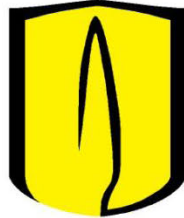


Universidad de los Andes
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Civil y
Ambiental



Universidad
de los Andes

Tesis II
Maestría en Ingeniería Civil

**Efecto de los materiales de las tuberías en la
generación de biopelículas en redes de
distribución de agua potable**

Presentado por:
Ing. Angela María Donoso Rojas

Asesor:
Ing. Juan G. Saldarriaga

Bogotá D.C., Julio de 2009



Universidad de los Andes
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados - CIACUA

Efecto de los materiales de las tuberías en la generación de biopelículas en redes de distribución de agua potable.

MIC 2009-I-5



A Dios por darme salud y las fuerzas necesarias para cumplir mis sueños a pesar de las dificultades, y a mi familia por su apoyo incondicional, por ser el motor de mi vida y por su infinito amor.



AGRADECIMIENTOS

A la empresa American Pipe por financiar la construcción de la tubería de CCP que utilicé en el montaje, y en especial al ingeniero Fabio Varón y al ingeniero Juan Carlos Barrios, por sus consejos y dedicación para sacar adelante su construcción.

A PAVCO por financiar la tubería de PVC que utilicé en el montaje de laboratorio.

A la Universidad de los Andes por permitirme usar sus instalaciones para llevar a cabo este proyecto.

Al profesor Juan Saldarriaga por su asesoría y apoyo.

Al personal del laboratorio por su tiempo y dedicación, y en especial a Julián Arbeláez y John Calvo, quienes me prestaron su apoyo y colaboración en las actividades relacionadas con el montaje.

Al ingeniero Mauricio Jiménez Aldana, por su interés en el desarrollo de mi tesis y por sus buenos consejos.

A mis seres queridos, amigos y compañeros que hicieron parte de este proceso, por su paciencia, aportes y experiencias.

Y a todos aquellos que de una u otra forma me brindaron su apoyo y ayuda para culminar exitosamente la presente tesis.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	10
2	OBJETIVOS.....	12
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2.2.1	<i>Tesis 1</i>	12
2.2.2	<i>Tesis 2</i>	13
3	ANTECEDENTES.....	14
3.1	REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.....	15
3.2	MODELOS FÍSICOS	15
4	MARCO TEÓRICO	16
4.1	ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS.....	16
4.1.1	<i>Qué es una biopelícula</i>	16
4.1.2	<i>Cómo se desarrolla</i>	16
4.1.3	<i>Efectos de las biopelículas en los sistemas de distribución de agua a presión</i>	22
4.1.4	<i>Factores de crecimiento y desarrollo</i>	24
4.1.4.1	<i>Material</i>	24
4.1.4.2	<i>Rugosidad</i>	28
4.1.4.3	<i>Edad de las tuberías</i>	30
4.1.4.4	<i>Nutrientes</i>	31
4.1.4.5	<i>Temperatura</i>	33
4.1.4.6	<i>Condiciones hidráulicas</i>	33
4.1.4.7	<i>Tipo y concentración del desinfectante</i>	34
4.1.4.8	<i>Tratamientos de control</i>	35
4.2	ASPECTOS HIDRÁULICOS.....	36
4.2.1	<i>Número de Reynolds</i>	36
4.2.2	<i>Interacción fluido con la pared de la tubería</i>	37
4.2.3	<i>Pérdidas de altura piezométrica debido a la fricción</i>	40
4.2.4	<i>Pérdidas menores</i>	43
5	MODELO FÍSICO.....	45

5.1	ANTECEDENTES	45
5.2	DESCRIPCIÓN DEL MODELO.....	45
5.2.1	<i>Instrumentación del modelo</i>	49
5.2.1.1	<i>Aspectos hidráulicos</i>	50
5.2.1.2	<i>Aspectos microbiológicos</i>	52
5.2.1.3	<i>Vertederos</i>	56
5.3	METODOLOGÍA DE LAS PRUEBAS	59
5.3.1	<i>Suministro de nutrientes</i>	59
5.3.2	<i>Recirculación diaria</i>	60
5.3.3	<i>Medición de biopelícula</i>	62
5.3.3.1	<i>Extracción de los testigos</i>	62
5.3.3.2	<i>Procedimiento de cálculo</i>	65
5.3.4	<i>Cálculo de velocidades</i>	67
5.3.4.1	<i>Velocidad inicial de crecimiento de la biopelícula</i>	67
5.3.4.2	<i>Velocidad de regeneración de la biopelícula</i>	67
5.3.5	<i>Determinación de pérdidas y cálculo de la subcapa laminar viscosa</i>	68
5.3.5.1	<i>Pérdidas menores, pérdidas por fricción y rugosidad absoluta</i>	69
5.3.5.2	<i>Subcapa laminar viscosa</i>	70
5.3.6	<i>Calidad del agua y análisis de la biopelícula</i>	71
5.3.7	<i>Cronograma</i>	71
6	RESULTADOS.....	72
6.1	ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS.....	72
6.1.1	<i>Testigos de borde</i>	74
6.1.2	<i>Testigos de centro</i>	78
6.1.3	<i>Comparación de resultados</i>	85
6.1.4	<i>Subcapa Laminar Viscosa</i>	87
6.1.5	<i>Regeneración de la biopelícula</i>	89
6.2	ASPECTOS HIDRÁULICOS.....	102
6.2.1	<i>Pérdidas por fricción</i>	103
6.2.2	<i>Comparación con la Subcapa Laminar Viscosa</i>	109
6.2.3	<i>Pérdidas menores</i>	112



7	CONCLUSIONES.....	115
7.1	MODELO FÍSICO Y DESARROLLO DE LAS PRUEBAS	115
7.2	SUMINISTRO DE NUTRIENTES	115
7.3	ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS.....	115
7.4	ASPECTOS HIDRÁULICOS.....	118
8	RECOMENDACIONES.....	119
9	BIBLIOGRAFÍA.....	120
10	ANEXOS.....	124

LISTA DE ANEXOS

<i>ANEXO 1. DATOS Y CURVAS DE CALIBRACIÓN DE LOS VERTEDEROS.....</i>	<i>126</i>
<i>ANEXO 2. DATOS RECIRCULACIÓN.....</i>	<i>130</i>
<i>ANEXO 3. VELOCIDADES DE RECIRCULACIÓN DE LAS TUBERÍAS DEL MODELO FÍSICO.....</i>	<i>136</i>
<i>ANEXO 4. PRUEBAS DE PIEZÓMETROS</i>	<i>140</i>
<i>ANEXO 5. CÁLCULO DE LA SUBCAPA LAMINAR CON BASE EN LA VELOCIDAD DE RECIRCULACIÓN; COMPARACIÓN CON EL ESPESOR DE LA BIOPELÍCULA.....</i>	<i>167</i>
<i>ANEXO 6. CÁLCULO DE LA SUBCAPA LAMINAR CON BASE EN LA VELOCIDAD DE RECIRCULACIÓN; COMPARACIÓN CON EL ESPESOR DE LA BIOPELÍCULA Y LA RUGOSIDAD ABSOLUTA</i>	<i>171</i>
<i>ANEXO 7. REGISTRO FOTOGRÁFICO.....</i>	<i>175</i>
<i>ANEXO 8. RESULTADOS PRUEBAS DE CALIDAD DE AGUA.....</i>	<i>179</i>
<i>ANEXO 9. RESULTADO ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO</i>	<i>180</i>
<i>ANEXO 10. CRONOGRAMA</i>	<i>181</i>

LISTA DE DIAGRAMAS

<i>DIAGRAMA DE FLUJO 1. RECIRCULACIÓN DIARIA.....</i>	<i>61</i>
<i>DIAGRAMA DE FLUJO 2. PESO TESTIGOS DE BORDE</i>	<i>63</i>
<i>DIAGRAMA DE FLUJO 3. PESO TESTIGOS DE CENTRO.....</i>	<i>64</i>
<i>DIAGRAMA DE FLUJO 4. CÁLCULO ESPESOR BIOPELÍCULA TESTIGO DE BORDE.....</i>	<i>65</i>
<i>DIAGRAMA DE FLUJO 5. CÁLCULO ESPESOR BIOPELÍCULA TESTIGO DE CENTRO.....</i>	<i>66</i>
<i>DIAGRAMA DE FLUJO 6. CÁLCULO VELOCIDAD DE CRECIMIENTO BIOPELÍCULA</i>	<i>67</i>

DIAGRAMA DE FLUJO 7. CÁLCULO VELOCIDAD DE REGENERACIÓN DE LA BIOPELÍCULA.....	68
DIAGRAMA DE FLUJO 8. CÁLCULO PÉRDIDAS MENORES Y PÉRDIDAS POR FRICCIÓN	69
DIAGRAMA DE FLUJO 9. CÁLCULO SUBCAPA LAMINAR VISCOSA.....	70

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. PROCESO DE FORMACIÓN DE LAS BIOPELÍCULAS.....	17
FIGURA 2. ADHESIÓN DE CÉLULAS BACTERIANAS A LA SUPERFICIE ACONDICIONADA.....	19
FIGURA 3. MALLA PEGAJOSA QUE PERMITE A LAS CÉLULAS ADHERIRSE A LA SUPERFICIE.....	19
FIGURA 4. FORMACIÓN DE LAS BIOPELÍCULAS.....	20
FIGURA 5. SUPERFICIE MUY RUGOSA.....	29
FIGURA 6. SUPERFICIE MEDIANAMENTE RUGOSA.....	30
FIGURA 7. SUPERFICIE POCO RUGOSA.....	30
FIGURA 8. MECANISMO DE DEFENSA DE LAS BACTERIAS.....	31
FIGURA 9. CAPA LÍMITE.....	38
FIGURA 10. DESARROLLO DE UNA CAPA LÍMITE TURBULENTO.....	38
FIGURA 11. FLUJO HIDRÁULICAMENTE LISO E HIDRÁULICAMENTE RUGOSO.....	39
FIGURA 12. DIAGRAMA DE MOODY.....	42
FIGURA 13. VISTA EN PLANTA DEL MODELO ACTUAL.....	46
FIGURA 14. VISTA LATERAL DEL MODELO.....	46
FIGURA 15. MONTAJE.....	47
FIGURA 16. VERTEDEROS TRIANGULARES.....	48
FIGURA 17. VÁLVULAS REGULADORAS DE CAUDAL.....	49
FIGURA 18. DISTRIBUCIÓN DE LOS PIEZÓMETROS EN LAS TRES TUBERÍAS.....	50
FIGURA 19. PIEZÓMETROS.....	51
FIGURA 20. TESTIGOS EXTRAÍBLES BORDE Y CENTRO.....	52
FIGURA 21. TESTIGOS DE BORDE PVC.....	53
FIGURA 22. TESTIGOS DE BORDE POLIETILENO Y PVC.....	54
FIGURA 23. TESTIGOS DE CENTRO PVC Y POLIETILENO.....	55
FIGURA 24. TESTIGOS DE CENTRO CCP.....	55
FIGURA 25. CALIBRACIÓN VERTEDERO No 1 (POLIETILENO).....	57
FIGURA 26. CALIBRACIÓN VERTEDERO No 2 (PVC).....	58
FIGURA 27. CALIBRACIÓN VERTEDERO No 3 (CCP).....	58

<i>FIGURA 28. CRECIMIENTO DE BIOPELÍCULA EN LOS TESTIGOS DE BORDE</i>	<i>77</i>
<i>FIGURA 29. CRECIMIENTO DE BIOPELÍCULA EN LOS TESTIGOS DE CENTRO</i>	<i>84</i>
<i>FIGURA 30. COMPARACIÓN DEL CRECIMIENTO DE BIOPELÍCULA ENTRE TESTIGOS DE BORDE Y TESTIGOS DE CENTRO</i>	<i>86</i>
<i>FIGURA 31. COMPARACIÓN DE ESPESORES DE BIOPELÍCULA EN TESTIGOS DE BORDE Y CENTRO CON LA SUBCAPA LAMINAR VISCOSA PARA CADA MATERIAL.....</i>	<i>88</i>
<i>FIGURA 32. ESPESOR REGENERADO POR PERÍODOS -POLIETILENO.....</i>	<i>95</i>
<i>FIGURA 33. ESPESOR REGENERADO POR PERÍODOS – PVC.....</i>	<i>96</i>
<i>FIGURA 34. ESPESOR REGENERADO POR PERÍODOS – CCP.....</i>	<i>97</i>
<i>FIGURA 35. VELOCIDAD DE REGENERACIÓN POR PAREJA DE TESTIGOS – POLIETILENO</i>	<i>100</i>
<i>FIGURA 36. VELOCIDAD DE REGENERACIÓN POR PAREJA DE TESTIGOS - PVC</i>	<i>100</i>
<i>FIGURA 37. VELOCIDAD DE REGENERACIÓN POR PAREJA DE TESTIGOS - CCP.....</i>	<i>101</i>
<i>FIGURA 38. FACTOR DE FRICCIÓN VS NÚMERO DE REYNOLDS. TUBERÍA DE POLIETILENO.</i>	<i>105</i>
<i>FIGURA 39. FACTOR DE FRICCIÓN VS NÚMERO DE REYNOLDS. TUBERÍA DE PVC.....</i>	<i>107</i>
<i>FIGURA 40. FACTOR DE FRICCIÓN VS NÚMERO DE REYNOLDS. TUBERÍA DE CCP</i>	<i>108</i>
<i>FIGURA 41. COMPARACIÓN DE ESPESORES DE BIOPELÍCULA EN TESTIGOS DE CENTRO, KS Y ESPESOR DE LA SUBCAPA LAMINAR VISCOSA PARA EL POLIETILENO.</i>	<i>110</i>
<i>FIGURA 42. COMPARACIÓN DE ESPESORES DE BIOPELÍCULA EN TESTIGOS DE CENTRO, KS Y ESPESOR DE LA SUBCAPA LAMINAR VISCOSA PARA EL PVC.....</i>	<i>111</i>
<i>FIGURA 43. COMPARACIÓN DE ESPESORES DE BIOPELÍCULA EN TESTIGOS DE CENTRO, KS Y ESPESOR DE LA SUBCAPA LAMINAR VISCOSA PARA EL CCP.</i>	<i>112</i>
<i>FIGURA 44. UNIÓN TUBERÍA DE PVC.....</i>	<i>113</i>
<i>FIGURA 45. COEFICIENTE DE PÉRDIDAS MENORES DE LA UNIÓN DE PVC VS NÚMERO DE REYNOLDS.....</i>	<i>113</i>
<i>FIGURA 46. RESUMEN FOTOGRÁFICO CRECIMIENTO DE BIOPELÍCULAS – DÍA 0 VS DÍA 89.....</i>	<i>176</i>
<i>FIGURA 47. CRECIMIENTO DE BIOPELÍCULA TESTIGOS DE CENTRO.....</i>	<i>177</i>
<i>FIGURA 48. CRECIMIENTO DE BIOPELÍCULA TESTIGOS DE BORDE.....</i>	<i>177</i>
<i>FIGURA 49. CONSTRUCCIÓN TESTIGOS POLIETILENO Y PVC</i>	<i>178</i>
<i>FIGURA 50. CONSTRUCCIÓN DE TESTIGOS CCP</i>	<i>178</i>

LISTA DE TABLAS

<i>TABLA 1. NUTRIENTES PARA EL CRECIMIENTO BACTERIAL ENCONTRADOS EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.....</i>	<i>32</i>
<i>TABLA 2. RESUMEN DE ECUACIONES VERTEDEROS TRIANGULARES.....</i>	<i>59</i>
<i>TABLA 3. ÁREAS DE LOS TESTIGOS DE BORDE Y CENTRO</i>	<i>73</i>
<i>TABLA 4. PESO DE BIOPELÍCULA EN LOS TESTIGOS DE BORDE POLIETILENO.....</i>	<i>75</i>
<i>TABLA 5. PESO DE BIOPELÍCULA EN LOS TESTIGOS DE BORDE PVC</i>	<i>76</i>
<i>TABLA 6. PESOS DE BIOPELÍCULA EN LOS TESTIGOS DE CENTRO TUBERÍA DE POLIETILENO 4”</i>	<i>81</i>
<i>TABLA 7. PESOS DE BIOPELÍCULA EN LOS TESTIGOS DE CENTRO TUBERÍA DE PVC 4”</i>	<i>82</i>
<i>TABLA 8. PESOS DE BIOPELÍCULA EN LOS TESTIGOS DE CENTRO TUBERÍA DE CCP 6”</i>	<i>83</i>
<i>TABLA 9. FECHAS CORRESPONDIENTES AL PESAJE NO 1 Y AL PESAJE NO 2 – POLIETILENO.</i>	<i>90</i>
<i>TABLA 10. FECHAS CORRESPONDIENTES AL PESAJE NO 1 Y AL PESAJE NO 2 - PVC</i>	<i>91</i>
<i>TABLA 11. FECHAS CORRESPONDIENTES AL PESAJE NO 1 Y AL PESAJE NO 2 – CCP</i>	<i>92</i>
<i>TABLA 12. VELOCIDADES INICIALES DE CRECIMIENTO.....</i>	<i>93</i>
<i>TABLA 13. ESPESORES OBTENIDOS EN EL SEGUNDO PESAJE – POLIETILENO.</i>	<i>94</i>
<i>TABLA 14. ESPESORES OBTENIDOS EN EL SEGUNDO PESAJE – PVC.....</i>	<i>96</i>
<i>TABLA 15. ESPESORES OBTENIDOS EN EL SEGUNDO PESAJE – CCP.</i>	<i>97</i>
<i>TABLA 16. VELOCIDADES DE REGENERACIÓN – POLIETILENO Y PVC</i>	<i>98</i>
<i>TABLA 17. VELOCIDADES DE REGENERACIÓN – CCP</i>	<i>99</i>
<i>TABLA 18. VELOCIDADES PROMEDIO DE REGENERACIÓN</i>	<i>101</i>
<i>TABLA 19. DATOS CONSTANTES DE LAS TUBERÍAS.....</i>	<i>102</i>



1 INTRODUCCIÓN

El propósito de un sistema de distribución de agua potable es hacer la entrega de agua potable a cada consumidor, cumpliendo con una serie de estándares para que ésta sea apta para consumo. A pesar de que al agua se le da un tratamiento adecuado en la plantas de purificación, de acuerdo con estudios realizados, se ha demostrado que la calidad de la misma se reduce al salir de la planta de tratamiento como consecuencia de la formación de biopelículas en los sistemas de distribución.

La persistencia de microorganismos en los sistemas de distribución está asociada con una variedad de condiciones que favorecen su crecimiento y desarrollo. El crecimiento de las biopelículas está relacionado con el tipo de material de las tuberías, la temperatura a la que se encuentra expuesto el sistema, la edad del sistema, los tratamientos, a la hidráulica, las características físicas y químicas del agua, entre otros. Con respecto a estas últimas, el suministro de agua potable presenta unas trazas mínimas de nutrientes que pueden dar apoyo a diversas poblaciones de organismos sobrevivientes. Por otra parte, los altos niveles de cloro residual que presenta el agua tratada no son suficientes para evitar la formación de biopelículas.

Las compañías de distribución de agua potable están interesadas en la limitación de la generación de biopelículas dentro de sus redes, con el fin de minimizar efectos hidráulicos no deseados y prevenir el deterioro de la calidad de agua que suministran. Las biopelículas pueden causar corrosión en las tuberías, afectar la presión de la red, tapar los filtros de purificación de agua, albergar bacterias u otros microorganismos patógenos que contaminan el agua, y pueden ser perjudiciales para la salud. Con el fin de minimizar el riesgo que representa la presencia de biopelículas en las redes de agua potable, se han estudiado factores que favorecen el desarrollo y crecimiento de las mismas. Por esta razón, hoy en día el estudio de las biopelículas se ha convertido en una parte importante en el control de sistemas de distribución de agua potable.



El presente trabajo pretende estudiar la influencia que tienen los materiales de las tuberías en la formación de biopelículas en redes de distribución de agua potable, y observar el efecto que tienen las mismas sobre el comportamiento hidráulico de la red.

Para ello, se desarrolló un modelo físico en el que se logró realizar la comparación de los materiales utilizados (polietileno, PVC y CCP) bajo las mismas condiciones hidráulicas y de calidad de agua, y se estudió el efecto que causa el crecimiento de la biopelícula en las condiciones hidráulicas, específicamente en el cambio de la rugosidad absoluta (k_s) y el coeficiente de pérdidas menores (k_m).

Con el desarrollo de la presente tesis se espera que ésta proporcione información confiable acerca de la influencia que tienen los materiales seleccionados en el crecimiento y desarrollo de las biopelículas en las redes de distribución de agua potable, así como el efecto que estas tienen en el comportamiento hidráulico de la red. Adicionalmente, mediante la investigación del tema, se espera que los resultados obtenidos contribuyan a limitar en un futuro la generación de biopelículas, y así poder minimizar efectos hidráulicos no deseados y prevenir el deterioro de la calidad de agua.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Estudiar la influencia que tienen los materiales de las tuberías en la formación de biopelículas en las redes de distribución de agua potable y observar el efecto que estas tienen en el comportamiento hidráulico de la red para cada uno de los materiales seleccionados.

2.2 Objetivos Específicos

2.2.1 Tesis 1

- Realizar una investigación bibliográfica en cuanto al crecimiento de biopelículas en los sistemas de distribución de agua potable en diferentes materiales.
- Diseñar un montaje que permita realizar las pruebas necesarias para determinar la influencia que tienen los materiales seleccionados en la formación de biopelículas en redes de agua potable, y la influencia que estas tienen sobre el comportamiento hidráulico de las tuberías.
- Solucionar algunos de los problemas que se presentaron en modelos físicos anteriores, con el fin de lograr resultados experimentales más representativos.



2.2.2 Tesis 2

- Estudiar la influencia de los materiales seleccionados en el crecimiento de la biopelícula y realizar su comparación.
- Comprobar si existe una relación directa entre los materiales seleccionados y la generación de biopelícula, sometidos bajo las mismas condiciones ambientales e hidráulicas.
- Estudiar la influencia de la biopelícula en el comportamiento hidráulico de la red, y observar los cambios producidos en las pérdidas por fricción y en las pérdidas menores del sistema.
- Estimar el espesor promedio mediante técnicas físicas, con el fin de observar su comportamiento a lo largo del tiempo de estudio.

