	997.18	8.98E-07	0.015373	1.678129	201929.4	0.89	0.861	0.852	0.868	0.793	0.785	0.77	0.783	0.097	0.076	0.082	0.085	0.02311	2.05E-04	8.119516	0.090236	115.3796412			
	11.45	31.65	0.000895	997.18	8.98E-07	0.013907	1.518087	182671.6	0.86	0.845	0.832	0.846	0.772	0.774	0.757	0.768	0.088	0.071	0.075	0.078	0.02591	3.13E-04	7.45085	0.08644	120.4457127			
	11.45	30.99	0.000895	997.18	8.98E-07	0.012816	1.398964																					

4/25/2013	475.00	1	11.58		32.17	0.000895	997.18	8.98E-07	0.014577	1.591209	191470.3	0.915	0.913	0.912	0.913	0.813	0.834	0.831	0.826	0.102	0.079	0.081	0.087	0.02641	3.35E-04	8.342404	0.091466	113.8278751	
			11.58		31.67	0.000895	997.18	8.98E-07	0.013721	1.497832	180234.2	0.885	0.886	0.889	0.887	0.797	0.815	0.813	0.808	0.088	0.071	0.076	0.078	0.02673	3.49E-04	7.482691	0.086625	120.189172	
			11.58		31.29	0.000895	997.18	8.98E-07	0.013092	1.429095	171963.2	0.872	0.87	0.878	0.873	0.791	0.803	0.805	0.800	0.081	0.067	0.073	0.074	0.02761	3.91E-04	7.036914	0.084005	123.9376159	
			11.58		30.9	0.000895	997.18	8.98E-07	0.012464	1.360534	163713.2	0.857	0.867	0.865	0.863	0.784	0.797	0.802	0.794	0.073	0.070	0.063	0.069	0.0284	4.31E-04	6.559295	0.081104	128.3706276	
			11.58		30.67	0.000895	997.18	8.98E-07	0.012102	1.321035	158960.3	0.843	0.848	0.852	0.848	0.777	0.785	0.782	0.781	0.066	0.063	0.070	0.066	0.0291	4.68E-04	6.336406	0.079714	130.6088893	
			11.58		30.32	0.000895	997.18	8.98E-07	0.011563	1.262248	151886.5	0.85	0.829	0.83	0.836	0.766	0.78	0.78	0.775	0.084	0.049	0.050	0.061	0.02931	4.80E-04	5.826946	0.076442	136.1989406	
			11.58		29.4	0.000895	997.18	8.98E-07	0.010216	1.115229	134195.6	0.8	0.801	0.804	0.802	0.751	0.757	0.752	0.753	0.049	0.044	0.052	0.048	0.02975	5.04E-04	4.616979	0.068044	153.0083999	
			11.58		28.61	0.000895	997.18	8.98E-07	0.009138	0.997513	120030.9	0.775	0.777	0.78	0.777	0.732	0.741	0.741	0.738	0.043	0.036	0.039	0.039	0.03026	5.34E-04	3.757266	0.061383	169.6126622	
			11.58		27.67	0.000895	997.18	8.98E-07	0.007947	0.867477	104383.6	0.748	0.75	0.75	0.749	0.714	0.72	0.72	0.718	0.034	0.030	0.030	0.031	0.03188	6.32E-04	2.993076	0.054786	190.0357668	
		11.58		26.59	0.000895	997.18	8.98E-07	0.006698	0.731182	87983.25	0.716	0.716	0.72	0.721	0.72	0.719	0.693	0.699	0.696	0.696	0.023	0.022	0.024	0.023	0.03294	7.02E-04	2.197045	0.046939	221.806735
		11.45		32.49	0.000895	997.18	8.98E-07	0.015373	1.678129	201929.4	0.89	0.861	0.852	0.868	0.793	0.785	0.77	0.783	0.097	0.076	0.082	0.085	0.02311	2.05E-04	8.119516	0.090236	115.3796412		
		11.45		31.65	0.000895	997.18	8.98E-07	0.013907	1.518087	182671.6	0.86	0.845	0.832	0.846	0.772	0.774	0.757	0.768	0.088	0.071	0.075	0.078	0.02591	3.13E-04	7.45085	0.08644	120.4457123		