3 ANTECEDENTES

La Universidad de los Andes ha venido desarrollando una serie de investigaciones con el fin de determinar la influencia que tienen los materiales de las tuberías en la formación de biopelículas tanto en redes de distribución de agua potable como de alcantarillados, y así poder observar el efecto que estas tienen en el comportamiento hidráulico de la red. Algunas investigaciones relacionadas con el tema propuesto que se han realizado recientemente son:

- “Influencia de los materiales de las tuberías en el crecimiento de biopelículas en las redes de distribución de agua a presión”. Vargas Gamarra, Andrea. 2005.
- “Comportamiento de biopelículas luego de lavados sucesivos en tuberías de agua a presión”. Reyes del Toro, Paula. 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”. Gelves Guzmán, Mario Fernando. 2005.
- “Efecto hidráulico de las biopelículas en tuberías de agua potable”. Latorre Sánchez, Rubén Mauricio. 2004.
- “Factores que favorecen el desarrollo y el crecimiento de biopelículas en las tuberías de los sistemas de distribución de agua potable”. Vargas Gamarra, Andrea. 2004.
- “Influencia del crecimiento de biopelículas sobre la rugosidad absoluta en tuberías presurizadas”. Echeverría, María Angélica. 2003.
- “Biopelículas en redes de distribución de agua potable: estado del arte”. Aray Villalba, Angela María. 2002.

3.1 Revisión del Estado del Arte

Parte del desarrollo del presente proyecto es realizar una revisión del estado del arte referente a la cinética y desarrollo de las biopelículas en los sistemas de distribución de agua potable, haciendo especial énfasis en la influencia que tienen los materiales en la generación de las biopelículas en las redes de distribución.

3.2 Modelos físicos

El modelo físico base para desarrollar la presente tesis fue utilizado anteriormente por Andrea Vargas Gamarra, en su tesis “Influencia de los materiales de las tuberías en el crecimiento de biopelículas en las redes de distribución de agua a presión”. El modelo estaba constituido por dos tanques conectados por 2 tuberías de igual diámetro (6”), una de PVC y otra de polietileno. Cada tubería, al comienzo, tenía una válvula cuya función era controlar el caudal que pasaba por la tubería desde el tanque 1 hacia el tanque 2, para luego desembocar en los vertederos del tanque 2. Este modelo fue modificado según los requerimientos necesarios para el desarrollo de la presente tesis.

4 MARCO TEÓRICO

4.1 Aspectos microbiológicos

4.1.1 Qué es una biopelícula

Una biopelícula es una estructura compleja de microorganismos y bacterias de una o varias especies, rodeadas por una capa que ellos mismos segregan, la cual favorece la adhesión a las superficies, protege a las bacterias y facilita la interacción entre las mismas. (12)

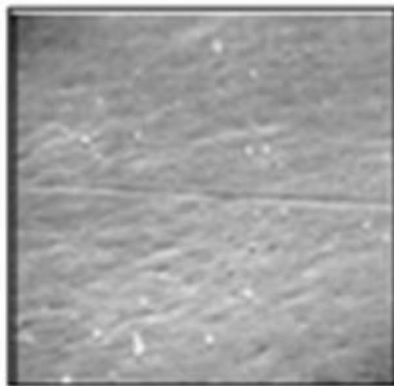
Para que una biopelícula puede desarrollarse es necesario que existan las condiciones apropiadas en el medio, como son temperatura, pH, nutrientes, condiciones hidráulicas, desinfectantes, edad del sistema, entre otros. (13,14).

Una de las características de las biopelículas es su heterogeneidad, por lo cual pueden estar conformadas por hongos, bacterias, algas y protozoos.

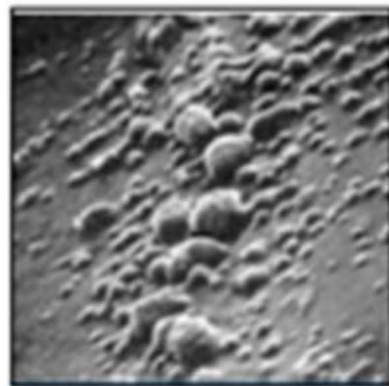
4.1.2 Cómo se desarrolla

La biopelícula empieza a formarse cuando una célula individual se une a una superficie. Estas se adhieren a las paredes de las tuberías por medio de una matriz de sustancias orgánicas poliméricas que son producidas por el mismo microorganismo, y la estructura química de esa matriz varía con los diferentes factores que pueden afectar el desarrollo de la biopelícula (15). Luego de esta unión, las células pioneras se esparcen sobre la superficie, dando inicio a la etapa de colonización. Simultáneamente, las células cambian su estructura, convirtiéndose en biopelículas más maduras.

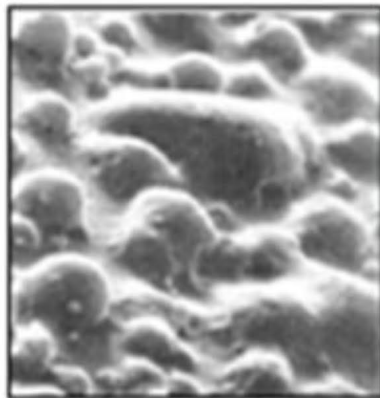
Una vez se ha concluido esta etapa, empieza la formación de microcolonias y segregación de limo. Cuando las bacterias se adhieren a la superficie, nuevas bacterias y otros microorganismos forman colonias altamente diversas creando un nuevo ecosistema. Es allí donde la biopelícula se desarrolla y se reproduce. (Ver Figura 1).



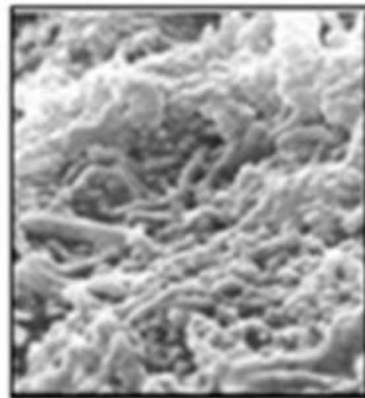
Superficie limpia. Primeras células colonizadoras



Formación de microcolonias



Crecimiento de biopelícula



Incremento de diversidad

Figura 1. Proceso de formación de las biopelículas.¹

¹ Tomado del curso de biopelículas en tuberías de agua potable. Jordi Morató. Referenciado por Andrea Vargas 2005.

Se han identificado los siguientes pasos en el desarrollo de las biopelículas:

1. Acondicionamiento de la superficie

El acondicionamiento de la superficie se da cuando esta entra en contacto con el agua, formando una capa acondicionadora, la cual facilita la aproximación de moléculas orgánicas. Estas moléculas neutralizan la carga excesiva que tiene la superficie, facilitando la aproximación de las primeras células. El crecimiento de la biopelícula se da una vez se concluye esta primera etapa.

2. Adhesión de las bacterias pioneras:

La duración de esta etapa depende de factores como son: la concentración de los nutrientes, las características del medio de soporte, la carga eléctrica de la superficie, entre otros.

El proceso de adhesión se lleva a cabo de la siguiente manera:

Las bacterias planctónicas (las cuales se encuentran flotando libremente), se acercan a la pared de la tubería para formar una especie de capa límite, fijándose a la superficie. Una vez se da esta primera colonización, las bacterias cambian su estructura para obtener una fijación más estable. (16). Algunas de las células que se fijan a la superficie permanecerán en ese estado por algún tiempo, para luego salir de nuevo (proceso llamado adsorción reversible). Cuando algunas de estas células comienzan a formar estructuras que les permitan adherirse a la superficie de forma permanente, éstas pasan a ser células irreversiblemente absorbidas.

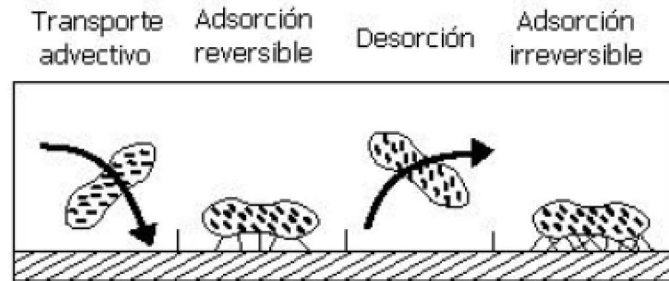


Figura 2. Adhesión de células bacterianas a la superficie acondicionada.²

3. *Formación de la capa gelatinosa*

Las bacterias excretan sustancias de material polimérico, el cual permite que la estructura se comporte como un todo, contribuyendo a que la biopelícula permanezca unida a la pared de la tubería. Además de servir como material cementante, retienen nutrientes que pueden alimentar a la biopelícula y sirven de barrera de protección a las bacterias contra los desinfectantes. (16).

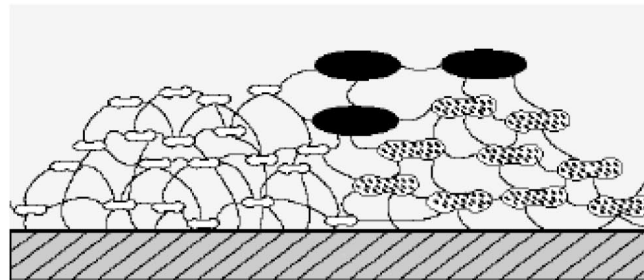


Figura 3. Malla pegajosa que permite a las células adherirse a la superficie.³

² Characklis, 1990. Referenciado por María Angélica Echavarría 2003.

³ www.edstrom.com

A medida que los nutrientes se acumulan, las células pioneras inician su reproducción. Luego, las células hijas producen su propia capa gelatinosa, incrementando rápidamente el volumen de la superficie, contribuyendo a la formación de una próspera colonia de bacterias.

El aspecto que le da el glicocalix a la biopelícula es gelatinoso y resbaloso, teniendo en cuenta que la matriz almacena gran cantidad de agua.

4. Desarrollo y reproducción

Las bacterias se van desarrollando y reproduciendo a medida que se van acumulando nutrientes en la matriz de polímeros (ver Figura 4).

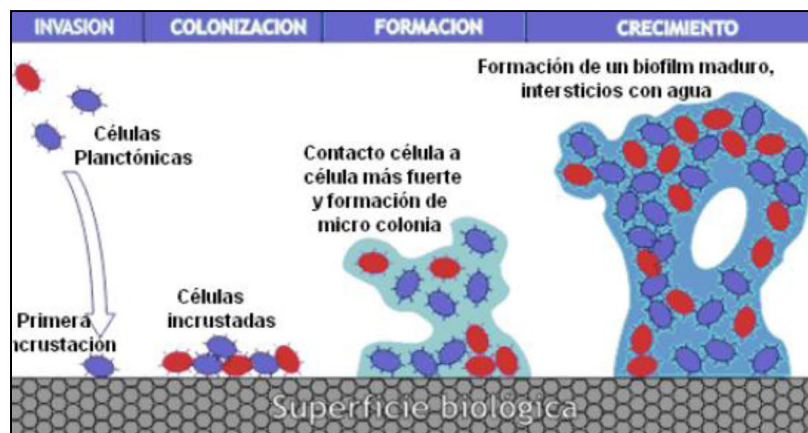


Figura 4. Formación de las biopelículas.⁴

⁴ Fuente. Herrera Maria T. El papel del biofilm en el proceso infeccioso y la resistencia. Nova – publicación científica. Vol 2 No 2. 2004.

5. Colonizadores secundarios

Una vez se desarrollan y reproducen las bacterias, se empiezan a desarrollar nuevos organismos, los cuales metabolizan los desperdicios de los organismos colonizadores generando sus propios desperdicios, que a su vez también serán metabolizados por otros (16). De esta forma, se van formando paulatinamente diferentes capas en una misma biopelícula, en las cuales las capas internas corresponden a biopelículas anaerobias debido a la falta de oxígeno, y en las capas externas biopelículas aerobias.

Esta fase de crecimiento se divide en dos pasos. El primero consiste en el crecimiento de la biopelícula bacteriana, y el otro consiste en una acumulación constante de biopelícula, que continúa hasta su desprendimiento parcial, o hasta alcanzar un determinado espesor.

En muchos casos, la presencia de estas capas anaerobias son las responsables de procesos de corrosión de las tuberías metálicas.

6. Desprendimiento y nueva colonización

En esta fase, las biopelículas dejan escapar nuevas células pioneras, que inician la colonización aguas abajo de la tubería. A medida que la biopelícula gana espesor, se desprenden algunas células por efectos de la fuerza cortante, las cuales son arrastradas aguas abajo para cumplir la función de células pioneras o para servir de recubrimiento orgánico inicial de la superficie. La nueva comunidad compleja, constituida por diferentes especies de microorganismos, vive en un hábitat apto para su supervivencia.

4.1.3 Efectos de las biopelículas en los sistemas de distribución de agua a presión

Deterioro de la calidad del agua

El hecho de tener una alta población bacteriana en un sistema de agua potable es un indicador de que la red de distribución puede ser susceptible a la colonización por parte de microorganismos patógenos. Tradicionalmente cuando se detecta la presencia de bacterias coliformes en la red, se le atribuye a la presencia de material fecal. Sin embargo, las biopelículas pueden contribuir a que los organismos patógenos encuentren las condiciones necesarias para desarrollarse en un sistema de agua potable.

Teniendo en cuenta que existen límites establecidos para cada uno de los parámetros como son color, turbiedad, DBO, cantidad de sólidos totales y suspendidos, materia orgánica, entre otros, es necesario aplicar un adecuado tratamiento al agua para cumplir con estos requisitos. En muchos casos este tratamiento se lleva a cabo de la manera indicada, pero pueden presentarse fallas como consecuencia de la generación de biopelículas en el sistema de distribución.

Efectos en las tuberías

La formación de biopelícula en las conducciones de agua potable reduce la velocidad y la capacidad de circulación del agua (17), puede favorecer la presencia de organismos patógenos que pueden crecer dentro de la biopelícula (18), disminuir los efectos del desinfectante y generar corrosión de superficies metálicas. Con el tiempo, la corrosión puede llegar a impedir el paso del agua, así como producir problemas de olor y sabor.

Como se mencionó anteriormente, la escasez de oxígeno en la superficie de las tuberías es causada por la presencia de las biopelículas, favoreciendo el desarrollo de un ambiente anaeróbico que permite el crecimiento de bacterias reductoras de azufre, lo

cual es muy peligroso teniendo en cuenta que puede presentarse un potencial altamente tóxico.

Teniendo en cuenta que la estructura de la biopelícula no es uniforme puesto que en ciertas partes se presenta mayor concentración de microorganismos que en otras, se generan ciertas zonas con mayor o menor concentración de oxígeno, ocasionando diferencias en el potencial eléctrico en las superficies metálicas lo cual contribuye a la corrosión.

La corrosión de las tuberías aumenta el área superficial de las mismas, generando ambientes propicios para el albergue de bacterias. En estos lugares las bacterias pueden desarrollarse más fácilmente, teniendo en cuenta que se encuentran protegidas de la acción de los desinfectantes y de las fuerzas cortantes que ejerce el fluido al pasar por la tubería.

Salud

Una de las razones por las cuales es necesario retirar las biopelículas de los sistemas de agua potable es que estas pueden albergar cualquier microorganismo que se encuentre presente en el agua. Los microorganismos pueden entrar en los sistemas de distribución de varias formas, ya sea por el uso de tratamientos inadecuados, o por deficiencias de la infraestructura del sistema. La biopelícula puede proteger a los microorganismos de los desinfectantes, y permiten que estos se recuperen y crezcan rápidamente. El crecimiento bacterial en los sistemas de distribución de agua potable puede dar como resultado el deterioro de la calidad del agua, la proliferación de organismos invertebrados, generación de malos sabores y olores, entre otros.

El grupo de bacterias patógenas que afectan a humanos pueden ser de diferentes tipos. En primer lugar, el grupo de bacterias patógenas responsables de enfermedades intestinales como son la disentería, gastroenteritis y fiebre tifoidea son: *Shigella*,



Yersenia enterocolitica, Campylobacter jejuni, Salmonella, Escherichia coli y Helicobacter pylori.

Los organismos que predominan en las biopelículas son especies de patógenos como *Pseudomonas* y *Flavobacterium*. Aunque gran parte de las biopelículas está formada por flora menos peligrosa, por dentro de estas también pueden estar presentes organismos patógenos como es el caso de la *Legionella Pneumophila*. Este organismo patógeno es causante de la neumonía, y es muy común encontrarlo en tuberías de látex, etileno, polipropileno, polietileno, PVC y acero.

También están las micro bacterias, las cuales tienen gran importancia en la salud, como son la *Mycobacterium avium* y la *P. Aeruginosa*. La primera es causante de enfermedades en los pulmones y afecta gravemente a los pacientes con cáncer o Sida, y la segunda ataca principalmente a las personas con diabetes, quemaduras y heridas importantes.

4.1.4 Factores de crecimiento y desarrollo

Los factores más importantes que afectan el crecimiento y desarrollo de las biopelículas se describen a continuación:

4.1.4.1 Material

Los materiales que conforman la infraestructura de los sistemas de distribución son muy importantes, teniendo en cuenta que a través de ellos se conduce el agua que sale de las plantas de tratamiento. Cuando se habla de materiales de la red de distribución, es importante tener claridad en que no solo se hace referencia al material de las tuberías, sino de todos los accesorios que la acompañan, como son válvulas, uniones, conexiones, empaques, entre otros.

Teniendo en cuenta que los materiales que conforman las tuberías de un sistema de distribución de agua potable pueden incidir directamente ante diversos factores, es necesario escoger el material teniendo en cuenta factores como por ejemplo, sus propiedades físicas químicas, la susceptibilidad a la corrosión, el impacto ambiental que puede causar, las facilidades de instalación, el costo, la relación con los materiales que ya existen en la red, entre otros.

Algunos estudios han demostrado que el material de la tubería influye en la rapidez con la que se forma la biopelícula. (14,15,19,20) y muchos afirman que las características de los materiales que conforman las tuberías de un sistema de distribución de agua potable, inciden directamente en la intensidad con la que las bacterias colonizan las superficies, ya que ciertos materiales pueden neutralizar el desinfectante residual (21).

A pesar de los resultados obtenidos en estudios anteriores, aún existen estudios en los que se afirma que el material de la tubería realmente no influye en la formación de biopelículas. “Aún no se ha descubierto el material al cual los microorganismos no se puedan adherir. Los estudios han mostrado que los microbios se pueden adherir al acero inoxidable, al teflón y PVC con la misma facilidad”.⁵ (11).

Generalmente los materiales empleados en los sistemas de distribución se clasifican en tres grandes grupos: plásticos, metálicos y cementados.

A continuación se presenta una comparación entre diferentes materiales de tuberías:

1. Plásticos:

Polietileno: El polietileno es un material termoplástico de gran uso en la actualidad, debido a su alta resistencia química, alta resistencia a la corrosión, no toxicidad,

⁵ MAYETTE (1992), www.edtrom.com

ausencia de olor, impermeabilidad, no tienen conductividad eléctrica, costos competitivos, poco peso, fácil manejo, transporte e instalación.

Algunos autores afirman que los materiales plásticos desprenden compuestos biodegradables, los cuales sirven como alimento para las bacterias. Estos compuestos se desprenden de sustancias que se agregan a las tuberías con el fin de mejorar sus propiedades, como son estabilizadores, antioxidantes y tintas. Según Morató, los materiales plásticos liberan partículas orgánicas que sirven como sustrato para los microorganismos en la biopelícula. (22)

Los materiales elásticos como el látex contribuyen a la generación de biopelículas puesto que proveen los nutrientes necesarios para su crecimiento. (13). Las biopelículas en este tipo de materiales son continuas y crecen rápidamente (13). Aunque estos materiales dejaron de utilizarse, hay diversos componentes que pueden ser colonizados por las biopelículas como son los accesorios de las duchas, empaques, entre otros.

PVC: El PVC es un polímero de la familia de los termoplásticos, resultado de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo a policloruro de vinilo. Dentro de las características más importantes de este material, se encuentran su alta resistencia mecánica y al impacto a pesar de su baja densidad, así como su gran versatilidad y resistencia al ataque de ácidos.

Storey y Ashbolt observaron que generalmente se desarrolla una mayor cantidad de biopelícula en superficies de PVC que en superficies de acero inoxidable, lo que soporta la creencia de que los microorganismos colonizan preferentemente las superficies hidrofóbicas (23). Por otro lado, se han realizado ensayos en los que los resultados muestran el mismo desarrollo de biopelículas en PVC y en acero (24).

Se ha encontrado que en la superficie de materiales plásticos pueden existir imperfecciones causadas en los procesos de manufactura, las cuales se convierten en

nichos que pueden ser colonizados por microorganismos formadores de biopelícula. Estos nichos actúan como barreras protectoras teniendo en cuenta que protegen a los microorganismos de las fuerzas cortantes.

2. Metales:

Hierro: Varios estudios han demostrado que las tuberías de hierro favorecen el crecimiento de biopelículas, debido a que este material es susceptible ante efectos de corrosión y formación de huecos, lo cual crea un ambiente favorable para el crecimiento de los microorganismos.

Haciendo una comparación entre las tuberías de hierro con las de PVC, se ha encontrado que en las tuberías de hierro el número de bacterias, así como la velocidad de formación de biopelículas es mucho mayor que en el segundo caso.

Las superficies de hierro son particularmente reactivas y contribuyen al deterioro de la calidad del agua a través de diferentes procesos. Se ha demostrado que el hierro interfiere con la acción del cloro, contribuyendo a un ambiente más propenso para la generación de biopelículas.

La acumulación de productos de la corrosión del metal da como resultado la formación de tubérculos que pueden absorber materia orgánica. Por esta razón, este tipo de materiales son aptos para la supervivencia de las bacterias. Para controlar la corrosión en los sistema de distribución, se puede incrementar el pH del agua circulante, o se pueden agregar inhibidores cuyo uso esté permitido.

Hierro fundido y acero inoxidable: Las biopelículas que se forman en este material albergan una gran cantidad de microorganismos. (19). Estudios han demostrado que el acero inoxidable es el material metálico en el que las biopelículas que se desarrollan contienen menos microorganismos. (19).

Cobre: Estudios realizados han encontrado que la formación de la biopelícula en este tipo de material es lenta, y posee una menor cantidad de microorganismos que otras. También se ha observado que el desprendimiento de algunos compuestos como el cobre en las tuberías del mismo material, retardan el desarrollo de la biopelícula, probablemente porque son tóxicas e inhiben los microorganismos. Es probable que los iones de cobre inhiban la presencia de algunos nutrientes que son necesarios para el crecimiento de bacterias como la *L. Pneumophila* (30).

3. Cementos:

Se ha relacionado el deterioro del concreto con la presencia de microorganismos (15). Diferentes estudio han comprobado que materiales como el concreto tienen menor capacidad de albergar biopelículas que los materiales metálicos (15).

4.1.4.2 Rugosidad

La rugosidad de la superficie es importante, teniendo en cuenta que si aumenta el área superficial de la misma, ya sea por corrosión o por cualquier otro efecto causado sobre su superficie, aumenta de igual forma la posibilidad de albergar bacterias que favorezcan el crecimiento de biopelículas.

Aunque las superficies más lisas pueden retardar la adhesión de las bacterias pioneras, no significa que la cantidad total de la biomasa vaya a disminuir (26). En general, las superficies lisas se cubren de microorganismos a una tasa inicial menor que las superficies rugosas, pero la formación de las biopelículas después de un período es inevitable.

⁶Estudios realizados en Suiza (25) compararon el desarrollo de biopelículas en materiales como el acero inoxidable pulido eléctricamente, con acabado mate y en PVC.

⁶ Andrea Vargas. 2005. Universidad de los Andes.

Al medir la cantidad de microorganismos en cada superficie, no encontraron mayor diferencia entre la cantidad de células presentes en la tubería de PVC y el acero inoxidable electropolichado. Sin embargo, al comparar el acero electropolichado y el acero mate, se encontró mayor número de microorganismos en el acero mate que en el polichado eléctricamente. Esto pudo ser causado por la mayor rugosidad del acero mate, la cual ofrece una mayor área de superficie, proporcionando mayor espacio para que los microorganismos pudieran establecerse. Al acomodarse, los microorganismos pueden formar nichos, protegiéndolos de las fuerzas cortantes. (11,24).

Para dar una mayor idea de cómo influye la rugosidad en la generación de biopelículas, a continuación se muestra un esquema mediante el cual se compara el tamaño de la rugosidad de diferentes tuberías de acero con el tamaño de los microorganismos (en este caso *Pseudomonas Aeruginosa*).

Cuando la superficie es muy rugosa, los “baches” son lo suficientemente grandes para contener un gran número de bacterias. Esto puede influir considerablemente en el efecto que tienen los desinfectantes y las fuerzas cortantes en la biopelícula, ya que estos lugares contribuyen a que las biopelículas se agrupen y se fortalezcan. (Ver Figura 5).

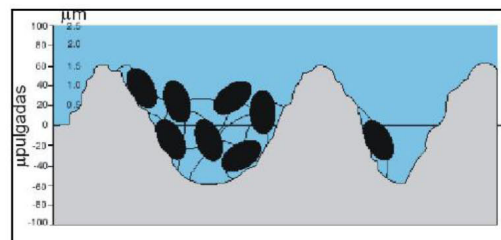


Figura 5. Superficie muy rugosa.⁷

⁷ Fuente. www.edstrom.com

En la Figura 6, el tamaño de la rugosidad es considerablemente menor que en el caso anterior. Los “baches” aún pueden albergar microorganismos, pero posiblemente su efecto protector sea menor.

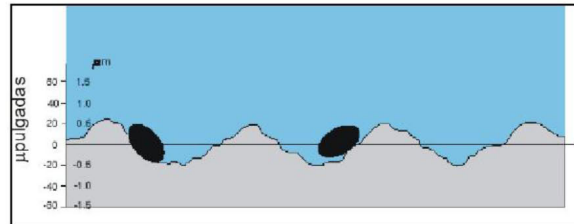


Figura 6. Superficie medianamente rugosa.⁸

En la Figura 7, los “baches” son prácticamente nulos, como sucede en el caso de la tubería de acero pulido, la cual tiene la misma rugosidad del PVC. La poca rugosidad no implica que las bacterias no se adhieran a la superficie de la tubería, pero sí contribuye a que exista una menor probabilidad de colonización.

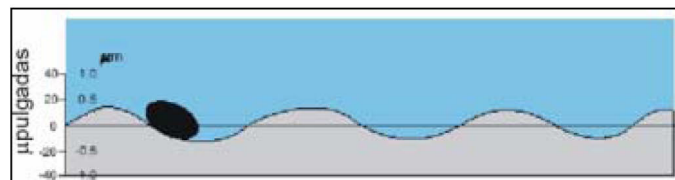


Figura 7. Superficie poco rugosa.⁹

4.1.4.3 Edad de las tuberías

La edad de las tuberías no ha demostrado ser una variable significativa en el proceso de establecimiento de las biopelículas en los sistemas de distribución (27).

⁸ Fuente. www.edstrom.com

⁹ Fuente. www.edstrom.com

4.1.4.4 Nutrientes

Las bacterias necesitan alimento para su crecimiento y desarrollo. El problema es que tan solo con una mínima cantidad de estos basta alimentar muchas bacterias. Aunque el agua que sale de la planta de tratamiento está sometida a altos procesos de purificación, el agua tiene ciertos nutrientes que pueden favorecer el crecimiento de biopelículas. Los microorganismos oligótrofos (aquellos que tiene la capacidad de adaptarse y desarrollarse en ambientes con baja concentración de nutrientes) son los primeros en colonizar una superficie y les siguen aquellos que han evolucionado de tal forma que pueden unirse a las superficies con tal de incrementar sus posibilidades de captar nutrientes.

Las bacterias necesitan de otros nutrientes como fósforo y nitrógeno, aunque en menor cantidad que el carbono para poder desarrollarse. Cuando los nutrientes son muy escasos, las bacterias tienen la capacidad de reducir su tamaño y de disminuir su actividad metabólica, convirtiéndose en ultramicrobacterias. Estas pueden permanecer en ese estado por largos períodos de tiempo flotando libremente, y al momento de encontrar las condiciones apropiadas para su desarrollo, recuperan su tamaño normal y se adhieren nuevamente a las superficies. Este cambio de tamaño dificulta el proceso de eliminación y control de las bacterias que se encuentran en el agua. (9).

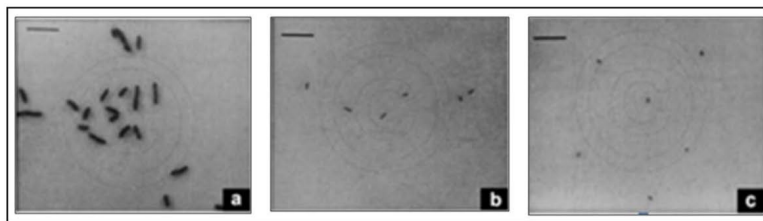


Figura 8. Mecanismo de defensa de las bacterias.¹⁰

¹⁰ Fuente. www.erc.montana.edu

En la siguiente tabla se relacionan algunas de las fuentes de nutrientes en sistemas de agua potable.¹¹

Tabla 1. Nutrientes para el crecimiento bacterial encontrados en sistemas de distribución de agua potable¹².

NUTRIENTE	FUENTES
Carbón orgánico	Ácidos húmico y fúlvico propios del agua
	Plastificantes y solventes
	Plásticos reforzados con fibra de vidrio (FRP)
	Lubricantes de bombas y equipos
	Subproductos microbianos
	Polvo
Nitrógeno	Ácidos húmico y fúlvico propios del agua
	Nitratos y nitritos del agua
	Subproductos microbianos
	Polvo
Fósforo	Fosfatos del agua
	Subproductos microbianos
	Polvo
Azufre	Sulfatos del agua
	Acido sulfúrico (proveniente del pre tratamiento)
	Surfactantes
	Polvo
Metales, trazas y sales	Elementos metálicos y sales del agua
	Plásticos reforzados con fibra de vidrio (FRP)
	Componentes de acero inoxidable en el sistema
	Químico adicionados durante el tratamiento
	Polvo

¹¹ Mittelman, 1985, citado por Echavarría 2003.

¹² Mittelman, 1985, citado por Echavarría 2003.

4.1.4.5 Temperatura

La temperatura del agua aumenta la tasa de crecimiento de las bacterias, disminuye el efecto de los desinfectantes, y aumenta la ocurrencia de la corrosión. Las bacterias generalmente crecen en un rango de temperatura entre 15 y 50°C. La temperatura es posiblemente el factor más influyente en el crecimiento de biopelículas en tuberías de agua a presión, teniendo en cuenta que afectan las condiciones físicas y químicas del sistema. (29).

Generalmente, los patógenos fecales pueden sobrevivir por más tiempo en aguas frías, teniendo en cuenta que los procesos metabólicos se hacen más lentos. En aguas con temperaturas más elevadas, bacterias como la E-Coli y S. Typhimurium se hacen presentes, y cuando esta decrece, el Cryptosporidium y el Gardia pueden crecer.

Aunque la relación entre la temperatura y el crecimiento bacteriano es diferente para cada sistema, se mantiene que a mayor temperatura, mayor desarrollo y crecimiento de microorganismos (15, 20, 29).

4.1.4.6 Condiciones hidráulicas

Las altas velocidades de flujo, los tiempos de residencia, la longitud de las tuberías, los diámetros, las presiones de la red, los puntos muertos y las condiciones de flujo pueden afectar el desarrollo de las biopelículas en los sistemas de distribución de agua potable.

Independientemente de la velocidad de flujo y el tipo de flujo que se presente (ya sea hidráulicamente liso o rugoso), la teoría de la capa límite establece que el agua fluye lentamente en las cercanías de las paredes de la tubería, hasta llegar a cero en la pared. La distancia desde la pared de la tubería en que la velocidad no obedece al orden de magnitud del caudal circulante y a la geometría de la tubería se denomina subcapa laminar.

Se puede considerar que el espesor máximo que puede alcanzar la biopelícula corresponde al espesor de la capa mencionada anteriormente. En un sistema de flujo constante, “se alcanza un espesor de equilibrio o *espesor suficiente*, que depende de la velocidad del agua y los nutrientes. El crecimiento de biopelícula más allá de la subcapa laminar dará como resultado el desprendimiento de células planctónicas que, en condiciones aptas, establecerán colonias de biopelícula en otra sección de la tubería”. (Patterson, 1991).

Aunque las altas velocidades pueden disminuir el crecimiento de las biopelículas teniendo en cuenta que incrementan el contacto de los desinfectantes con las mismas, no pueden evitar su adhesión a la superficie de las tuberías, ni desprender la totalidad de las mismas. (11, 34, 37, 39).

4.1.4.7 Tipo y concentración del desinfectante

Usualmente se ha recomendado mantener cloro residual en las redes de distribución de agua potable con el fin de minimizar la presencia de bacterias. En investigaciones anteriores, se ha observado que luego de la cloración se presenta una reducción en el número de bacterias, pero que a medida que el cloro residual decae, se presenta un regeneramiento bacteriano.

Varios autores han coincidido en que es más efectivo tener desinfectantes en bajas concentraciones pero que actúen de manera prolongada, que tener altas concentraciones que actúen durante poco tiempo. Los microorganismos que hacen parte de las biopelículas, con el tiempo son cada vez más fuertes ante la acción de los desinfectantes. Esto se debe a que su estructura protege a los microorganismos existentes. Se ha encontrado que las bacterias que viven dentro de la biopelícula son más resistentes a los desinfectantes que aquellas que se encuentran flotando libremente en el agua (bacterias planctónicas).

4.1.4.8 Tratamientos de control

Existen varios tratamientos de control que pueden llevarse a cabo para reducir el crecimiento de biopelículas en redes de agua potable. Algunas de estas prácticas son: retirar por algún método de lavado las biopelículas adheridas a las superficies internas de las tuberías, minimizar la entrada de microorganismos al sistema, agregar dosis adecuadas de desinfectantes, entre otros.

Respecto al último método mencionado, es de vital importancia garantizar la calidad del agua que se suministra, y por esta razón se debe garantizar el desinfectante a lo largo de la red. El objetivo de agregar desinfectantes al agua es remover todo tipo de microorganismos que puedan estar presentes, pero se ha encontrado que esto también puede facilitar la formación de compuestos biodegradables que pueden ser utilizados por los microorganismos presentes en las redes de distribución como un fuente de energía y promover la formación de biopelículas. (15). Como se mencionó anteriormente, en el caso del cloro, se ha demostrado que después del proceso de cloración se da una reducción significativa del número de bacterias, pero a medida que el cloro residual decae se va presentando un nuevo crecimiento bacteriano. Es claro entonces que mantener un nivel adecuado de desinfectante residual en la red no es sinónimo de seguridad y existe la posibilidad de que se presente proliferación de organismos dentro de la misma.

Como acciones complementarias, se deben tomar algunas medidas para controlar el crecimiento de las biopelículas, como son: evitar puntos muertos en la red, minimizar los tiempos de retención, prevenir el lo posible la contaminación del agua por posibles conexiones, evitar el sobredimensionamiento de tanques de almacenamiento (teniendo en cuenta que aumentan los tiempos de residencia y pueden presentarse problemas de calidad de agua), evitar retornos de flujo, evitar la acumulación de sedimentos, entre otros.

4.2 Aspectos hidráulicos

4.2.1 Número de Reynolds

“La naturaleza del flujo, es decir, si es laminar o turbulento, y su posición relativa en una escala que muestra la importancia relativa de las tendencias turbulentas a laminares están indicadas por el número de Reynolds”.¹³

El número de Reynolds es un número adimensional que depende de la velocidad, el diámetro de la tubería y la viscosidad cinemática del fluido. Si el número de Reynolds, para tuberías circulares, es menor de 2000, las fuerzas viscosas predominan y el flujo es laminar. Cuando el flujo se encuentra entre 2200 y 4500 aproximadamente, el régimen tiene un comportamiento transicional, y para valores superiores, las fuerzas viscosas no tienen mayor influencia, luego el flujo es turbulento.

El número de Reynolds está definido como:

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

donde:

Re: Número de Reynolds

ν : Velocidad

d : Diámetro de la tubería

ν : Viscosidad cinemática

¹³ Streeter, Wylie y Bedford. Mecánica de Fluidos, 1999.

Reynolds clasificó el comportamiento del flujo de la siguiente forma: ¹⁴

Flujo Laminar: El flujo se mueve en capas sin que exista intercambio de fluido entre ellas (el fluido se mueve en capas dispuestas unas sobre otras).

Flujo Turbulento: Se presenta intercambio molecular entre las capas que se mueven a diferente velocidad. Las partículas no tienen un vector velocidad bien definido. En este tipo de flujo se debe hablar de velocidad promedio, teniendo en cuenta que no es permanente.

Flujo en transición: El caudal para el cual este fenómeno empieza a ocurrir depende a las condiciones del experimento; si la turbulencia en el tanque de entrada es baja, la transición demora en presentarse. Si por el contrario el grado de aquietamiento inicial es pobre, la transición puede presentarse rápidamente.

4.2.2 Interacción fluido con la pared de la tubería

Prandtl establece que siempre que un fluido que se encuentra en movimiento entra en contacto con una pared sólida, el esfuerzo cortante que se genera afecta una zona de dicho flujo, la cual se conoce como *capa límite*. Ésta puede ser laminar o turbulenta. En la Figura 9, se muestra cómo la presencia de la pared sólida afecta la distribución de las velocidades de flujo; la velocidad en la superficie sólida es cero, y aumenta a medida que se aleja de ésta.

¹⁴ Tomado de Saldarriaga J. Hidráulica de Tuberías. 2007

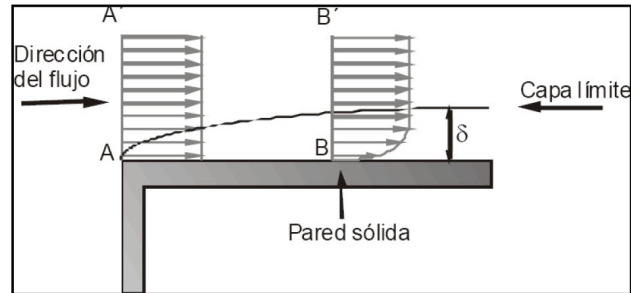


Figura 9. Capa límite.¹⁵

En el caso de flujo turbulento, se genera una zona de flujo laminar dentro de la capa límite, la cual se denomina *subcapa laminar viscosa*. Se denomina viscosa porque en ella priman las fuerzas viscosas sobre las fuerzas inerciales (ver Figura 10). El espesor de la subcapa laminar es mucho menor que el de la capa límite ($\delta' \ll \delta$).

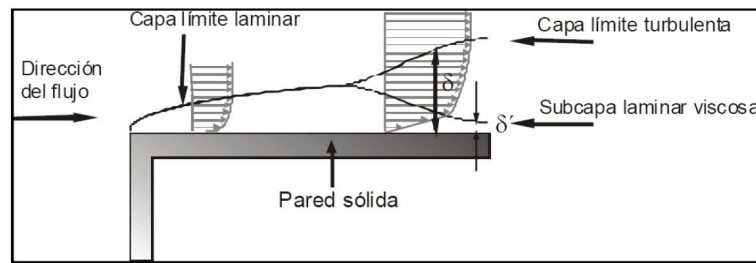


Figura 10. Desarrollo de una capa límite turbulenta.¹⁶

La relación entre la subcapa laminar viscosa y el tamaño medio de la rugosidad de las paredes establece la diferencia entre los flujos hidráulicamente lisos y los hidráulicamente rugosos (ver Figura 11). Cuando el espesor de la subcapa laminar viscosa es mayor que el tamaño medio de la rugosidad, el flujo es hidráulicamente liso. En el caso contrario, el flujo es hidráulicamente rugoso.

¹⁵ Tomado de Saldarriaga, J. Hidráulica de Tuberías.

¹⁶ Tomado de Saldarriaga, J. Hidráulica de Tuberías.

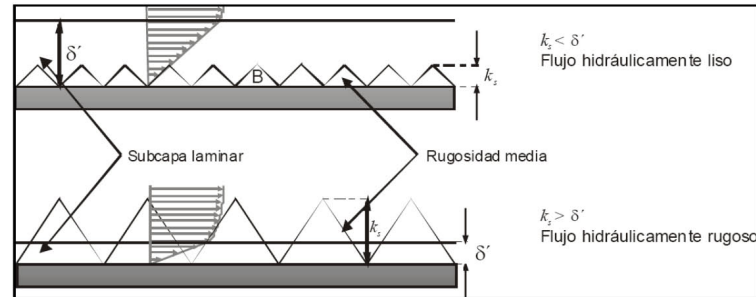


Figura 11. Flujo hidráulicamente liso e hidráulicamente rugoso.¹⁷

Flujo hidráulicamente liso: La rugosidad absoluta queda cubierta por la subcapa laminar viscosa, y por lo tanto no influye en el valor de f . Ningún punto queda afectado por las turbulencias que producen las rugosidades, comportándose la tubería como un material liso. Para que el flujo sea hidráulicamente liso, el tamaño de la rugosidad tiene que ser inferior a 30% del espesor de la subcapa laminar viscosa.

$$k_s \leq 0.305\delta'$$

El espesor de la subcapa laminar viscosa está dado como:

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

donde:

δ' : Espesor de la subcapa laminar viscosa

ν : Viscosidad cinemática

v^* : Velocidad de corte

¹⁷ Tomado de Saldarriaga, J. Hidráulica de Tuberías.

Flujo hidráulicamente rugoso: Si el espesor de la subcapa laminar viscosa es menor que la rugosidad absoluta, las irregularidades internas producen turbulencia. Cuanto mayor sea el número de Reynolds, más delgada será la subcapa laminar y más puntos sobresaldrán. Para que el flujo sea hidráulicamente rugoso, el tamaño de la rugosidad debe ser superior a 6 veces el espesor de la subcapa laminar viscosa.

$$k_s \geq 6.10\delta'$$

Flujo en transición: El espesor de la subcapa laminar viscosa se aproxima al valor medio de la rugosidad absoluta, de manera que la rugosidad emerge de la subcapa laminar viscosa en unos puntos y en otros no. Los límites entre los cuales ocurre el flujo en transición son:

$$0.305\delta' \leq k_s \leq 6.10\delta'$$

4.2.3 Pérdidas de altura piezométrica debido a la fricción

En cualquier tipo de tubería existe una pérdida de carga debido a la condición de frontera que obliga a que cualquier fluido se adhiera a la superficie por la cual fluye. Esta pérdida de carga se presenta sin importar cuán lisa es la superficie.

En 1845, J. Weisbach, de nacionalidad sajona, propuso la ecuación mediante la cual es posible predecir las pérdidas producidas como consecuencia de la fricción entre las paredes de las tuberías y el agua que pasa a través de ellas. Esta ecuación es válida para encontrar las pérdidas de energía debido a la fricción de cualquier flujo estable incompresible totalmente desarrollado en tuberías, sin importar la inclinación de éstas.

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

donde:

h_f : Pérdidas por fricción

f : Factor de fricción

l : Longitud del tramo de la tubería

d : Diámetro de la tubería

v : Velocidad

Diagrama de Moody

Con el fin de estudiar la naturaleza del factor de fricción f , el ingeniero alemán J. Nikuradse mediante una serie de experimentos, obtuvo varias relaciones k_s / d , relación conocida como *rugosidad relativa*. Moody, basado en los resultados de J. Nikuradse y de C.F. Colebrook, realizó la investigación de las pérdidas por fricción en tuberías con rugosidades reales.

El diagrama de Moody (ver Figura 12) es la representación gráfica en escala doblemente logarítmica del factor de fricción en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería para flujo laminar (Re menor a 200) hasta hidráulicamente rugoso.