		11.45		30.99	0.000895	997.18	8.98E-07	0.012816	1.398964	168337.4	0.833	0.818	0.811	0.821	0.76	0.755	0.746	0.754	0.073	0.063	0.065	0.067	0.02621	3.26E-04	6.400089	0.080114	129.9574697		
		11.45		30.34	0.000895	997.18	8.98E-07	0.011792	1.287248	154894.7	0.821	0.811	0.795	0.809	0.751	0.753	0.743	0.749	0.070	0.058	0.052	0.060	0.02772	3.97E-04	5.731423	0.075813	137.3292417		
		11.45		29.74	0.000895	997.18	8.98E-07	0.010892	1.188987	143070.9	0.782	0.783	0.771	0.779	0.728	0.729	0.724	0.727	0.054	0.054	0.047	0.052	0.02798	4.10E-04	4.935392	0.070352	147.9903596		
		11.45		28.7	0.000895	997.18	8.98E-07	0.009431	1.029513	123881.4	0.769	0.767	0.754	0.763	0.72	0.725	0.721	0.722	0.049	0.042	0.033	0.041	0.02986	5.10E-04	3.948313	0.062924	165.458252		
		11.45		27.87	0.000895	997.18	8.98E-07	0.008354	0.911902	109729.3	0.743	0.741	0.731	0.738	0.706	0.705	0.704	0.705	0.037	0.036	0.027	0.033	0.03069	5.59E-04	3.184124	0.056508	184.2465118		
		11.45		26.83	0.000895	997.18	8.98E-07	0.007112	0.776322	93414.94	0.719	0.715	0.715	0.716	0.695	0.689	0.689	0.691	0.024	0.026	0.026	0.025	0.03218	6.52E-04	2.419934	0.049262	211.3452436		
	11.45		26.05	0.000895	997.18	8.98E-07	0.006257	0.683026	82188.53	0.702	0.692	0.685	0.693	0.673	0.674	0.671	0.673	0.029	0.018	0.014	0.020	0.03337	7.32E-04	1.942315	0.044134	235.903851			
	11.45		25.46	0.000895	997.18	8.98E-07	0.005653	0.617115	74257.54	0.685	0.685	0.68	0.683	0.659	0.661	0.661	0.660	0.026	0.024	0.019	0.023	0.04624	8.19E-03	2.197045	0.046939	221.806735			
	11.32		31.58	0.000895	997.18	8.98E-07	0.014009	1.529204	184009.3	0.908	0.929	0.895	0.911	0.856	0.853	0.85	0.853	0.052	0.076	0.045	0.058	0.01888	9.17E-05	5.508534	0.074324	140.080029			
	11.32		32.19	0.000895	997.18	8.98E-07	0.015069	1.64497	197939.4	0.95	0.955	0.919	0.941	0.873	0.87	0.87	0.871	0.077	0.085	0.049	0.070	0.0199	1.14E-04	6.718501	0.082082	126.8405296			
	11.32		30.3	0.000895	997.18	8.98E-07	0.011931	1.302388	156716.5	0.87	0.875	0.85	0.865	0.818	0.815	0.815	0.816	0.052	0.060	0.035	0.049	0.02212	1.74E-04	4.680662	0.068512	151.9639617			
	11.32		29.51	0.000895	997.18	8.98E-07	0.010746	1.173059	141154.3	0.839	0.845	0.83	0.838	0.795	0.796	0.794	0.795	0.044	0.049	0.036	0.043	0.02392	2.34E-04	4.10752	0.06418	162.2200083			
	11.32		28.5	0.000895	997.18	8.98E-07	0.009337	1.019266	122648.4	0.794	0.805	0.79	0.796	0.761	0.764	0.763	0.763	0.033	0.041	0.027	0.034	0.02481	2.67E-04	3.215965	0.05679	183.3321314			
	11.32		27.22	0.000895	997.18	8.98E-07	0.007718	0.842494	101377.4	0.763	0.761	0.745	0.756	0.732	0.733	0.732	0.732	0.031	0.028	0.013	0.024	0.02589	3.12E-04	2.292569	0.047948	217.1365965			
	11.32		26.03	0.000895	997.18	8.98E-07	0.006374	0.695755	83720.24	0.72	0.725	0.72	0.722	0.704	0.703	0.703	0.703	0.016	0.022	0.017	0.018	0.02899	4.62E-04	1.751268	0.041907	248.4379459			