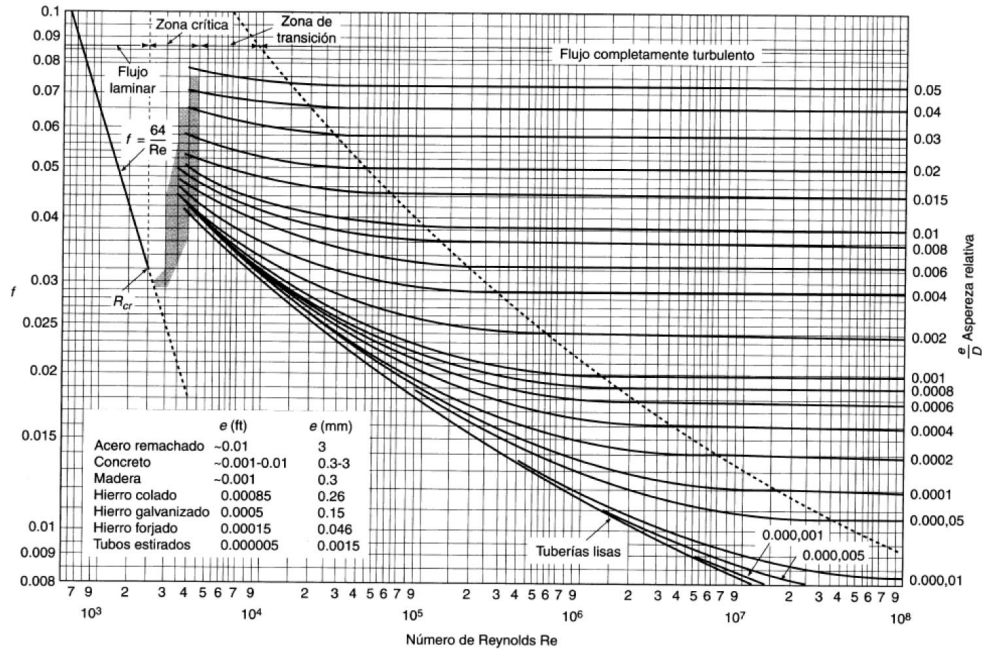


Diagrama de Moody. (De L.F. Moody, *Trans. ASME*, vol. 66, 1944.)

Figura 12. Diagrama de Moody.¹⁸

Cuando el flujo es laminar, el factor de fricción no depende de la rugosidad relativa, únicamente está relacionado con el número de Reynolds. El factor de fricción para el flujo laminar se calcula como:

$$f = \frac{64}{Re}$$

En la zona transicional, cuando el número de Reynolds es cercano a 2200, las curvas correspondientes a la rugosidad relativa se aproximan en forma asintótica a la curva lisa.

¹⁸ Tomado de <http://www.uclm.es/area/amf/gonzalo/IngFluidosFiles/Im-Graphs/Graphs/MoodyPeq.pdf>

Cuando el flujo es turbulento, el factor de fricción depende tanto del número de Reynolds como de la rugosidad relativa de la tubería. El flujo turbulento se representa mediante una familia de curvas, una para cada valor del parámetro, donde k_s es el valor de la rugosidad absoluta.

Clasificación de las rugosidades en tuberías

Las ecuaciones definidas por Prandtl y von Kármán para flujo hidráulicamente liso y rugoso se presentan a continuación:

Flujos hidráulicamente lisos:
$$\sqrt{\frac{1}{f}} = 2 \log_{10} \text{Re} \sqrt{f} - 0.8$$

Flujos hidráulicamente rugosos:
$$\sqrt{\frac{1}{f}} = 2 \log_{10} \left(\frac{d}{k_s} \right) + 1.14$$

Para Colebrook y White el comportamiento de las tuberías reales debería estar descrito por una única ecuación. La ecuación resultante es:

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

Estas ecuaciones se emplearán para determinar la variación de la rugosidad absoluta en función de las pérdidas de energía causadas por el crecimiento de la biopelícula sobre las paredes internas de la tubería.

4.2.4 Pérdidas menores

Además de las pérdidas por fricción mencionadas anteriormente, se presentan pérdidas menores, producidas por accesorios del sistema de distribución, como son: codos,

reducciones de diámetro, expansiones, uniones, válvulas, entradas, salidas, conexiones, entre otros. Estas pérdidas se catalogan como “menores”, debido a que las pérdidas generadas son mucho menores que las pérdidas que se generan por fricción en tramos de tubería con una longitud considerable. Generalmente, el coeficiente de pérdidas menores se determina experimentalmente; son función de un coeficiente característico de cada elemento, y de la velocidad de la sección transversal de la tubería.

Para calcular las pérdidas menores se tiene que:

$$\sum h_m = \left(\sum k_m \right) \frac{v^2}{2g}$$

donde:

h_m : Pérdidas menores

k_m : Coeficiente de pérdidas menores, el cual depende de los accesorios.

v : Velocidad

5 MODELO FÍSICO

Para cumplir con los objetivos propuestos, se desarrolló un montaje físico en el cual se realizaron las pruebas microbiológicas e hidráulicas necesarias para determinar la influencia que tienen los materiales seleccionados en el crecimiento de la biopelícula, y establecer si su desarrollo genera cambios hidráulicos en las mismas. A continuación se hará una descripción detallada del modelo.

5.1 Antecedentes

El modelo físico utilizado en la presente tesis está basado en el modelo usado anteriormente por Andrea Vargas en su tesis “Influencia de los materiales de las tuberías en el crecimiento de biopelículas en las redes de distribución de agua a presión”, el cual estaba constituido por dos tanques, conectados por 2 tuberías de 6 pulgadas, una de ellas de PVC y otra de polietileno. En la tesis mencionada, para evitar la colonización de algas en los tanques, se construyeron tapas de plástico negro que los cubrían en su totalidad, evitando el paso de luz al sistema, mejorando notablemente la calidad del agua almacenada en el mismo. Las pruebas tuvieron una duración de 92 días.

En la tesis de Andrea Vargas se concluyó que la colonización de microorganismos fue mayor en el polietileno que en el PVC, y que a su vez, la formación de biopelícula fue mayor en el centro que en la salida de las tuberías. También se concluyó que en las dos tuberías seleccionadas, el crecimiento de la biopelícula afectó notoriamente el factor de fricción desde el comienzo del estudio.

5.2 Descripción del modelo

Para desarrollar la presente tesis se utilizó el montaje existente en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de los Andes teniendo en cuenta que éste ya contaba con el

tanque de almacenamiento y el tanque elevado, necesarios para llevar a la cabo la recirculación diaria del agua.

A continuación se muestra el esquema general del modelo, así como su vista en planta:

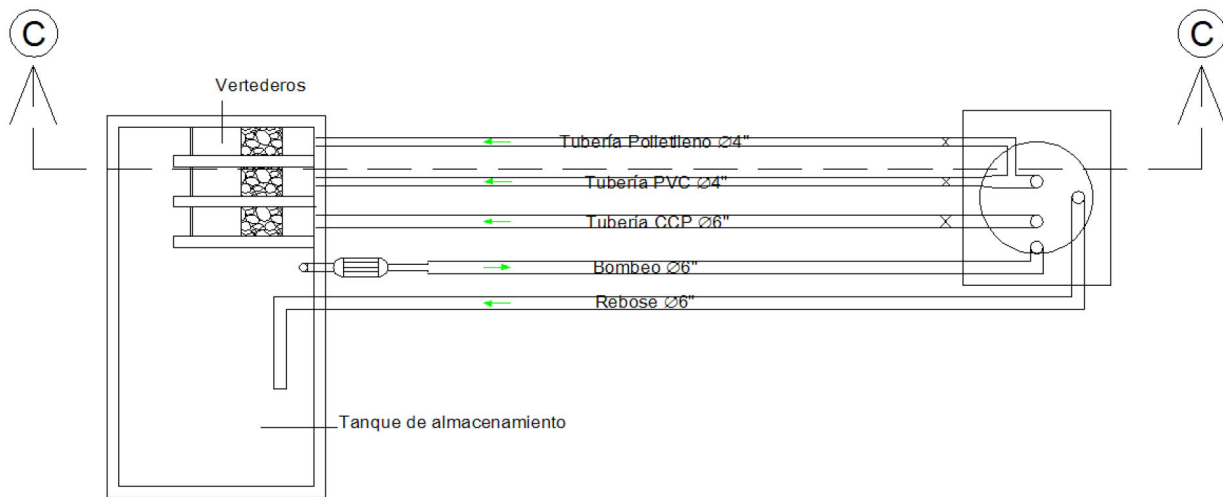


Figura 13. Vista en planta del modelo actual

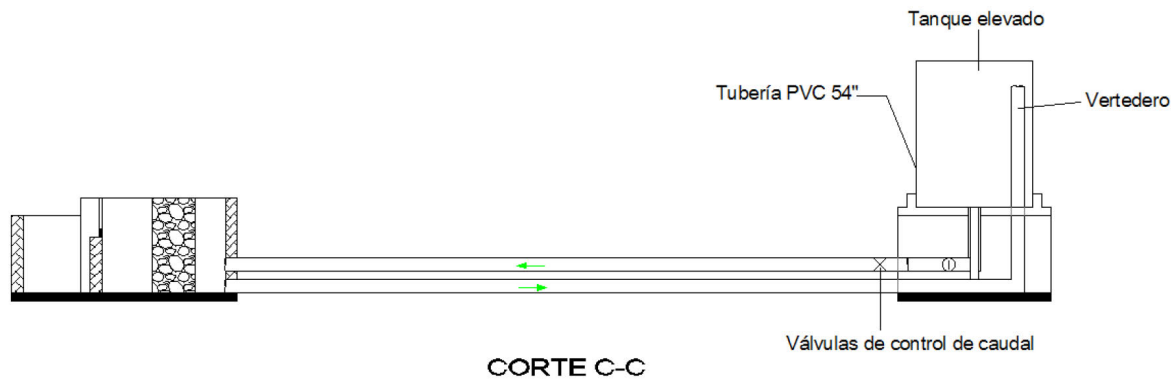


Figura 14. Vista lateral del modelo

Se trata de un modelo de recirculación, el cual se encuentra constituido por dos tanques (un tanque de almacenamiento y un tanque elevado), los cuales están conectados entre sí por tres tuberías en paralelo. Los sistemas de tuberías usados son:

- Un tubo de Polietileno, de seis metros de longitud y 4 pulgadas de diámetro nominal.
- Un tubo de PVC de seis metros de longitud y 4 pulgadas de diámetro nominal.
- Un tubo de CCP, de siete metros de longitud y 6 pulgadas de diámetro nominal.

La diferencia de longitudes de las tuberías se debe a los diferentes accesorios y acoples que debieron emplearse para poder realizar la instalación de las mismas (reducciones, uniones, bridas, entre otros).

En la Figura 15 se muestra el montaje existente en el laboratorio.



Figura 15. Montaje

Las tuberías salen del tanque número 2 (tanque elevado) y llegan al tanque de almacenamiento. El tanque elevado es el encargado de suministrar una altura piezométrica suficiente para poder alcanzar las velocidades requeridas para realizar las pruebas. El tanque de llegada o tanque de almacenamiento, construido en concreto, recibe la descarga de agua proveniente de las tuberías para luego ser recirculada hacia el tanque elevado por medio de una motobomba. En el tanque de llegada, las tuberías se conectan a tres vertederos triangulares con los cuales se puede medir el caudal que está fluyendo a través de las mismas (ver Figura 16).



Figura 16. Vertederos Triangulares

Cada tubería, al comienzo, tiene una válvula de control de caudales. Estas válvulas permiten el paso del mismo caudal por las tres tuberías, lo cual es de gran importancia teniendo en cuenta que se busca mantener las mismas condiciones en cada una de ellas. Aguas abajo de la válvula, se encuentra un tramo de tubería de aproximadamente 3 metros (sin ningún accesorio, a excepción de la tubería de PVC, que tiene una unión soldada, la cual está instrumentada con piezómetros antes y después con el fin de

determinar la variación de las pérdidas menores) en el cual se estudiará la variación del coeficiente de fricción f debido al crecimiento de la biopelícula.



Figura 17. Válvulas reguladoras de caudal

Con el fin de inducir el crecimiento de las biopelículas, se *alimentó* el sistema con DAP (fosfato diamónico) cuya fórmula química es $(NH_4)_2PO_4$, y panela, cuya fórmula química es $C_{12}H_{22}O_{11}$. Estos compuestos contienen carbono, nitrógeno y fósforo, nutrientes esenciales para el crecimiento de la misma. Más adelante se explica claramente las cantidades requeridas para obtener un óptimo crecimiento de la biopelícula.

Teniendo en cuenta que en la presente tesis se pretende realizar un estudio aproximado del crecimiento de biopelícula en los sistemas de conducción de agua potable, el agua del montaje se recirculó diariamente durante 8 horas aproximadamente.

5.2.1 Instrumentación del modelo

En las tres tuberías se acondicionaron testigos extraíbles y piezómetros con el fin de cumplir los objetivos propuestos. Teniendo en cuenta que durante el desarrollo de la tesis se analizarán aspectos hidráulicos y microbiológicos, a continuación se describen los procesos y consideraciones que se tuvieron en cada uno de ellos.

5.2.1.1 Aspectos hidráulicos

El sistema está provisto de piezómetros ubicados en los primeros 3 metros de cada tubería (Figura 18), mediante los cuales es posible determinar las pérdidas menores y por fricción que genera el crecimiento de la biopelícula. Para realizar el análisis de los aspectos hidráulicos, se instalaron 3 piezómetros en la tubería de polietileno; el No. 1, el No. 2 y el No. 3. En la tubería de PVC se instalaron 4 piezómetros: el No. 4 y el No. 5 sirven para analizar el comportamiento de las pérdidas menores en la unión de 0.57 m, y el No. 5, el No. 6 y el No.7 sirven para analizar las pérdidas por fricción. En la tubería de CCP se instalaron 3 piezómetros, el No. 8, No.9 y No.10, con los cuales se determinó el cambio de las pérdidas por fricción en el tramo de tubería.

Cabe aclarar que en las tuberías de polietileno y CCP no se estudió el comportamiento de las pérdidas menores, teniendo en cuenta que no hay uniones en las mismas. La distribución de los piezómetros se muestra a continuación (Figura 18):

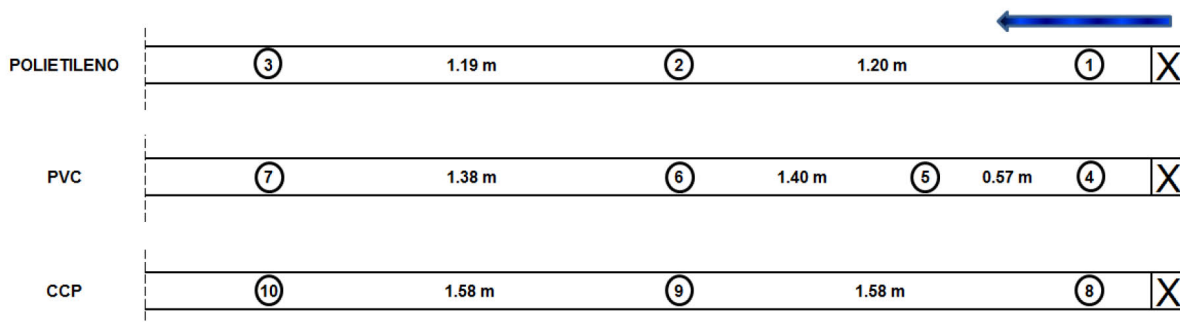


Figura 18. Distribución de los piezómetros en las tres tuberías.

Con el fin de determinar el efecto que tienen las biopelículas en las pérdidas menores y las pérdidas por fricción, se tomaron lecturas de piezómetros aproximadamente una vez por semana.

Para calcular las pérdidas por fricción y pérdidas menores se realizaron 10 pruebas para cada toma de datos, variando el caudal de tal forma que se pudieran obtener diferentes valores del número de Reynolds entre 20000 y 80000. Se utilizó este rango de número de Reynolds, teniendo en cuenta que cuando los valores entran dentro del mismo se está asegurando flujo turbulento, y permite ubicar los valores encontrados de f dentro del diagrama de Moody. De esta manera, se puede conocer la rugosidad relativa de la tubería y se puede determinar si ésta se ve afectada a lo largo del estudio por el crecimiento de la biopelícula.

Con los valores obtenidos de cada prueba es posible calcular tanto las pérdidas menores como las de fricción, así como realizar la comparación del comportamiento de las mismas en el tiempo. En el Numeral 5.3 se explica cual fue la metodología a seguir para la obtención de éstos valores.

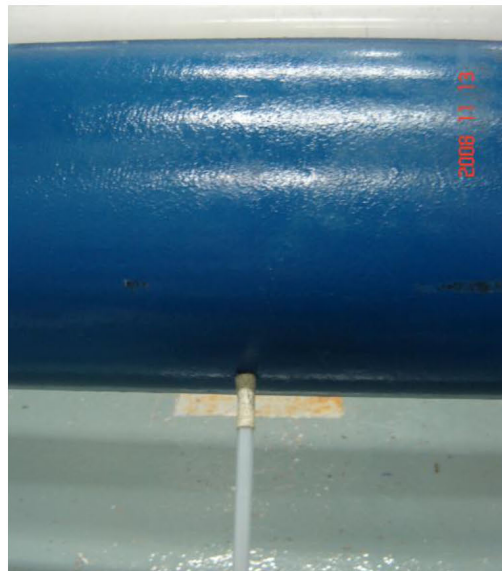


Figura 19. Piezómetros

5.2.1.2 Aspectos microbiológicos

Teniendo en cuenta que el objetivo principal de la presente investigación es determinar la influencia que tienen los materiales de las tuberías en la generación de biopelículas, es necesario realizar una comparación entre los materiales seleccionados sometidos bajo las mismas condiciones hidráulicas. Para ello, en los últimos tres metros de cada tubería se construyeron testigos extraíbles, con los cuales fue posible realizar el análisis de crecimiento progresivo de biopelícula en cada uno de los materiales (ver Figura 20).

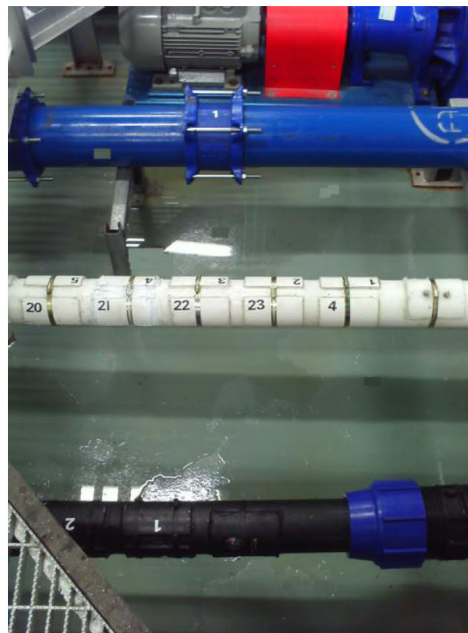


Figura 20. Testigos extraíbles borde y centro

Para poder cuantificar el crecimiento de biopelículas en cada una de las tuberías, se utilizaron dos metodologías. La primera consistió en instalar testigos extraíbles en las salidas de las tuberías al tanque de almacenamiento (testigos de borde), los cuales se encuentran asegurados de tal forma que puedan ser retirados fácilmente. Estos testigos

son secciones extraídas de la misma tubería que coinciden en los orificios anteriormente realizados, y que permanecen sumergidos en el agua (ver Figura 21).

Con el fin de facilitar el manejo de los testigos de borde, y evitar que éstos cayeran dentro de la tubería, se colocó una tapa cuyo diámetro interno es idéntico al diámetro exterior del mismo. Adicionalmente, se colocó una abrazadera en la parte exterior de cada tapa, para evitar que la presión interna desprendiera el testigo.

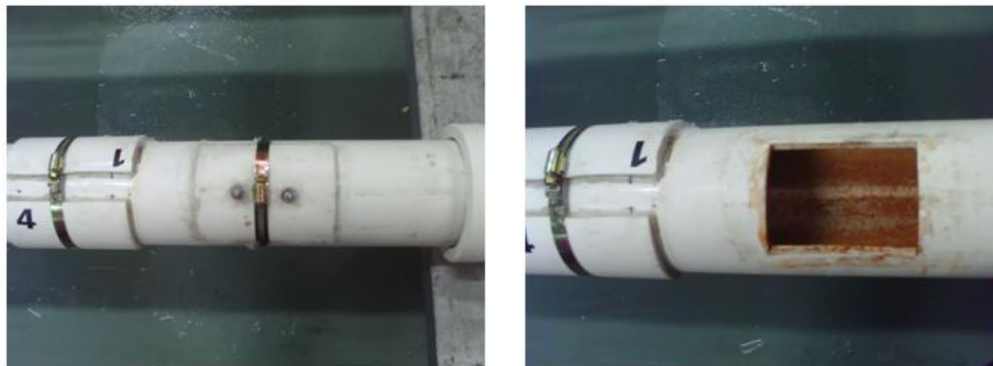


Figura 21. Testigos de borde PVC

Los testigos de borde (Figura 21 y Figura 22), se extrajeron una vez a la semana aproximadamente, se sacaron y se sumergieron en agua para evitar que la biopelícula sufriera alguna alteración. Seguido a esto se drenaron durante un tiempo aproximado de 20 minutos, y se pesaron en la balanza OHAUS. Teniendo el área y el peso del testigo fue posible cuantificar el espesor de la biopelícula acumulado a la fecha de toma de muestra.

Cabe anotar que la instalación del testigo de borde no pudo llevarse a cabo en la tubería de CCP teniendo en cuenta que la extracción de una sección de tubería similar a las otras dos era complicado por el gran espesor de la misma.

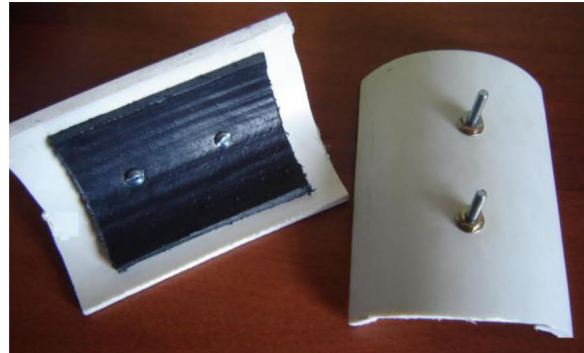


Figura 22. Testigos de borde polietileno y PVC

Teniendo en cuenta que en el método anterior la biopelícula pudo ser alterada debido a la constante manipulación de los testigos, se empleó una metodología simultánea que consistió en abrir agujeros rectangulares en la parte superior de cada una de las tuberías. Los pedazos de material extraídos fueron fijados a unas tapas, las cuales permitieron que los mismos coincidieran en los espacios correspondientes.

Estos testigos fueron instalados en los 3 metros finales de cada tubería con el fin de no alterar la medición de las pérdidas de energía. En las tuberías de polietileno y PVC, se instalaron 24 testigos con dimensiones aproximadas de 10 x 4 cm, los cuales fueron sellados con silicona y amarrados con abrazaderas para evitar fugas (ver Figura 23). En el caso de la tubería de CCP, se instalaron 5 testigos, cuya área corresponde al perímetro del tubo por un ancho de 10 cm. Estos fueron fijados a las secciones de tubería restante mediante uniones dresser, las cuales aseguraban la hermeticidad de la misma (Figura 24).

En tesis anteriores se localizaron los testigos en la parte superior para asegurar que las mediciones correspondieran a biopelícula y no a partículas sedimentadas en la parte inferior de la tubería. En la presente tesis se adoptó esta localización.

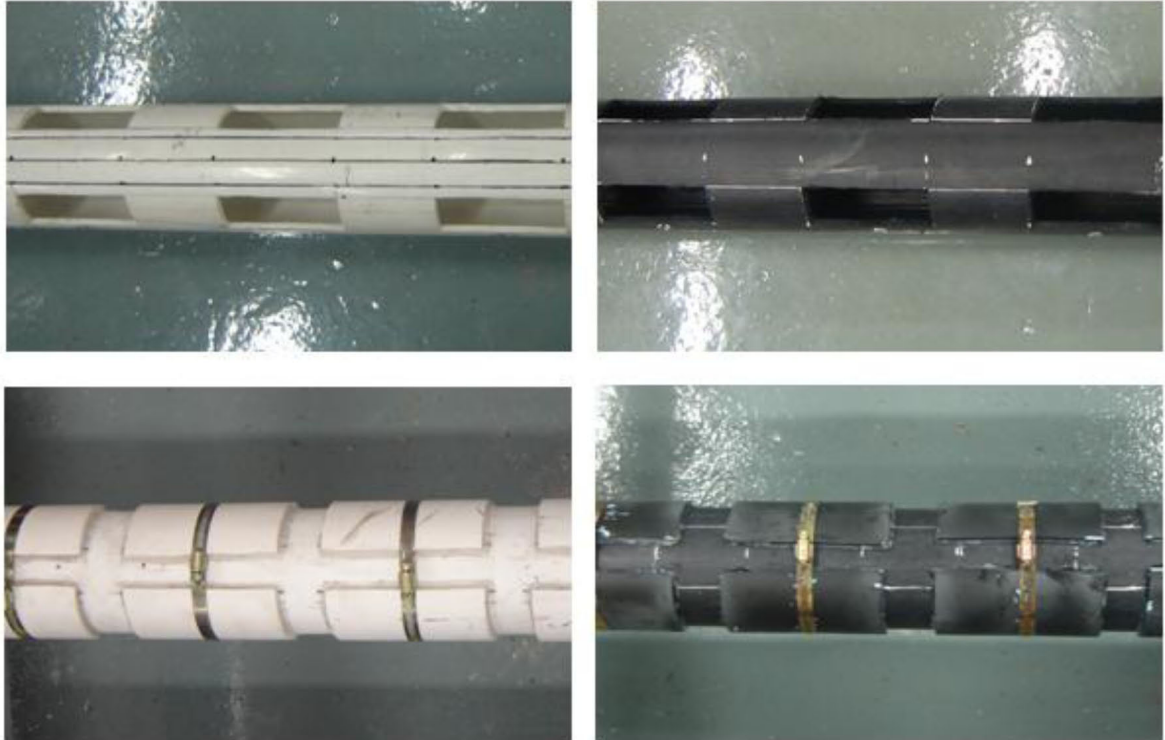


Figura 23. Testigos de centro PVC y polietileno.



Figura 24. Testigos de centro CCP.

Semanalmente se extrajo una pareja de testigos de las tuberías de polietileno y PVC, con los cuales se calculó el espesor de la biopelícula para el día de toma de muestra. En el caso de la tubería de CCP, no fue posible extraer un testigo por semana, puesto que solo se contaba con 5 testigos a lo largo de la tubería. Como se mencionó anteriormente, el material de la tubería y su espesor impedían extraer con la misma facilidad los testigos, razón por la cual se construyeron solo 5. De esta manera se extrajo un testigo de la tubería de CCP para ser pesado una vez al mes.

El motivo por el cual se construyeron varios testigos radica en que solo fueran utilizados una sola vez, de manera que su manipulación no alterara el crecimiento de la biopelícula, y así poder obtener resultados más precisos del comportamiento del crecimiento de la biopelícula en cada una de las tuberías a través del tiempo.

Adicionalmente, para evitar que la extracción de los testigos afectara a los testigos subsiguientes, se sacaron desde aguas abajo (entrada al tanque de almacenamiento) hacia aguas arriba (salida del tanque elevado).

Es necesario aclarar que los resultados que se obtuvieron siguiendo esta metodología reflejan el comportamiento del crecimiento de la biopelícula a través del tiempo, más no el desarrollo de los microorganismos que la conforman. Al final de las pruebas, se realizaron análisis microbiológicos a una de las superficies de los testigos, con el fin de determinar la posible presencia de aerobios mesófilos, hongos y levaduras.

5.2.1.3 Vertederos

Los vertederos constituyen uno de los métodos más utilizados para realizar el aforo de caudales. Para calcular el caudal que pasa a través de las tuberías, se obtuvieron las curvas de calibración de cada uno de los vertederos triangulares. Se prefiere el uso de vertederos triangulares ya que su forma permite medir con mayor precisión los caudales pequeños.

Con la altura de la lámina de agua y con la curva de calibración de cada uno de los vertederos, es posible determinar el caudal que pasa por cada una de las tuberías, y a vez la velocidad del flujo dividiendo el caudal entre el área efectiva de cada una de ellas.

A continuación se presentan las curvas de calibración de los tres vertederos con sus respectivas ecuaciones:

Tubería de Polietileno:

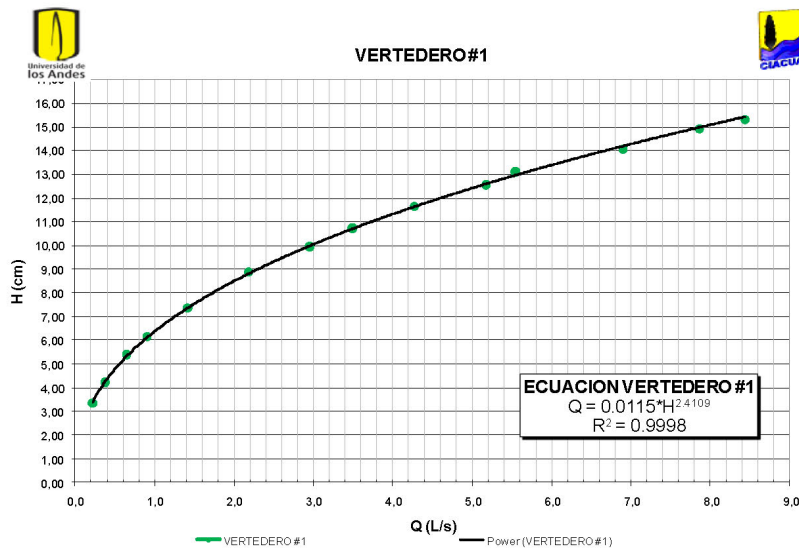


Figura 25. Calibración vertedero No 1 (Polietileno)

Tubería de PVC:

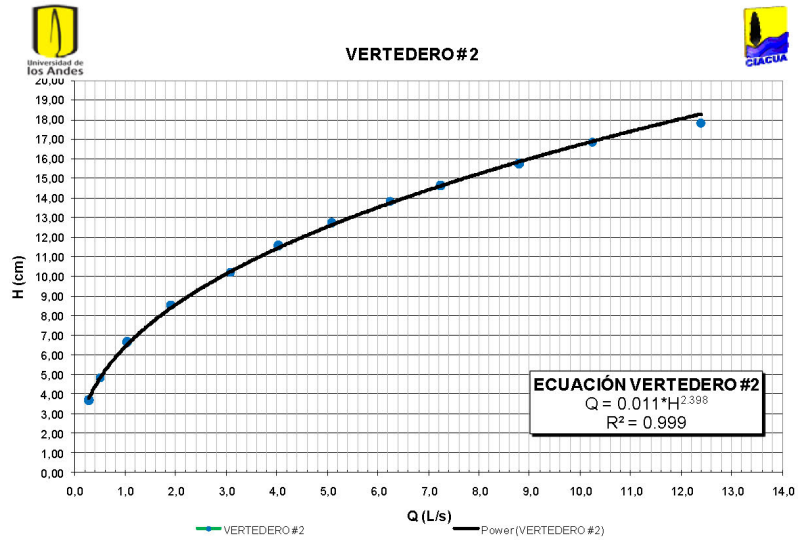


Figura 26. Calibración vertedero No 2 (PVC)

Tubería de CCP:

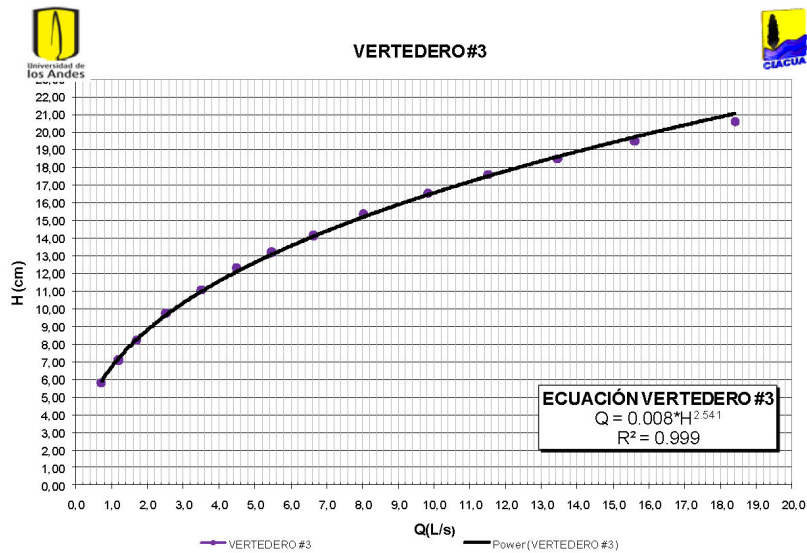


Figura 27. Calibración vertedero No 3 (CCP)

En la Tabla 2 se muestra el resumen de las ecuaciones de los tres vertederos:

Tabla 2. Resumen de ecuaciones vertederos triangulares

Ecuación	Vertedero	Tubería
$Q = 0.0115 \times H^{2.4109}$	1	Polietileno
$Q = 0.0110 \times H^{2.3980}$	2	PVC
$Q = 0.0080 \times H^{2.5410}$	3	CCP

5.3 Metodología de las pruebas

5.3.1 Suministro de nutrientes

Con el fin de potencializar el crecimiento de la biopelícula en las tuberías, fue necesario suministrar la cantidad apropiada de nutrientes.

A lo largo de la investigación, se ha mencionado la importancia de los nutrientes en el desarrollo de las biopelículas. Estos nutrientes están presentes en el agua, aún cuando cuentan con los niveles más altos de purificación. Teniendo en cuenta que se desean hacer las pruebas con agua apta para consumo, y que se dispone relativamente de poco tiempo para realizarlas, se agregaron algunos nutrientes al agua que agilizaron el crecimiento de las biopelículas. Estas concentraciones fueron las siguientes:

- Del 13 de Febrero hasta el 12 de Marzo, se agregaron aproximadamente 25 g de sacarosa y 21 gramos de fosfato diamónico cada cuatro días, con el fin de cumplir los requerimientos mínimos de nutrientes.
- Del 18 de Marzo al 17 de Julio se agregaron nutrientes aproximadamente cada 5 días, con el fin de mantener la calidad de agua exigida por el RAS. Se agregaron 10 g de sacarosa y 10 g de DAP en el tanque de aguas arriba durante el tiempo de recirculación.

Mediante el empleo de estos nutrientes, fue posible simular las condiciones de crecimiento de biopelícula que en un sistema real de distribución se produciría en años.

5.3.2 Recirculación diaria

Para lograr el crecimiento adecuado de la biopelícula, el agua se recirculó diariamente durante 8 horas con el fin de mantener condiciones similares de un sistema de distribución de agua a presión. La recirculación del sistema se realizó con una apertura mínima de las válvulas de control de flujo, garantizando una velocidad aproximada de 0.5 m/s, la cual permitió, en tesis anteriores, el crecimiento de la biopelícula.

Este procedimiento se llevó a cabo siguiendo el Diagrama de flujo 1:

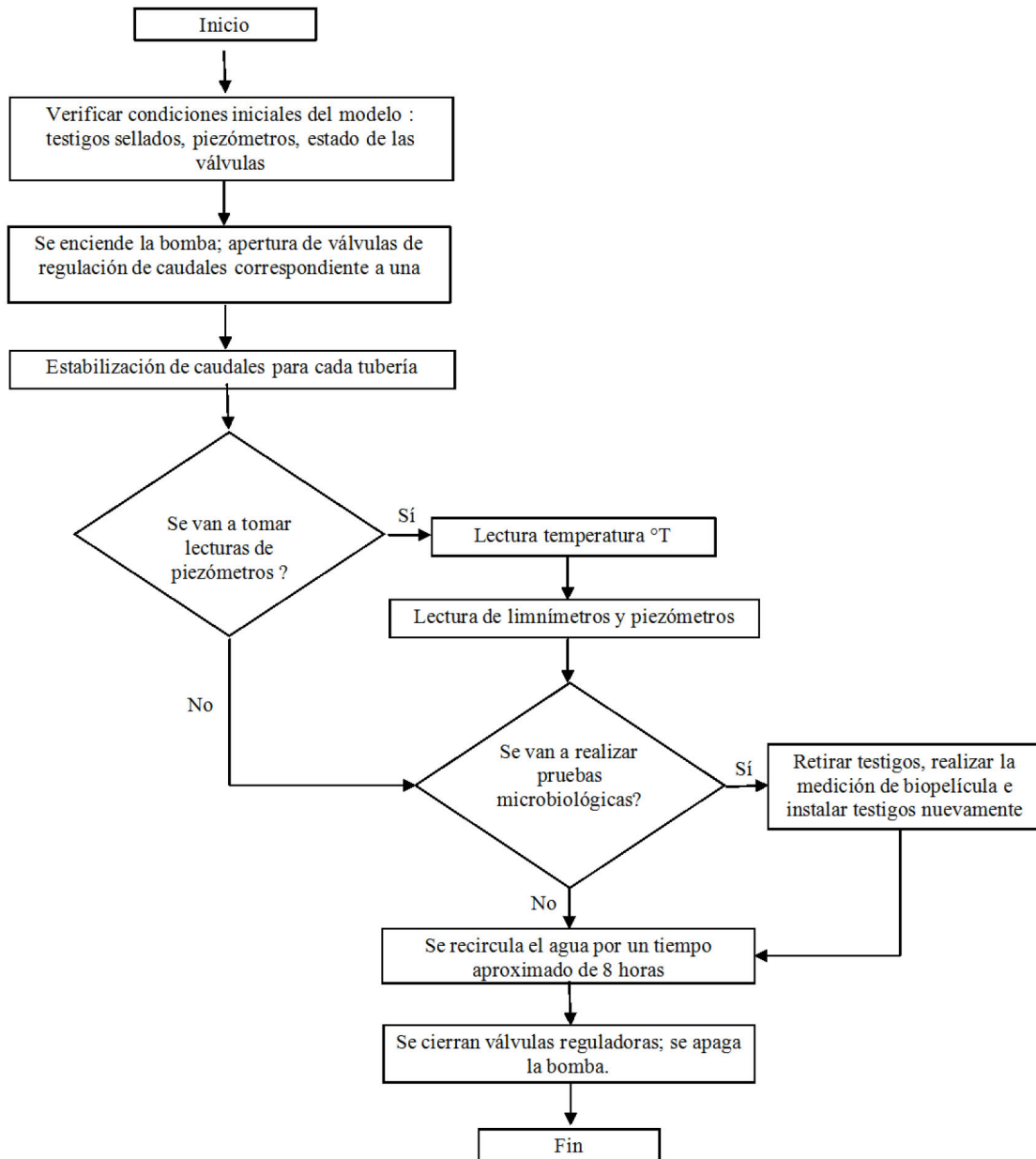


Diagrama de flujo 1. Recirculación diaria

5.3.3 Medición de biopelícula

Como se mencionó en capítulos anteriores, para poder cuantificar el crecimiento de la biopelícula en cada una de las tuberías, se utilizaron dos metodologías; extracción de testigos de borde y extracción de testigos de centro.

A continuación se describen las metodologías empleadas para la extracción de los testigos de borde y centro, y el cálculo de los espesores en cada uno de ellos.

5.3.3.1 Extracción de los testigos

Para cuantificar el crecimiento de la biopelícula a lo largo del tiempo de estudio en las tres tuberías, se siguieron las metodologías que se describen a continuación:

5.3.3.1.1 Testigos de Borde

Los testigos de borde fueron extraídos una vez a la semana aproximadamente, se sacaron y se sumergieron en agua para evitar que la biopelícula sufriera alguna alteración. Seguido a esto se drenaron durante un tiempo aproximado de 20 minutos, y se pesaron en la balanza. Teniendo el área y el peso del testigo fue posible cuantificar el espesor de la biopelícula a la fecha de toma de muestra.

Cabe aclarar que el peso obtenido en los testigos de borde es acumulado, a diferencia de los testigos de centro, el cual corresponde al peso de la biopelícula para la fecha de toma de muestra.

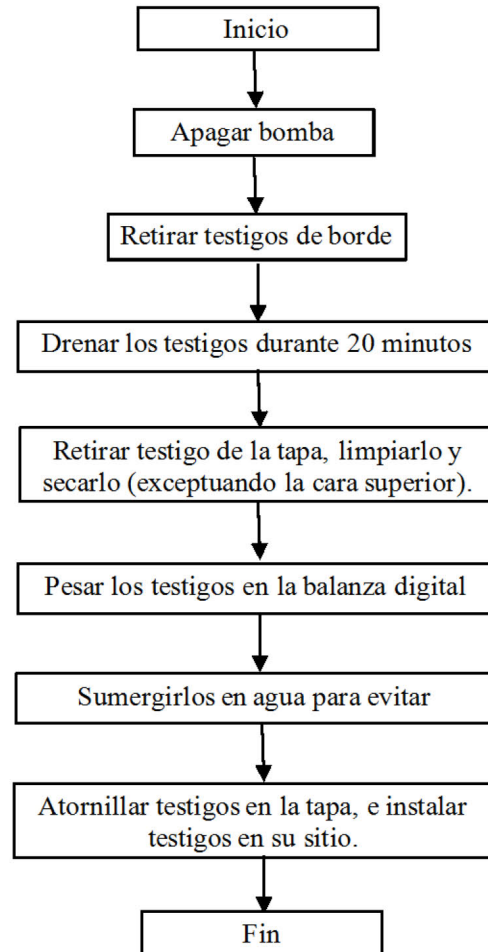


Diagrama de flujo 2. Peso testigos de borde

5.3.3.1.2 Testigos de Centro

Los testigos de centro de las tuberías de polietileno y PVC fueron pesados semanalmente al igual que los testigos de borde. Sin embargo, en el caso de la tubería de CCP no fue posible extraer un testigo por semana, teniendo en cuenta que solo se contó con 5 testigos a lo largo de la tubería. A diferencia de los testigos de borde, los testigos de

centro se pesaron y se limpiaron en su totalidad, con el fin de evitar que el peso registrado fuera alterado por la silicona que se utilizó para sellar el testigo a la tubería. (Ver Diagrama de flujo 3).

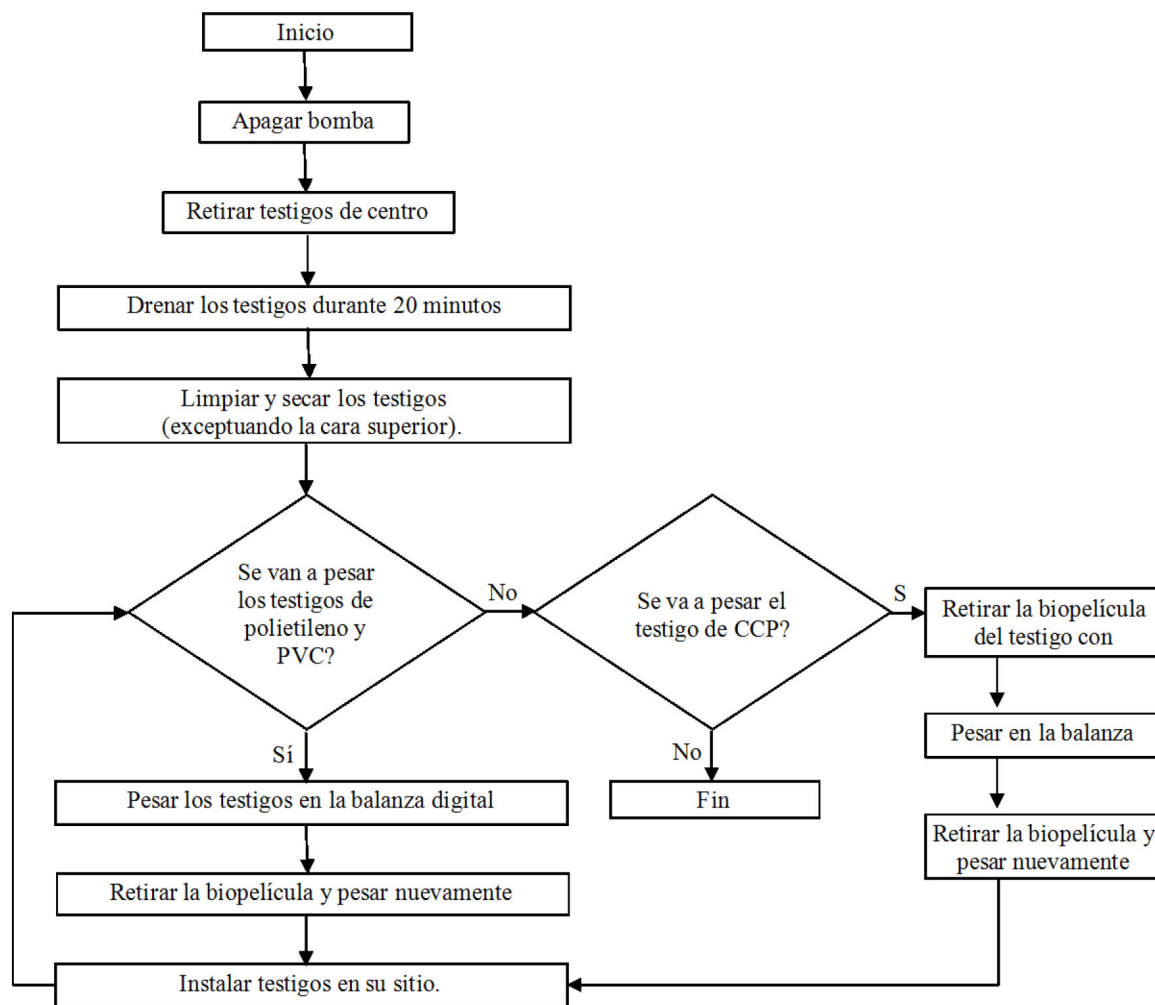


Diagrama de flujo 3. Peso testigos de centro

5.3.3.2 Procedimiento de cálculo

5.3.3.2.1 Cálculo espesor testigos de borde

Conociendo el peso del testigo de borde con la biopelícula, y el área del mismo, es posible determinar el espesor de la biopelícula adherida en la parte superior. En el Diagrama de flujo 4 se muestra el procedimiento de cálculo.