	11.32		24.75	0.000895	997.18	8.98E-07	0.005095	0.556154	66922.06	0.705	0.705	0.699	0.703	0.692	0.691	0.689	0.691	0.013	0.014	0.010	0.012	0.03053	5.49E-04	1.178126	0.034372	302.8993996			
	11.32		24.46	0.000895	997.18	8.98E-07	0.004828	0.527075	63422.99	0.685	0.688	0.685	0.686	0.675	0.674	0.675	0.675	0.010	0.014	0.010	0.011	0.03123	5.92E-04	1.082602	0.032949	315.9801609			
	11.32		23.85	0.000895	997.18	8.98E-07	0.004296	0.468907	56423.65	0.67	0.675	0.67	0.672	0.664	0.661	0.662	0.662	0.006	0.014	0.008	0.009	0.0325	6.73E-04	0.891555	0.029901	348.1931787			
	3/9/2012	482.00	1	12.65		33.88	0.000926	997.548	9.29E-07	0.015717	1.715655	199521.1	1.111	1.112	1.105	1.109	1.018	1.015	1.011	1.015	0.093	0.097	0.094	0.095	0.02462	2.60E-04	9.046249	0.095229	113.1241614
				12.65		32.61	0.000926	997.548	9.29E-07	0.013504	1.474101	171429.8	1.06	1.075	1.048	1.061	0.989	0.999	0.97	0.986	0.071	0.076	0.078	0.075	0.02642	3.35E-04	7.166922	0.084762	127.0934836
				12.65		31.46	0.000926	997.548	9.29E-07	0.01167	1.273879	148145	1.022	1.031	1.033	1.029	0.969	0.972	0.966	0.969	0.053	0.059	0.067	0.060	0.02815	4.18E-04	5.701685	0.075602	142.4911945
				12.65		30.5	0.000926	997.548	9.29E-07	0.010259	1.119853	130232.7	0.972	0.974	0.976	0.974	0.914	0.935	0.934	0.928	0.058	0.039	0.042	0.046	0.02828	4.25E-04	4.427565	0.066622	161.6989287
				12.65		29.06	0.000926	997.548	9.29E-07	0.008341	0.910536	105890.3	0.855	0.856	0.86	0.857	0.814	0.829	0.826	0.823	0.041	0.027	0.034	0.034	0.0314	6.02E-04	3.249005	0.05707	188.7619508
				12.65		27.82	0.000926	997.548	9.29E-07	0.006875	0.750505	87279.63	0.775	0.781	0.785	0.780	0.741	0.765	0.76	0.755	0.034	0.016	0.025	0.025	0.03398	7.74E-04	2.388974	0.048937	220.1323709
12.65					26	0.000926	997.548	9.29E-07	0.005021	0.548004	63733.96	0.759	0.76	0.763	0.761	0.736	0.756	0.749	0.747	0.023	0.004	0.014	0.014	0.03484	8.37E-04	1.305973	0.036183	297.7300117	
12.65					25.02	0.000926	997.548	9.29E-07	0.004162	0.454315	52834.26	0.695	0.698	0.699	0.697	0.681	0.691	0.69	0.687	0.014	0.007	0.009	0.010	0.03709	1.01E-03	0.95559	0.030951	348.0598394	
12.65					24.18	0.000926	997.548	9.29E-07	0.003501	0.382144	44441.17	0.67	0.675	0.676	0.674	0.66	0.67	0.667	0.666	0.010	0.005	0.009	0.008	0.04194	1.44E-03	0.764472	0.027683	389.1427305	
12.65					23.83	0.000926	997.548	9.29E-07	0.003245	0.354236	41195.7	0.659	0.661	0.662	0.661	0.651	0.651	0.653	0.652	0.008	0.010	0.009	0.009	0.05491	2.93E-03	0.860031	0.029362	366.8872848	
12.34					34.07	0.000922	997.5	9.24E-07	0.016643	1.816771	212278.4	1.015	0.976	0.956	0.982	0.859	0.868	0.846	0.858	0.156	0.108	0.110	0.125	0.02892	4.58E-04	11.91244	0.109281	98.11423325	
12.34					33.49	0.00092	997.476	9.22E-07	0.015572	1.699794	199080.7	0.953	0.915	0.897	0.922	0.818	0.817	0.795	0.810	0.135	0.098								