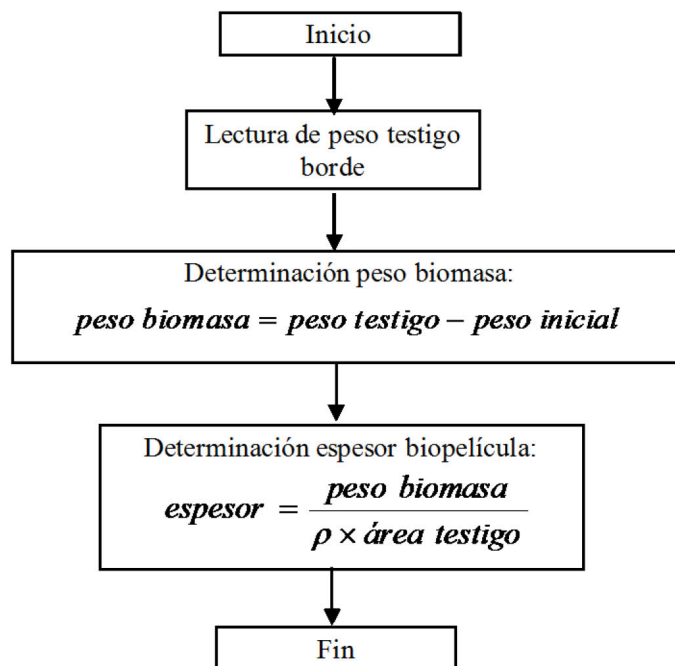


Diagrama de flujo 4. Cálculo espesor biopelícula testigo de borde

5.3.3.2.2 Cálculo espesor testigos de centro

Para obtener el espesor de la biopelícula adherida en la parte superior de los testigos de centro, se siguieron los pasos mostrados en el Diagrama de flujo 5.

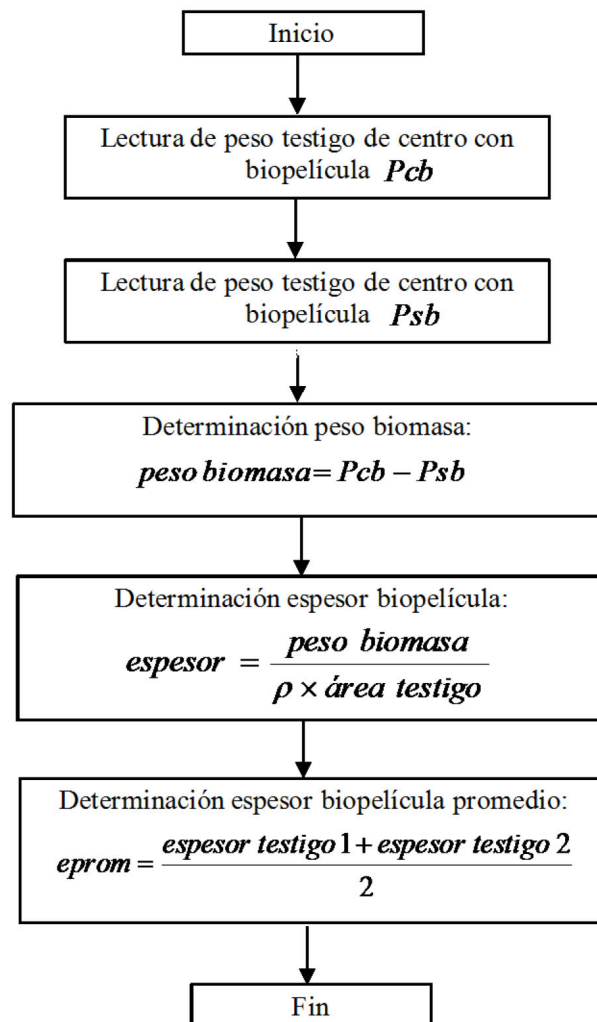


Diagrama de flujo 5. Cálculo espesor biopelícula testigo de centro

5.3.4 Cálculo de velocidades

5.3.4.1 Velocidad inicial de crecimiento de la biopelícula

La velocidad de crecimiento corresponde a la velocidad con la cual se desarrolló la biopelícula en el primer testigo. Esta se calcula con el espesor del día (0) y el espesor del día en que se pesó el mismo por primera vez. La velocidad inicial se expresa en micrones por día ($\mu/\text{día}$).

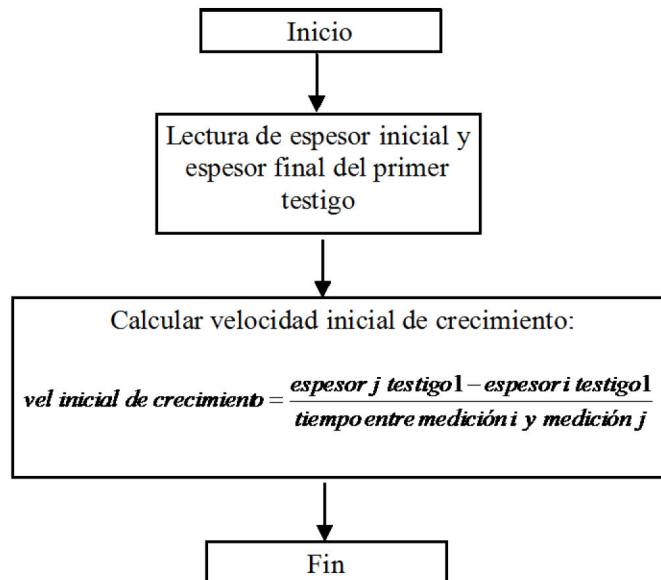


Diagrama de flujo 6. Cálculo velocidad de crecimiento biopelícula

5.3.4.2 Velocidad de regeneración de la biopelícula

La velocidad de regeneración corresponde a la velocidad con la cual la biopelícula se desarrolló en los testigos que se pesaron inicialmente, y que luego fueron limpiados

totalmente. Esta velocidad se calcula a partir de los datos de espesor obtenidos al principio y al final de cada una de las mediciones.

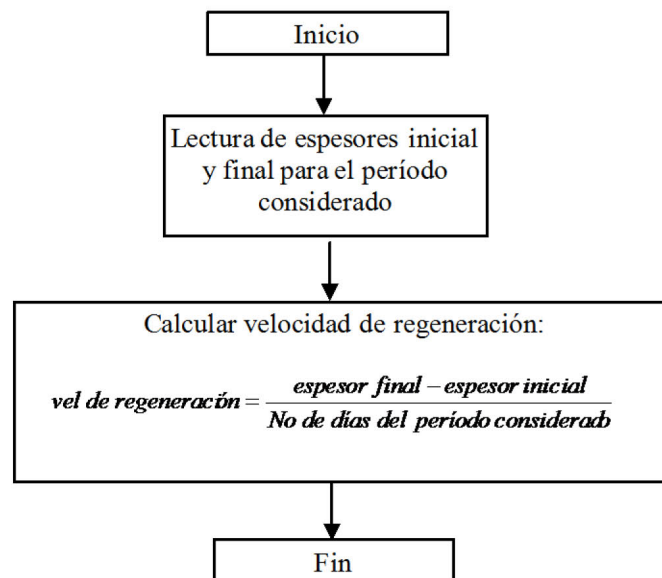


Diagrama de flujo 7. Cálculo velocidad de regeneración de la biopelícula

5.3.5 Determinación de pérdidas y cálculo de la subcapa laminar viscosa

Con los valores obtenidos de cada una de las pruebas de piezómetros realizadas, se pudo realizar el cálculo de las pérdidas por fricción y pérdidas menores, así como la determinación del espesor de la subcapa laminar viscosa. Las metodologías de cálculo se muestran a continuación:

5.3.5.1 Pérdidas menores, pérdidas por fricción y rugosidad absoluta

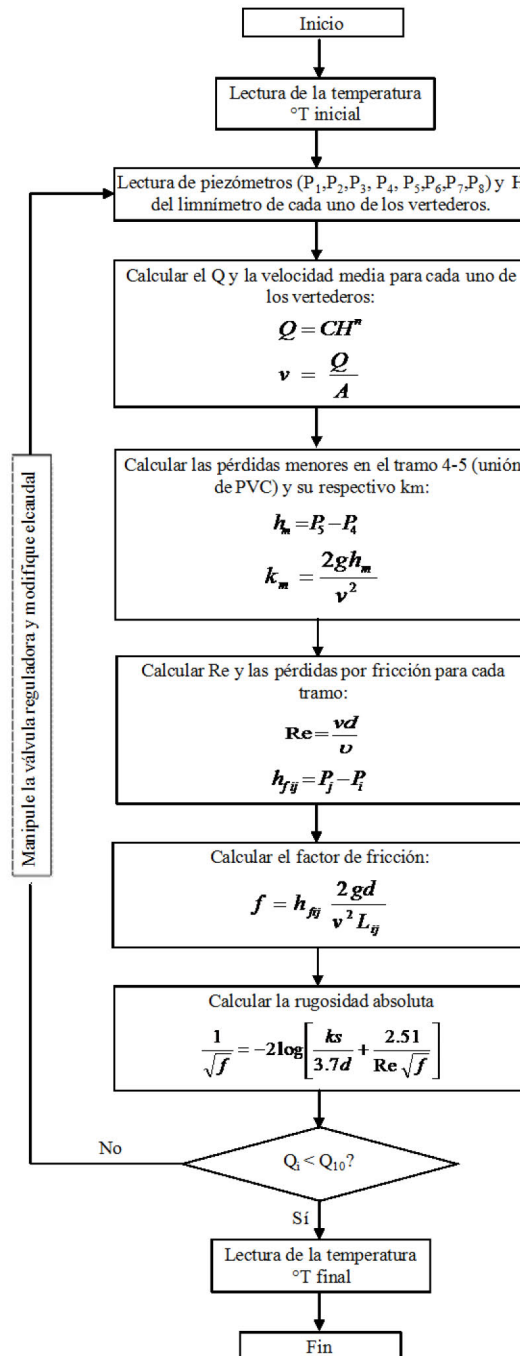


Diagrama de flujo 8. Cálculo pérdidas menores y pérdidas por fricción

5.3.5.2 Subcapa laminar viscosa

Con el fin de determinar el tipo de flujo que se presentó en las tres tuberías para el tiempo de recirculación, y comparar el espesor de la biopelícula y las pérdidas por fricción con el espesor de la subcapa laminar viscosa, se siguió la siguiente metodología de cálculo teniendo como entrada los datos obtenidos de h_f así:

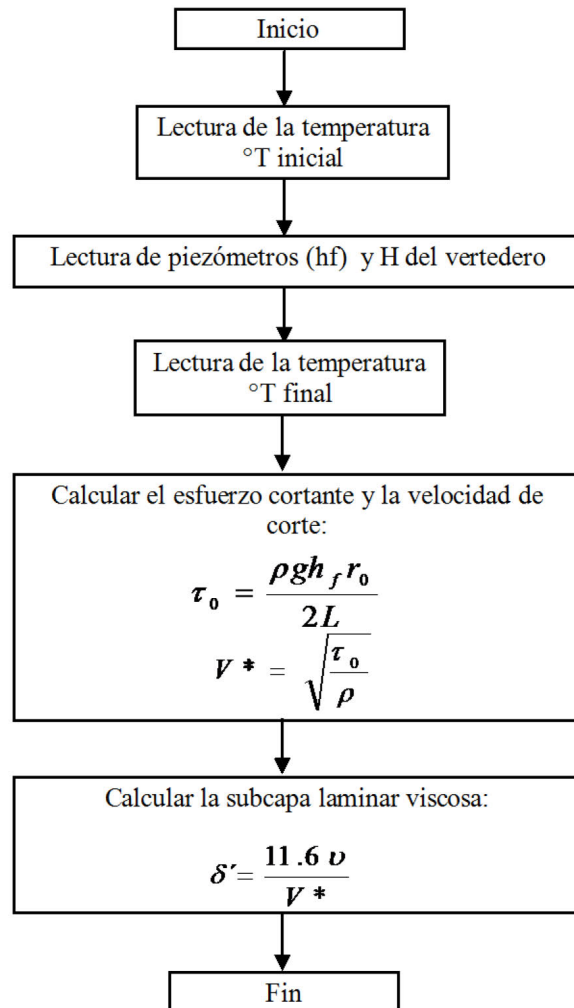


Diagrama de flujo 9. Cálculo subcapa laminar viscosa



5.3.6 Calidad del agua y análisis de la biopelícula

Con el fin de observar las condiciones físico-químicas del agua que se encontraba en recirculación, se realizaron pruebas de DBO₅, DQO, pH. Los resultados se muestran en el Anexo No 8.

Adicionalmente, se realizaron pruebas de análisis microbiológicos de muestras aleatorias de biopelícula, con el fin de demostrar la presencia de microorganismos en la misma. Estos resultados se muestran en el Anexo No 9.

5.3.7 Cronograma

En el Anexo No 10 se muestra el cronograma de actividades realizadas durante todo el tiempo de recirculación del sistema.

6 RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos durante los 154 días de recirculación, correspondientes al tiempo total de estudio.

6.1 Aspectos microbiológicos

Uno de los objetivos principales de la presente tesis es realizar una comparación entre diferentes materiales empleados en redes de distribución de agua potable en lo que tiene que ver con generación de biopelículas, sometidos bajo las mismas condiciones hidráulicas. Para realizar el estudio de la influencia que tienen los materiales seleccionados en el crecimiento de la biopelícula, se siguieron los procedimientos anteriormente mencionados.

En las siguientes pruebas se obtuvo el peso de la biopelícula en las tres tuberías (polietileno, PVC y CCP), tanto para los testigos de borde como para los testigos de centro.

Para realizar el cálculo del espesor de la biopelícula, es necesario conocer el área de cada uno de los testigos. En la Tabla 3 se muestran las dimensiones de los testigos de borde y los testigos de centro. Se aclara nuevamente que los testigos de borde solo fueron instalados en las tuberías de polietileno y PVC.

Tabla 3. Áreas de los testigos de borde y centro

TESTIGOS DE CENTRO		
No	POLIETILENO	PVC
	Área testigo int (cm²)	Área testigo int (cm²)
1	32,34	33,32
2	33,32	33,32
3	32,00	35,00
4	35,70	33,00
5	34,30	34,65
6	34,56	34,65
7	34,00	31,96
8	31,36	33,32
9	33,33	34,68
10	32,01	35,00
11	33,00	34,30
12	32,67	34,00
13	33,33	34,00
14	33,00	34,30
15	32,01	34,34
16	31,31	35,70
17	30,69	33,60
18	30,69	32,55
19	33,32	35,00
20	30,69	35,00
21	32,34	32,55
22	33,66	35,00
23	32,34	34,30
24	33,32	35,70
TESTIGOS DE BORDE		
Peso inicial (g)	43,5730	57,12
Área (cm²)	59,5115	67,62

6.1.1 Testigos de borde

Los testigos de borde se extrajeron la misma cantidad de veces que los testigos de centro. Lo anterior teniendo en cuenta que su extracción y posterior instalación demandaba el mismo tiempo que los demás testigos, y si se sacaba con mayor frecuencia el montaje debería permanecer apagado por un tiempo determinado hasta que el testigo se fijara correctamente a la tubería.

Para cada día de toma de muestra, se determinó el peso acumulado de biopelícula fijada en la parte superior del testigo. A diferencia de los testigos de centro, los testigos de borde podían separarse de la tapa exterior, lo cual permitió que el valor obtenido del peso correspondiera al peso del testigo inicial (ver Tabla 3) más el espesor acumulado de la biopelícula.

A continuación se muestra la forma como se calculó el espesor de la biopelícula en los testigos de borde. Esta metodología se llevó a cabo tanto en la tubería de polietileno como en la tubería de PVC.

1. Se tomaron los valores del peso inicial y el área del testigo de borde de la Tabla 3.

$$\begin{array}{r} \text{PESO INICIAL (g)} = \frac{43,5730}{\text{ÁREA TESTIGO (cm}^2\text{)} = \frac{57,12} \end{array}$$

2. Una vez se pesó el testigo de borde de la tubería de polietileno, se obtuvo que:

PESO TESTIGO (g)
43,6414

3. Con estos valores, y siguiendo el Diagrama de flujo 4, se obtuvo el siguiente espesor acumulado de biopelícula para el día 02-Mar-09:

FECHA	DÍAS	POLIETILENO		
		PESO TESTIGO (g)	PESO BIOMASA	ESPESOR (µm)
02-Mar-09	18	43,6414	0,0684	11,9748

En la Tabla 4 y Tabla 5 se muestran los espesores acumulados de biopelícula obtenidos tanto en los testigos de borde de la tubería de polietileno como en la de PVC.

Tabla 4. Peso de biopelícula en los testigos de borde polietileno

FECHA	DÍAS	POLIETILENO		
		PESO TESTIGO (g)	PESO BIOMASA	ESPESOR (µm)
13-Feb-09	1	43,5730	0,0000	0,0000
02-Mar-09	18	43,6414	0,0684	11,9748
11-Mar-09	27	43,7007	0,1277	22,3564
24-Mar-09	40	43,6743	0,1013	17,7346
06-Abr-09	53	43,6897	0,1167	20,4307
21-Abr-09	68	43,6914	0,1184	20,7283
30-Abr-09	77	43,7172	0,1442	25,2451
12-May-09	89	43,7403	0,1673	29,2892
26-May-09	103	43,7213	0,1483	25,9629
05-Jun-09	113	43,7061	0,1331	23,3018
17-Jun-09	125	43,7089	0,1359	23,7920
03-Jul-09	141	43,6939	0,1209	21,1660
14-Jul-09	152	43,7326	0,1596	27,9412

Tabla 5. Peso de biopelícula en los testigos de borde PVC

FECHA	DÍAS	PVC		
		PESO TESTIGO (g)	PESO BIOMASA	ESPESOR (µm)
13-Feb-09	1	59,5115	0,0000	0,0000
02-Mar-09	18	59,5506	0,0391	5,7823
11-Mar-09	27	59,6082	0,0967	14,3005
24-Mar-09	40	59,5844	0,0729	10,7808
06-Abr-09	53	59,6006	0,0891	13,1766
21-Abr-09	68	59,6112	0,0997	14,7442
30-Abr-09	77	59,6345	0,1230	18,1899
12-May-09	89	59,6463	0,1348	19,9349
26-May-09	103	59,6515	0,1400	20,7039
05-Jun-09	113	59,6282	0,1167	17,2582
17-Jun-09	125	59,6272	0,1157	17,1103
03-Jul-09	141	59,6356	0,1241	18,3526
14-Jul-09	152	59,6371	0,1256	18,5744

El máximo espesor registrado en la tubería de polietileno de 4" se presentó el día 89, correspondiente a un valor de 29,2892 µm, mientras que en la tubería de PVC se presentó el día 103, correspondiente a un espesor de 20,7039 µm. En promedio se obtiene una diferencia de espesor de biopelícula de 6,7512 µm entre las dos tuberías, obteniendo como constante un espesor mayor en la tubería de polietileno que en la de PVC. Teniendo en cuenta que la diferencia de espesores de la biopelícula encontrada en los testigos de borde de las dos tuberías es similar, se puede concluir que el material afecta significativamente el desarrollo de la biopelícula en la etapa inicial.

En la Figura 28 se muestran los resultados obtenidos en las tablas anteriores. En ella está representado el crecimiento de la biopelícula vs. el tiempo total de muestreo, el cual tiene una duración de 154 días. La curva azul representa el espesor de la biopelícula en la tubería de polietileno de 4", y la curva roja representa el espesor de la biopelícula en la tubería de PVC de 4".