3/16/2012

489.00

10.7	31.34	0.000865	996.779	8.68E-07	0.014664	1.600731	199147.3	0.878	0.885	0.886	0.883	0.795	0.814	0.809	0.806	0.083	0.071	0.077	0.077	0.02301	2.02E-04	7.352368	0.085884	117.249671
10.7	30.33	0.000865	996.779	8.68E-07	0.012961	1.414868	176024	0.85	0.845	0.843	0.846	0.775	0.79	0.79	0.785	0.075	0.055	0.053	0.061	0.02333	2.13E-04	5.824603	0.076442	131.7322403
10.7	29.21	0.000863	996.752	8.66E-07	0.011217	1.224479	152668.7	0.79	0.793	0.789	0.791	0.745	0.743	0.746	0.745	0.045	0.050	0.043	0.046	0.02349	2.18E-04	4.392205	0.066382	151.3683873
10.7	28.1	0.000865	996.779	8.68E-07	0.009634	1.051676	130839.2	0.765	0.766	0.761	0.764	0.724	0.731	0.729	0.728	0.041	0.035	0.032	0.036	0.02492	2.72E-04	3.437471	0.058725	171.4769479
10.7	26.76	0.000863	996.752	8.66E-07	0.00791	0.863503	107662.1	0.725	0.728	0.725	0.726	0.7	0.701	0.701	0.701	0.025	0.027	0.024	0.025	0.02601	3.17E-04	2.418895	0.049262	203.970768
10.7	25.5	0.000865	996.779	8.68E-07	0.00647	0.706273	87867.61	0.693	0.695	0.698	0.695	0.675	0.676	0.677	0.676	0.018	0.019	0.021	0.019	0.02967	5.00E-04	1.846049	0.043035	233.9934096
10.7	24.65	0.000865	996.779	8.68E-07	0.005594	0.610634	75969.09	0.68	0.675	0.675	0.677	0.661	0.663	0.661	0.662	0.019	0.012	0.014	0.015	0.0308	5.65E-04	1.432279	0.037907	265.6509453
10.7	23.6	0.000865	996.779	8.68E-07	0.004614	0.503707	62666.32	0.661	0.661	0.655	0.659	0.648	0.65	0.647	0.648	0.013	0.011	0.008	0.011	0.03219	6.52E-04	1.01851	0.031966	315.0232687
10.7	22.96	0.000865	996.779	8.68E-07	0.004071	0.444444	55292.92	0.65	0.65	0.648	0.649	0.64	0.641	0.64	0.640	0.010	0.009	0.008	0.009	0.03488	8.40E-04	0.859368	0.029362	342.9538957
10.7	22.3	0.000865	996.779	8.68E-07	0.003553	0.387876	48255.75	0.635	0.635	0.635	0.635	0.628	0.625	0.631	0.628	0.007	0.010	0.004	0.007	0.03562	8.96E-04	0.668397	0.025895	388.8731654
11.65	33.4	0.000867	996.806	8.7E-07	0.016681	1.820887	226046.7	1.02	0.99	0.96	0.990	0.873	0.861	0.845	0.860	0.147	0.129	0.115	0.130	0.03009	5.24E-04	12.44525	0.111737	90.31711276
11.65	32.73	0.000867	996.806	8.7E-07	0.015445	1.685988	209300.2	1.001	0.965	0.945	0.970	0.861	0.855	0.833	0.850	0.140	0.110	0.112	0.121	0.0325	6.73E-04	11.5222	0.107513	93.86509826
11.65	31.4	0.000867	996.806	8.7E-07	0.013157	1.436241	178296.3	0.94	0.913	0.888	0.914	0.843	0.834	0.79	0.822	0.097	0.079	0.098	0.091	0.0339	7.69E-04	8.721227	0.093537	107.8904844
11.65	30.05	0.000865	996.779	8.68E-07	0.011054	1.206655	150120.2	0.865	0.854	0.84	0.853	0.798	0.786	0.771	0.785	0.067	0.068	0.069	0.068	0.03575	9.06E-04	6.493	0.080709	124.7678062
11.65	39.98	0.000865	996.779	8.68E-07	0.031959	3.488692	434028.8	0.835	0.82	0.806	0.820	0.775	0.762	0.751	0.763	0.060	0.058	0.055	0.058	0.00363	1.99E-09	5.506319	0.074324	135.4860468
11.65	28.9	0.000865	996.779	8.68E-07	0.009431	1.029513	128081.9	0.801	0.788	0.775	0.788	0.735	0.738	0.734	0.736	0.066	0.050	0.041	0.052	0.0378	1.07E-03	4.997064	0.070804	142.2223323
11.65	28.45	0.000865	996.779	8.68E-07	0.008837	0.964698	120018.2	0.761	0.757	0.745	0.754	0.711	0.712	0.699	0.707	0.050	0.045	0.046	0.047	0.03866	1.14E-03	4.487809	0.067099	150.0749013
11.65	27.32	0.000865	996.779	8.68E-07	0.007446	0.812829	101124.3	0.726	0.721	0.719	0.722	0.682	0.681	0.693	0.685	0.044	0.040	0.026	0.037	0.04249	1.50E-03	3.501128	0.059266	169.9109155
11.65	26.17	0.000865	996.779	8.68E-07	0.006173	0.673855	83834.48	0.71	0.705	0.698	0.704	0.679	0.681	0.676	0.679	0.031	0.024	0.022	0.026	0.04327	1.58E-03	2.450789	0.049585	203.0823873
11.65	25.01	0.000865	996.779	8.68E-07	0.00503	0.54905	68307.41	0.688	0.684	0.678	0.683	0.667	0.665	0.664	0.665	0.021	0.019	0.014	0.018	0.04571	1.83E-03	1.718735	0.041525	242.5050253
10.74	33.2	0.000869	996.833	8.72E-07	0.018053	1.970614	244105.7	0.995	1.008	0.96	0.988	0.885	0.884	0.881	0.883	0.110	0.124	0.079	0.104	0.02057	1.30E-04	9.962839	0.099972	101.1637624
10.74	32.28	0.000869	996.833	8.72E-07	0.016288	1.777942	220238.8	0.954	0.964	0.923	0.947	0.863	0.861	0.859	0.861	0.091	0.103	0.064	0.086	0.02083	1.37E-04	8.212181	0.090765	111.426192
10.74	31.14	0.000869	996.833	8.72E-07	0.014248	1.555331	192663.4	0.915	0.922	0.891	0.909	0.842	0.841	0.842	0.842	0.073	0.081	0.049	0.068	0.02141	1.53E-04	6.461522	0.080511	125.6172041
10.74	29.7	0.000869	996.833	8.72E-07	0.0119	1.299015	160912.7	0.848	0.857	0.83	0.845	0.795	0.796	0.792	0.794	0.053	0.061	0.038	0.051	0.02299	2.01E-04	4.838184	0.069667	145.1694889
10.74	28.19	0.000867	996.806	8.7E-07	0.009703	1.059126	131480.9	0.787	0.792	0.775	0.785	0.753	0.751	0.746	0.750	0.034	0.041	0.029	0.035	0.02366	2.24E-04	3.310247	0.057627	175.1224219
10.74	26.87	0.000867	996.806	8.7E-07	0.007996	0.872792	108349.2	0.745	0.75	0.735	0.743	0.72	0.719	0.717	0.719	0.025	0.031	0.018	0.025	0.02479	2.67E-04	2.355368	0.04861	207.6072733
10.74	25.7	0.000867	996.806	8.7E-07	0.006644	0.725205	90027.68	0.719	0.725	0.71	0.718	0.701	0.703	0.698	0.701	0.018	0.022	0.012	0.017	0.02523	2.84E-04	1.655123	0.040748	247.6605041
10.74	24.52	0.000867	996.806	8.7E-07	0.005428	0.59249	73552.34	0.682	0.69	0.68	0.684	0.674	0.672	0.671	0.672	0.008	0.018	0.009	0.012	0.02544	2.93E-04	1.114025	0.03343	301.8730914
10.74	23.56	0.000867	996.806	8.7E-07	0.004544	0.496058	61581.07	0.67	0.67	0.664	0.668	0.659	0.658	0.661	0.659	0.011	0.012	0.003	0.009	0.02696	3.60E-04	0.827562	0.028813	350.2448438
10.74	22.7	0.000867	996.806	8.7E-07	0.003831	0.418163	51911.15	0.653	0.655	0.65	0.653	0.645	0.645	0.645	0.645	0.008	0.010	0.005	0.008	0.03357	7.45E-04	0.732074	0.0271	372.3869957