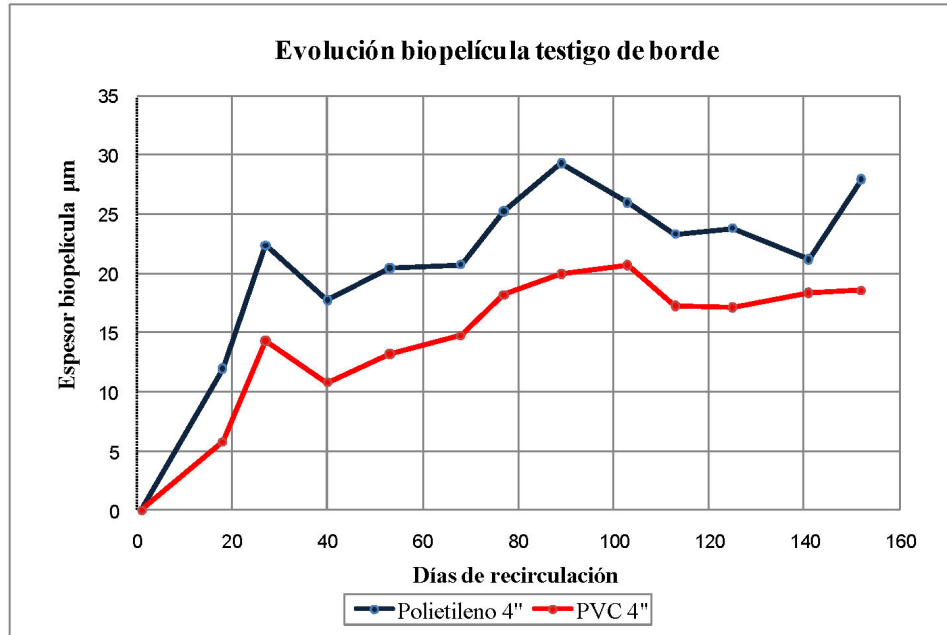


Figura 28. Crecimiento de biopelícula en los testigos de borde

En la Figura 28 se muestra un crecimiento ascendente de las dos curvas, cuyo comportamiento es similar para todo el tiempo de estudio. Es claro que el espesor de la biopelícula en el testigo de borde de la tubería de polietileno es mayor que el de la tubería de PVC. Se ve claramente que en los primeros 27 días las curvas de espesores ascienden rápidamente. Esta etapa corresponde al crecimiento de la biopelícula bacteriana. A partir de esta fecha, se nota una pequeña disminución del espesor de la misma, producto de la colonización de nuevas comunidades y de la necesidad de agregar al modelo agua potable con alguna periodicidad. Fue necesario introducir agua potable al sistema teniendo en cuenta que, en primer lugar, por condiciones climáticas del laboratorio, el agua almacenada en los tanques se evaporaba, y en segundo lugar, al momento de realizar la toma de muestra de testigos se perdía una cantidad considerable de agua.

Observando el cronograma, el día 32 se agregó agua potable al modelo por primera vez, fecha en la cual se ve el descenso descrito anteriormente. Aunque fue necesario agregar

agua potable varias ocasiones, la biopelícula siguió creciendo teniendo en cuenta que aunque el agua contenía cloro, aun tenía ciertos nutrientes que favorecían el crecimiento de la misma. Adicionalmente, se debe tener en cuenta que se agregaron nutrientes con mayor frecuencia, lo cual pudo estabilizar el crecimiento de la biopelícula.

Luego del descenso de la biopelícula se ve claramente que el espesor de la misma crece rápidamente. Esto se debe a una tasa constante de acumulación de biopelícula que permite que su estructura se vuelva más uniforme. Una vez la biopelícula alcanza su máximo espesor, este decrece nuevamente ya sea por un desprendimiento parcial, por la llegada de nuevos microorganismos, o por la inclusión de agua potable al sistema. En este punto, el espesor de la biopelícula continúa a una tasa relativamente constante, hasta encontrar un punto de equilibrio que le permita alcanzar un determinado espesor.

6.1.2 Testigos de centro

Al igual que los testigos de borde, los testigos de centro fueron extraídos aproximadamente 1 vez a la semana. En total se analizaron 24 testigos de centro de la tubería de polietileno, 24 de la tubería de PVC y 5 de la tubería de CCP. Semanalmente se extrajo una pareja de testigos de centro de las tuberías de polietileno y PVC, y los testigos de la tubería de CCP se extrajeron mensualmente.

Como se mencionaba anteriormente, los testigos de centro fueron retirados desde aguas abajo hacia aguas arriba, evitando la afectación de la biopelícula de los testigos subsiguientes. Cada uno de ellos fue utilizado una primera vez para cuantificar el crecimiento de biopelícula en una determinada fecha de toma de muestra, y una segunda vez para cuantificar la regeneración de la misma luego de un tiempo determinado.

A manera de ejemplo se muestra la forma como se calculó el espesor de la biopelícula en los testigos de centro.

A. Tubería de polietileno y PVC: Teniendo en cuenta que la metodología llevada a cabo en las tuberías de polietileno y PVC fue la misma, se muestra el cálculo del espesor de biopelícula obtenido en la tubería de polietileno para el día 02-Mar-09.

1. Se tomaron los valores de las áreas iniciales de la pareja de testigos de centro de la Tabla 3.

No Testigo	ÁREA TESTIGO (cm ²)
1	32,34
24	33,32

2. Se obtuvo el peso de cada uno de los testigos con biopelícula:

No Testigo	PESO CON BIOPELÍCULA (g)
1	109,5315
24	112,5107

3. Se obtuvo el peso de cada uno de los testigos sin biopelícula:

No Testigo	PESO SIN BIOPELÍCULA (g)
1	109,3615
24	112,3113

4. Con los pesos obtenidos, y siguiendo la metodología mostrada en el Diagrama de flujo 5, se determinó el espesor de la biopelícula promedio para la pareja de testigos:

No Testigo	ESPESOR (µm)	ESPESOR prom (µm)
1	52,5665	56,2052
24	59,8439	

B. Tubería de CCP: Teniendo en cuenta que en el caso de la tubería de CCP solo se contaba con 5 testigos, se determinó el espesor de la biopelícula para cada uno de ellos. A continuación se muestra el cálculo del espesor de biopelícula obtenido en la tubería de CCP para el día 11-Mar-09.

1. El área de cada testigo de centro de la tubería de CCP se define como:

$$\text{Área testigo de centro CCP} = \frac{2 \times \pi \times d}{2} \times \text{ancho del testigo}$$

$$\text{Área testigo de centro CCP} = \frac{2 \times \pi \times 13.5}{2} \times 7.9 = 335.0509 \text{ cm}^2$$

2. Se obtuvo el peso del testigo con biopelícula:

No Testigo	PESO CON BIOPELÍCULA (g)
1	7,1995

3. Se obtuvo el peso del testigo sin biopelícula:

No Testigo	PESO SIN BIOPELÍCULA (g)
1	3,5719

4. Con los pesos obtenidos, y siguiendo la metodología mostrada en el Diagrama de flujo 5, se determinó el espesor de la biopelícula para el testigo seleccionado:

No Testigo	ESPESOR (μm)
1	108,2701

En la Tabla 6, la Tabla 7 y la Tabla 8 se muestran los espesores de biopelículas obtenidos en las tres tuberías.

Tabla 6. Pesos de biopelícula en los testigos de centro tubería de polietileno 4''

POLIETILENO								
FECHA	DÍAS	No Testigo	PESO CON BIOPELÍCULA (g)	PESO SIN BIOPELÍCULA (g)	PESO BIOMASA (g)	ÁREA TESTIGO (cm^2)	ESPESOR (μm)	ESPESOR prom (μm)
13-feb-09	1	x	x	x	x	x	x	0,0000
		x	x	x	x	x	x	
02-mar-09	18	1	109,5315	109,3615	0,1700	32,34	52,5665	56,2052
		24	112,5107	112,3113	0,1994	33,32	59,8439	
11-mar-09	27	2	112,3945	112,1160	0,2785	33,32	83,5834	86,5815
		23	126,1777	125,8880	0,2897	32,34	89,5795	
24-mar-09	40	3	114,1059	113,8447	0,2612	32,00	81,6250	83,0139
		22	108,1141	107,8300	0,2841	33,66	84,4029	
06-abr-09	53	4	116,1200	115,7500	0,3700	35,70	103,6415	104,5573
		21	112,5173	112,1762	0,3411	32,34	105,4731	
21-abr-09	68	5	120,6398	120,2599	0,3799	34,30	110,7580	112,9222
		20	116,9702	116,6170	0,3532	30,69	115,0863	
30-abr-09	77	6	120,3897	119,9906	0,3991	34,56	115,4803	118,6945
		19	114,4537	114,0475	0,4062	33,32	121,9088	
12-may-09	89	7	116,8222	116,3641	0,4581	34,00	134,7353	138,4331
		18	114,3680	113,9318	0,4362	30,69	142,1310	
26-may-09	103	8	111,7445	111,3754	0,3691	31,36	117,6977	119,4875
		17	109,3082	108,9360	0,3722	30,69	121,2773	
05-jun-09	113	9	109,2967	108,9158	0,3809	33,33	114,2814	115,3010
		16	106,6514	106,2872	0,3642	31,31	116,3207	
17-jun-09	125	10	113,0356	112,6901	0,3455	32,01	107,9350	111,8244
		15	109,1564	108,7860	0,3704	32,01	115,7138	
03-jul-09	141	11	115,3200	114,9715	0,3485	33,00	105,6061	112,3030
		14	116,3427	115,9500	0,3927	33,00	119,0000	
14-jul-09	152	12	115,1938	114,8193	0,3745	32,67	114,6312	116,2415
		13	114,8799	114,4871	0,3928	33,33	117,8518	

Tabla 7. Pesos de biopelícula en los testigos de centro tubería de PVC 4”

PVC								
FECHA	DÍAS	No Testigo	PESO CON BIOPELÍCULA (g)	PESO SIN BIOPELÍCULA (g)	PESO BIOMASA (g)	ÁREA TESTIGO (cm ²)	ESPESOR (µm)	ESPESOR prom (µm)
13-feb-09	1	x	x	x	x	x	x	0,0000
		x	x	x	x	x	x	
02-mar-09	18	1	112,6567	112,5409	0,1158	33,32	34,7539	33,3013
		24	114,2151	114,1014	0,1137	35,70	31,8487	
11-mar-09	27	2	112,4813	112,2888	0,1925	33,32	57,7731	60,7962
		23	116,8825	116,6636	0,2189	34,30	63,8192	
24-mar-09	40	3	112,3527	112,1919	0,1608	35,00	45,9429	47,7857
		22	115,6718	115,4981	0,1737	35,00	49,6286	
06-abr-09	53	4	111,9025	111,6872	0,2153	33,00	65,2424	67,4292
		21	117,2034	116,9768	0,2266	32,55	69,6160	
21-abr-09	68	5	113,7066	113,4324	0,2742	34,65	79,1342	81,9100
		20	115,2298	114,9334	0,2964	35,00	84,6857	
30-abr-09	77	6	114,5249	114,2360	0,2889	34,65	83,3766	85,5597
		19	115,7629	115,4558	0,3071	35,00	87,7429	
12-may-09	89	7	114,2763	113,9908	0,2855	31,96	89,3304	91,4394
		18	113,8061	113,5016	0,3045	32,55	93,5484	
26-may-09	103	8	114,7758	114,5119	0,2639	33,32	79,2017	81,8479
		17	112,9769	112,6930	0,2839	33,60	84,4940	
05-jun-09	113	9	117,0245	116,7328	0,2917	34,68	84,1119	85,4033
		16	112,1334	111,8239	0,3095	35,70	86,6947	
17-jun-09	125	10	118,6726	118,3990	0,2736	35,00	78,1714	80,7136
		15	114,0829	113,7970	0,2859	34,34	83,2557	
03-jul-09	141	11	115,7639	115,5128	0,2511	34,30	73,2070	75,8601
		14	112,9587	112,6894	0,2693	34,30	78,5131	
14-jul-09	152	12	111,0221	110,7675	0,2546	34,00	74,8824	76,1176
		13	111,8176	111,5546	0,2630	34,00	77,3529	

Tabla 8. Pesos de biopelícula en los testigos de centro tubería de CCP 6”

CCP							
FECHA	DÍAS	No Testigo	PESO CON BIOPELÍCULA (g)	PESO SIN BIOPELÍCULA (g)	PESO BIOMASA (g)	ÁREA TESTIGO (cm ²)	ESPESOR (µm)
13-feb-09	1	x	x	x	x	x	0,0000
11-mar-09	27	1	7,1995	3,5719	3,6276	335,0509	108,2701
06-abr-09	53	2	8,2475	3,5819	4,6656	335,0509	139,2505
12-may-09	89	3	8,6145	3,5883	5,0262	335,0509	150,0130
05-jun-09	113	4	9,0576	3,5879	5,4697	335,0509	163,2498
03-jul-09	141	5	8,8196	3,6178	5,2018	335,0509	155,2540

Como se muestra en las tablas anteriores, para cada fecha de medición se extrajeron 2 testigos enfrentados. Se realizó de esa manera puesto que al ejecutar la instalación de las tuberías de polietileno y PVC, fue necesario contar con una gran cantidad de accesorios que no permitieron que el eje central de la tubería, el cual al mismo tiempo era el eje de los testigos, permaneciera centrado (los testigos estaban ligeramente inclinados respecto al eje). Al observar una pareja de testigos al azar, se ve que en el primer testigo de la pareja el peso obtenido es menor que el peso del segundo. Esto se debe a que el eje de los primeros testigos de la pareja se encontraba ligeramente por encima de los segundos, en donde es posible que se presenten condiciones hidráulicas distintas (ver Figura 20).

En la Figura 29 se muestran los resultados de espesor de la biopelícula en los testigos de centro vs. su tiempo de formación. En esta, la curva verde clara representa el espesor de la biopelícula en la tubería de CCP; la curva verde oscura representa el espesor de la biopelícula en la tubería de polietileno y la curva naranja representa el espesor de la biopelícula en la tubería de PVC.

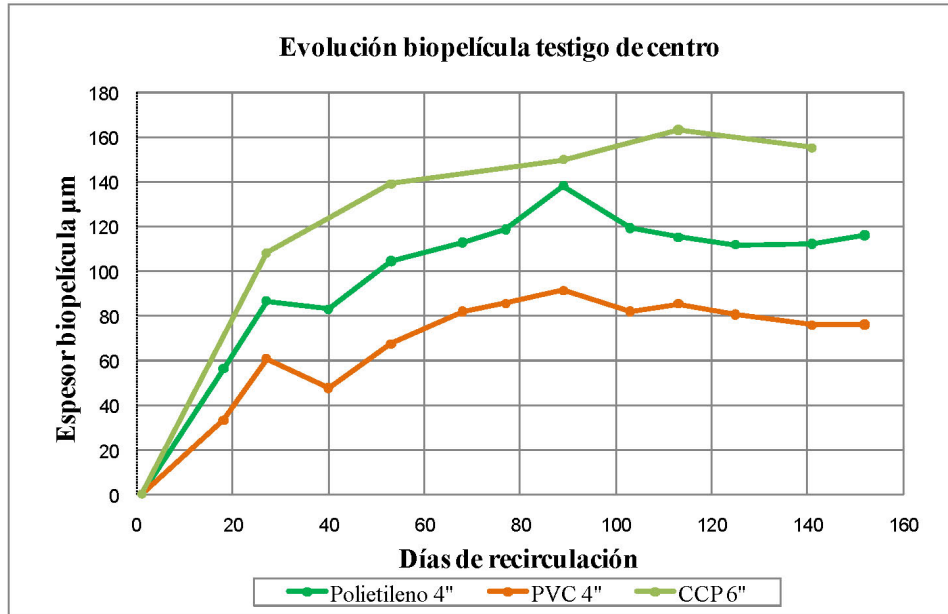


Figura 29. Crecimiento de biopelícula en los testigos de centro

En la Figura 29 se muestra un crecimiento ascendente de las tres curvas, y al igual que los testigos de borde, la tendencia de crecimiento es similar. En esta se ve un mayor crecimiento de biopelícula en la tubería de CCP, polietileno y PVC, respectivamente.

En los primeros 27 días se ve un crecimiento rápido de la biopelícula, al igual que en los testigos de borde. Desde el día 27 hasta el día 40 se presenta un descenso, el cual puede coincidir con la llegada de nuevos microorganismos. Adicionalmente, en ese período, fue necesario agregar agua potable al sistema, lo cual contribuyó a la desaceleración del crecimiento de la misma. Desde el día 40 hasta el día 89, nuevamente el espesor de la biopelícula crece rápidamente, aún cuando se le agregó agua potable al sistema los días 43 y 60. Después del día 89, el espesor de la biopelícula decrece hasta un cierto punto. A partir del día 103, se observa una tasa de crecimiento de biopelícula relativamente constante, hasta que encuentra un punto de equilibrio.

En la tubería de polietileno, el máximo espesor de la biopelícula se presentó el día 89, correspondiente a un valor de 138,4331 μm . Cabe anotar que en el caso de los testigos de borde, ese mismo día se registró el máximo crecimiento de biopelícula en el mismo. En la tubería de PVC, el máximo espesor registrado se presentó el día 89, correspondiente a un valor de 91,4394 μm . El máximo espesor registrado en la tubería de CCP se presentó el día 113, correspondiente a un valor de 163,2498 μm .

Según los datos registrados en la Tabla 6, la Tabla 7 y la Tabla 8, en general se presenta una diferencia de espesor aproximada de 33,9501 μm entre la tubería de polietileno y PVC, y una diferencia aproximada de 31,7699 μm entre la tubería de CCP y la tubería de polietileno.

Los pesos registrados a lo largo del tiempo de estudio indican que la poca rugosidad inicial de las tuberías de polietileno y PVC, aunque no impiden que las bacterias se adhieran a la tubería, si contribuyen a que exista una menor posibilidad de colonización. En el caso de la tubería de CCP, es posible que se genere mayor cantidad de biopelícula por las cavidades e irregularidades que presenta el material, en donde pueden albergarse las bacterias con mayor facilidad, favoreciendo el crecimiento de la misma.

6.1.3 Comparación de resultados

Puesto que las condiciones hidráulicas a las que están sujetos los testigos de borde difieren de las condiciones que se presentan en el centro de la tubería, se compararon los resultados de crecimiento de biopelícula en las dos zonas (ver Figura 30).

Las curva verde clara representa el crecimiento de biopelícula en la tubería de CCP en el centro; las curvas naranja y azul representan el crecimiento de biopelícula en la tubería de polietileno en el centro y en el borde respectivamente; las curvas verde oscuro y roja representan el crecimiento de biopelícula en la tubería de PVC en el centro y en el borde respectivamente.

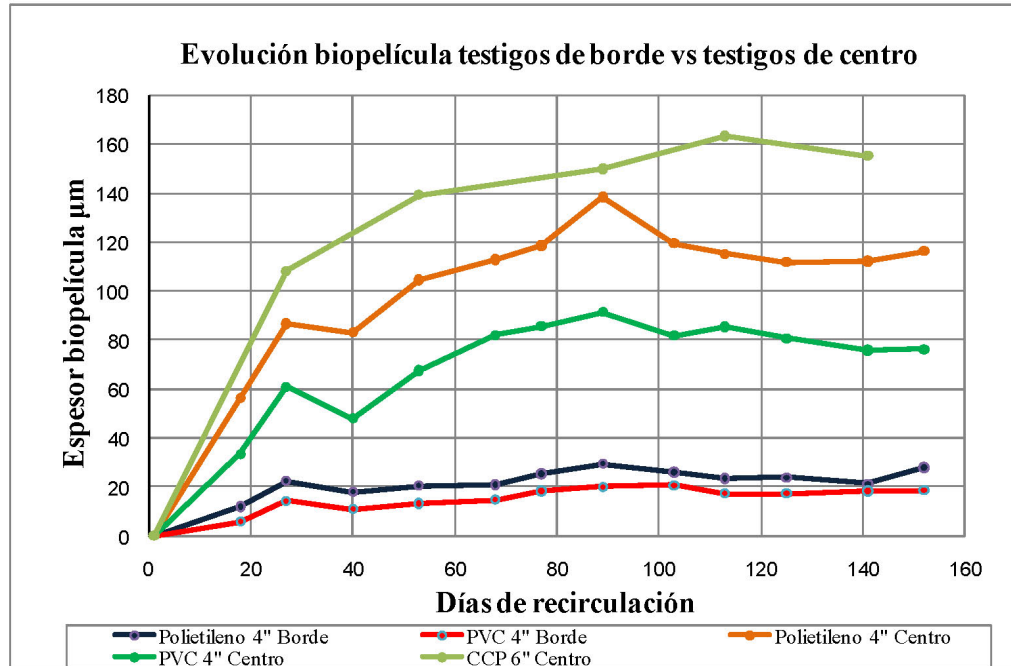


Figura 30. Comparación del crecimiento de biopelícula entre testigos de borde y testigos de centro

En la Figura 30 se observa un mayor crecimiento de la biopelícula en los testigos de centro en la tubería de CCP, polietileno y PVC respectivamente. En cuanto a los testigos de borde se ve que el crecimiento fue mayor en la tubería de polietileno que en la de PVC.

Al observar el comportamiento de las curvas de crecimiento de los testigos de borde y los testigos de centro simultáneamente, se concluye que la tendencia de crecimiento de biopelícula en las dos zonas es similar. En todas las curvas se observa un comportamiento similar del crecimiento y disminución del espesor de la biopelícula.

Sin embargo, el crecimiento de la biopelícula en los testigos de centro es significativamente mayor que en los testigos de borde. En primer lugar, esto puede ser el resultado de las condiciones hidráulicas que se presentan en cada una de las zonas, teniendo en cuenta que en el centro de la tubería las líneas de flujo pueden permanecer

más estables que en la salida de la misma, en donde el flujo puede generar fuerzas que desprendan la biopelícula con mayor facilidad. En segundo lugar, la diferencia de espesores registrados en los testigos de borde y de centro se debe al tipo de manipulación que se le dió a cada uno de los testigos. Mientras que los testigos de centro fueron manipulados una sola vez, los testigos de borde se manipularon constantemente. Esto pudo contribuir a que en los testigos de borde se generaran condiciones anormales de crecimiento.

En la Figura 30 se puede observar que en la tubería de polietileno, el día en que se registró el máximo espesor en el testigo de borde coincide con el día en que se registró el máximo espesor de los testigos de centro. En el caso de la tubería de PVC, el máximo espesor registrado del testigo de borde se presentó el día 89, mientras que en el caso de los testigos de centro se registró el día 103.

6.1.4 Subcapa Laminar Viscosa

El máximo espesor que puede alcanzar una biopelícula está determinado por el espesor de la subcapa laminar viscosa. Aunque la biopelícula sufra cambios drásticos de espesor, causados por desprendimientos o por la llegada de nuevos microorganismos, su espesor tiende a recuperarse, acercándose al espesor de la subcapa laminar viscosa.

Con el fin de comprobar la anterior teoría, y siguiendo la metodología propuesta anteriormente, se calculó el espesor de la subcapa laminar viscosa para las velocidades de recirculación diaria (Ver Anexo 5).

En la Figura 31 se comparan los espesores de biopelícula en los testigos de borde y centro de cada una de las tuberías con el espesor de la subcapa laminar viscosa correspondiente.

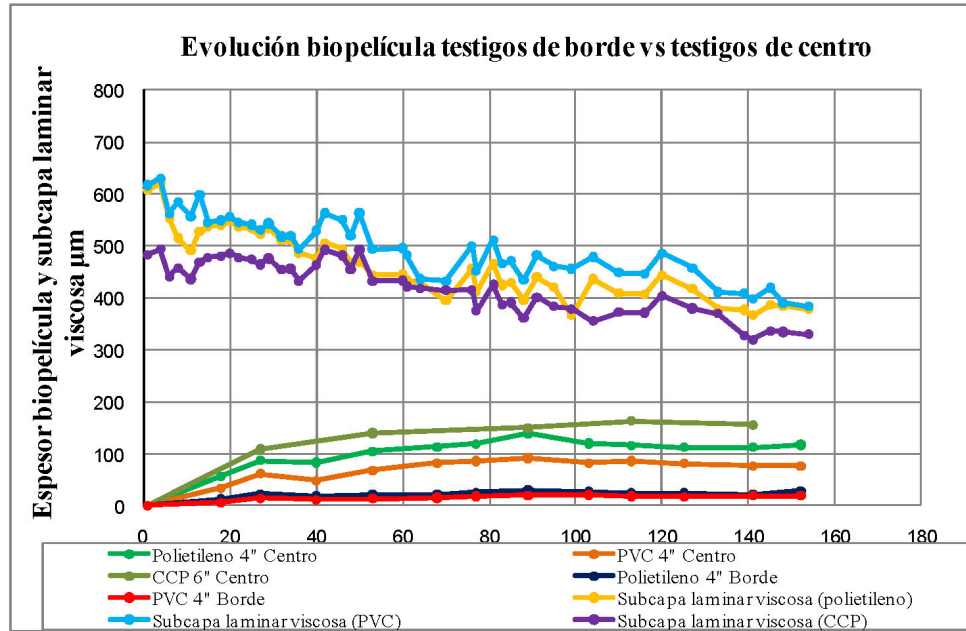


Figura 31. Comparación de espesores de biopelícula en testigos de borde y centro con la subcapa laminar viscosa para cada material

Comparando el espesor de las biopelículas en las tres tuberías con el espesor de la subcapa laminar viscosa, se ve claramente que el espesor de la biopelícula nunca sobrepasa el espesor de la subcapa laminar viscosa durante el tiempo de estudio. De igual manera, se observa que el espesor de la subcapa disminuye progresivamente con el tiempo, lo cual indica que el crecimiento de la biopelícula está generando más pérdidas en el sistema, aumentando considerablemente el esfuerzo cortante en las paredes de la tubería. Esto se comprobará en el análisis de resultados de los aspectos hidráulicos, en donde se realizará la comparación del espesor de la biopelícula y la rugosidad absoluta con el espesor de la subcapa laminar viscosa.

En la Figura 31 se observa que el comportamiento del espesor de la subcapa laminar viscosa en las tres tuberías es inverso al crecimiento de la biopelícula en las mismas. El máximo espesor de la subcapa laminar viscosa de la tubería de polietileno corresponde a un valor de 607,2349 µm, el cual se presenta en el primer día de toma de muestras. Este

resultado es lógico teniendo en cuenta que no se han generado pérdidas considerables en el sistema. Al igual que la tubería de polietileno, el máximo espesor de la subcapa laminar viscosa en la tubería de PVC se presenta en el primer día de medición, registrando un valor de 616,5305 μm , y en la tubería de CCP para ese mismo día se registra un valor de 482,8295 μm . Contrario a lo observado en cuanto al crecimiento de biopelícula en las tres tuberías, el espesor de la subcapa laminar viscosa es mayor en la tubería de PVC, polietileno y CCP respectivamente.

Más adelante se realiza la comparación del espesor de la subcapa laminar viscosa, con el espesor de la biopelícula y la rugosidad.

Con el fin de tener una descripción clara de la cinética del crecimiento de la biopelícula en las tuberías seleccionadas, a continuación se muestran las velocidades iniciales de crecimiento de la misma en el primer testigo de cada una de las tuberías, y las velocidades de regeneración obtenidas en cada uno de los testigos empleados para realizar la comparación.

6.1.5 Regeneración de la biopelícula

La regeneración es un proceso importante en la dinámica de las biopelículas. Según la teoría, cuando se lleva a cabo algún proceso de tratamiento o control, la biopelícula no se elimina del todo, lo cual conlleva a que los microorganismos sobrevivientes se reproduzcan nuevamente contribuyendo a su regeneración. Una vez la biopelícula es retirada, en su superficie queda una cantidad de microorganismos que pueden iniciar un proceso nuevo de formación y crecimiento. Adicionalmente, al quedar la superficie más rugosa por la presencia inicial de la biopelícula, los nuevos organismos colonizadores pueden adherirse más fácilmente a la superficie, regenerando la biopelícula con gran rapidez.

Como se mencionó en capítulos anteriores, una vez se procedió a pesar cada uno de los testigos de las tres tuberías, fue necesario retirar la biopelícula de cada uno de ellos para asegurar que el peso obtenido correspondiera al peso de la biopelícula, y no al peso de residuos de silicona u otros materiales que pudieron haberse fijado a la superficie externa del mismo. Según esto, todos los testigos se encontraban "limpios" después de cada medición, y por ello fue posible observar cual fue la regeneración de la biopelícula después de un determinado tiempo.

A continuación se muestran las fechas en que se realizó el primer y segundo pesaje de cada uno de los testigos para las tres tuberías:

Tabla 9. Fechas correspondientes al pesaje No 1 y al pesaje No 2 – polietileno.

PERÍODO No	FECHAS	POLIETILENO		
		PRIMER PESAJE	SEGUNDO PESAJE	DÍAS DIFERENCIA
0	13-feb-09 al 02-mar-09	x	02-mar-09	17
1	02-mar-09 al 24-mar-09	02-mar-09	24-mar-09	22
2	11-mar-09 al 06-abr-09	11-mar-09	06-abr-09	26
3	24-mar-09 al 21-abr-09	24-mar-09	21-abr-09	28
4	06-abr-09 al 30-abr-09	06-abr-09	30-abr-09	24
5	21-abr-09 al 12-may-09	21-abr-09	12-may-09	21
6	20-abr-09 al 26-may-09	30-abr-09	26-may-09	26
7	12-may-09 al 05-jun-09	12-may-09	05-jun-09	24
8	26-may-09 al 17-jun-09	26-may-09	17-jun-09	22
9	05-jun-09 al 03-jul-09	05-jun-09	03-jul-09	28
10	17-jun-09 al 14-jul-09	17-jun-09	14-jul-09	27
11	03-jul-09 al 14-jul-09	03-jul-09	14-jul-09	11

Tabla 10. Fechas correspondientes al pesaje No 1 y al pesaje No 2 - PVC

PERÍODO No	FECHAS	PVC		
		PRIMER PESAJE	SEGUNDO PESAJE	DÍAS DIFERENCIA
0	13-feb-09 al 02-mar-09	x	02-mar-09	17
1	02-mar-09 al 24-mar-09	02-mar-09	24-mar-09	22
2	11-mar-09 al 06-abr-09	11-mar-09	06-abr-09	26
3	24-mar-09 al 21-abr-09	24-mar-09	21-abr-09	28
4	06-abr-09 al 30-abr-09	06-abr-09	30-abr-09	24
5	21-abr-09 al 12-may-09	21-abr-09	12-may-09	21
6	20-abr-09 al 26-may-09	30-abr-09	26-may-09	26
7	12-may-09 al 05-jun-09	12-may-09	05-jun-09	24
8	26-may-09 al 17-jun-09	26-may-09	17-jun-09	22
9	05-jun-09 al 03-jul-09	05-jun-09	03-jul-09	28
10	17-jun-09 al 14-jul-09	17-jun-09	14-jul-09	27
11	03-jul-09 al 14-jul-09	03-jul-09	14-jul-09	11

En las tablas anteriores se muestran los períodos en los cuales se realizó el estudio de la regeneración de la biopelícula para las tuberías de polietileno y PVC. El período 0 corresponde al período en que se inició la recirculación del agua en el montaje hasta que se realizó el primer pesaje, correspondiente al primer testigo. Este período solo es tenido en cuenta para calcular la velocidad inicial de crecimiento de la biopelícula.

El período (2) corresponde al primer período considerado para realizar el análisis de regeneración. El 2 de Marzo se realizó el primer pesaje del testigo No 1, y el 24 de Marzo se realizó el segundo pesaje del mismo testigo luego de haber sido limpiado. Esto

significa que el tiempo considerado para determinar la velocidad de regeneración es de 22 días. El peso de los demás testigos se realizó de la misma manera, obteniendo en total 11 períodos de regeneración.

Tabla 11. Fechas correspondientes al pesaje No 1 y al pesaje No 2 – CCP

PERÍODO No	FECHAS	CCP		
		PRIMER PESAJE	SEGUNDO PESAJE	DÍAS DIFERENCIA
0	13-feb-09 al 11-mar-09	x	11-mar-09	26
1	11-mar-09 al 06-abr-09	11-mar-09	06-abr-09	26
2	06-abr-09 al 12-may-09	06-abr-09	12-may-09	36
3	12-may-09 al 05-jun-09	12-may-09	05-jun-09	24
4	05-jun-09 al 03-jul-09	05-jun-09	03-jul-09	28
5	03-jul-09 al 14-jul-09	03-jul-09	14-jul-09	11

En el caso de la tubería de CCP, el período (0) se tiene en cuenta para realizar el cálculo de la velocidad inicial de crecimiento, y los períodos subsiguientes se tienen en cuenta para realizar el análisis de regeneración.

El período (2) corresponde al primer período considerado para realizar el análisis de regeneración. El 11 de Marzo se realizó el primer pesaje del testigo No 1, y el 6 de Abril se realizó el segundo pesaje del mismo testigo luego de haber sido limpiado. En este caso, el tiempo de regeneración es de 26 días. Como se observa en la tabla, de la tubería de CCP se tienen 5 períodos de regeneración, teniendo en cuenta que se contaba con un menor número de testigos.

Según lo descrito anteriormente, las velocidades iniciales de crecimiento obtenidas para cada una de las tuberías se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Velocidades iniciales de crecimiento

VELOCIDAD DE CRECIMIENTO ($\mu\text{m}/\text{días}$)	
PEAD	3,306
PVC	1,959
CCP	4,164

Estas velocidades se obtuvieron teniendo en cuenta el período (0) de cada una de las tuberías, el cual, como se mencionó anteriormente, comprendía desde el día en que se inició la recirculación del agua en el modelo y el día del primer pesaje del primer testigo.

$$\text{Velocidad de crecimiento} = \frac{\text{espesor final} - \text{espesor inicial}}{\text{No. días período analizado}}$$

De acuerdo con la Tabla 12, durante la fase inicial de crecimiento, la tubería de CCP tuvo la mayor velocidad de crecimiento (4,164 μm) con respecto a la tubería de polietileno (3.306 μm) y a la de PVC (1,959). Teniendo en cuenta que las condiciones hidráulicas para los tres sistemas fueron las mismas para el tiempo de recirculación del sistema, se concluye que las diferencias presentadas entre estos valores corresponden a la influencia que tiene el material en el crecimiento de la biopelícula.

En las siguientes tablas se presentan los datos del espesor de la biopelícula luego de haber removido la misma, la cual tuvo tiempo de desarrollarse en períodos similares.

En la Tabla 13 se muestran los resultados obtenidos luego de realizar el segundo pesaje de cada uno de los testigos de la tubería de polietileno. En la tabla se muestran las fechas en que se realizó el pesaje y el espesor resultante regenerado en cada uno de los testigos.

Tabla 13. Espesores obtenidos en el segundo pesaje – polietileno.

POLIETILENO							
FECHA TOMA No 2	No Testigo	PESO CON BIOPELÍCULA (g)	PESO SIN BIOPELÍCULA (g)	PESO BIOMASA (g)	ÁREA TESTIGO (cm ²)	ESPESOR (µm)	ESPESOR prom (µm)
24-mar-09	1	109,7656	109,6192	0,1464	32,34	45,2690	47,3044
	24	113,8782	113,7138	0,1644	33,32	49,3397	
06-abr-09	2	112,8063	112,6765	0,1298	33,32	38,9556	40,3652
	23	126,6525	126,5174	0,1351	32,34	41,7749	
21-abr-09	3	114,5493	114,4139	0,1354	32,00	42,3125	43,5864
	22	108,5201	108,3691	0,1510	33,66	44,8604	
30-abr-09	4	116,4649	116,3287	0,1362	35,70	38,1513	39,2828
	21	112,8677	112,7370	0,1307	32,34	40,4143	
12-may-09	5	120,9791	120,8611	0,1180	34,30	34,4023	35,0409
	20	117,3095	117,2000	0,1095	30,69	35,6794	
26-may-09	6	120,6601	120,5905	0,0696	34,56	20,1389	22,2243
	19	114,6987	114,6177	0,0810	33,32	24,3097	
05-jun-09	7	117,0094	116,9459	0,0635	34,00	18,6765	20,4168
	18	114,5694	114,5014	0,0680	30,69	22,1571	
17-jun-09	8	112,0038	111,9322	0,0716	31,36	22,8316	24,1398
	17	109,5587	109,4806	0,0781	30,69	25,4480	
03-jul-09	9	109,5471	109,4603	0,0868	33,33	26,0426	27,0903
	16	106,9067	106,8186	0,0881	31,31	28,1380	
14-jul-09	10	113,3235	113,2535	0,0700	32,01	21,8682	23,2740
	15	109,4089	109,3299	0,0790	32,01	24,6798	
14-jul-09	11	115,5893	115,5463	0,0430	33,00	13,0303	15,1364
	14	116,5866	116,5297	0,0569	33,00	17,2424	

Al observar los resultados de la Tabla 13 13, se ve claramente que el máximo valor registrado de regeneración se presentó en el testigo No 1, el cual fue pesado luego de 22 días. De ahí en adelante, el comportamiento de los datos resultantes de espesor regenerado es variable. Esto se debe a factores como el cambio de dosificación de nutrientes, la necesidad de agregar agua potable al sistema, llegada de nuevos microorganismos, entre otros. Adicionalmente, se observa que el máximo valor no sobrepasa a los valores encontrados inicialmente luego de realizar la primera medición de los testigos.

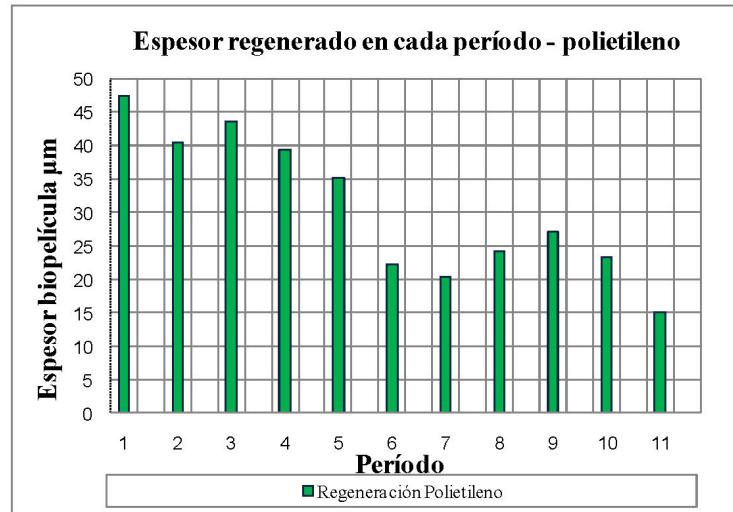


Figura 32. Espesor regenerado por periodos -polietileno

En la Tabla 14 y la Tabla 15, correspondientes a los espesores de regeneración obtenidos en las tuberías de PVC y CCP respectivamente, se observa que los datos resultantes varían a lo largo del tiempo, sin ninguna tendencia fija. Al igual que en la tubería de polietileno, los valores encontrados son menores que los valores hallados inicialmente mediante el primer pesaje. Es necesario aclarar que en el primer pesaje, los valores obtenidos eran acumulados, teniendo en cuenta que cada uno de ellos se extrajo semanalmente con el fin de determinar el comportamiento del crecimiento de la biopelícula a través de todo el tiempo de estudio, mientras que en el segundo pesaje se obtuvo el peso regenerado por períodos. Los resultados del primer pesaje de cada uno de los testigos se muestran en las Tabla 6, 7 y 8, las cuales se analizaron anteriormente.

Tabla 14. Espesores obtenidos en el segundo pesaje – PVC.

FECHA TOMA No 2	No Testigo	PESO CON BIOPELÍCULA (g)	PESO SIN BIOPELÍCULA (g)	PESO BIOMASA (g)	ÁREA TESTIGO (cm ²)	ESPESOR (µm)	ESPESOR prom (µm)
24-mar-09	1	113,7542	113,6663	0,0879	33,32	26,3806	27,6721
	24	114,7753	114,6719	0,1034	35,70	28,9636	
06-abr-09	2	114,6145	114,5345	0,0800	33,32	24,0096	25,1826
	23	117,9206	117,8302	0,0904	34,30	26,3557	
21-abr-09	3	113,4217	113,3138	0,1079	35,00	30,8286	32,0286
	22	116,7693	116,6530	0,1163	35,00	33,2286	
30-abr-09	4	112,8999	112,8040	0,0959	33,00	29,0606	30,1831
	21	118,2484	118,1465	0,1019	32,55	31,3057	
12-may-09	5	114,6797	114,5667	0,1130	34,65	32,6118	33,2916
	20	116,2016	116,0827	0,1189	35,00	33,9714	
26-may-09	6	116,6202	116,5207	0,0995	34,65	28,7157	29,4007
	19	116,7156	116,6103	0,1053	35,00	30,0857	
05-jun-09	7	115,2151	115,1307	0,0844	31,96	26,4080	28,8415
	18	114,7384	114,6366	0,1018	32,55	31,2750	
17-jun-09	8	115,1553	115,0844	0,0709	33,32	21,2785	22,2166
	17	113,8977	113,8199	0,0778	33,60	23,1548	
03-jul-09	9	117,9628	117,9001	0,0627	34,68	18,0796	19,4880
	16	113,0167	112,9421	0,0746	35,70	20,8964	
14-jul-09	10	120,8526	120,7669	0,0857	35,00	24,4857	25,4053
	15	115,0253	114,9349	0,0904	34,34	26,3250	
14-jul-09	11	116,7236	116,6679	0,0557	34,30	16,2391	17,2886
	14	113,8791	113,8162	0,0629	34,30	18,3382	

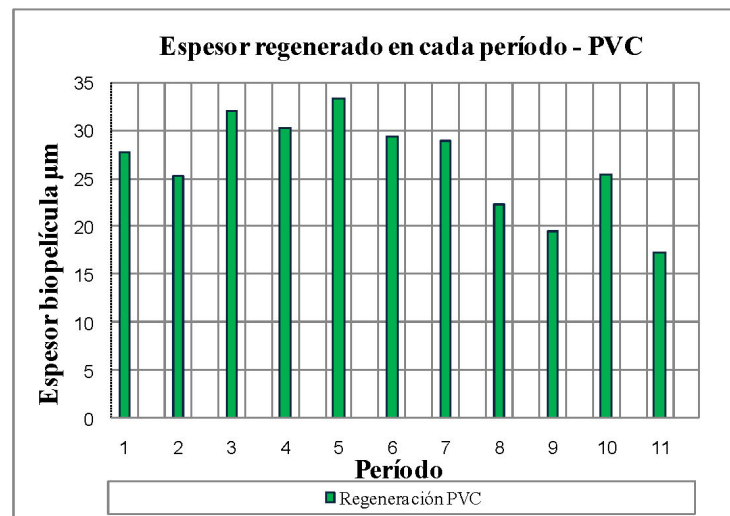


Figura 33. Espesor regenerado por períodos – PVC

Tabla 15. Espesores obtenidos en el segundo pesaje – CCP.

CCP							
FECHA TOMA No 2	No Testigo	PESO CON BIOPELÍCULA (g)	PESO SIN BIOPELÍCULA (g)	PESO BIOMASA (g)	ÁREA TESTIGO (cm ²)	ESPESOR (µm)	ESPESOR prom (µm)
06-abr-09	1	6,5125	3,5897	2,9228	335,0509	87,2345	87,2345
12-may-09	2	5,8557	3,6098	2,2459	335,0509	67,0316	67,0316
05-jun-09	3	5,5998	3,6062	1,9936	335,0509	59,5014	59,5014
03-jul-09	4	4,9698	3,6158	1,3540	335,0509	40,4118	40,4118
14-jul-09	1	4,5536	3,6359	0,9177	335,0509	27,3899	27,3899

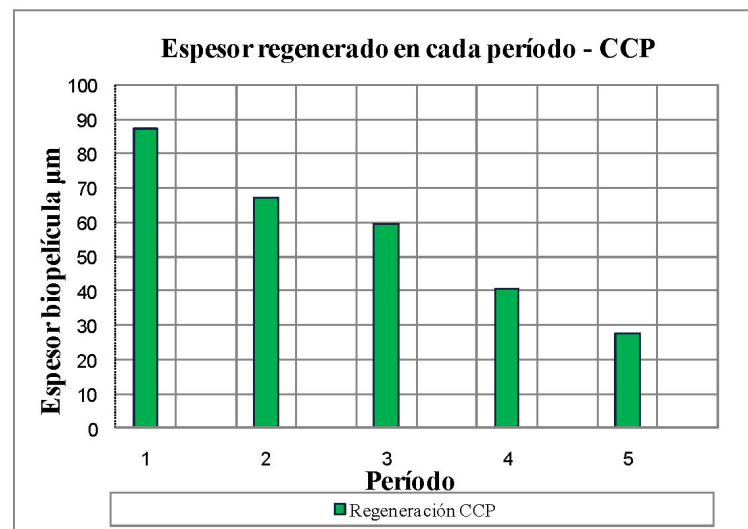


Figura 34. Espesor regenerado por períodos – CCP

Con el fin de determinar la velocidad con la cual se regeneró la biopelícula en cada una de las tuberías, se tomaron los espesores obtenidos luego del segundo pesaje, y se compararon con el peso que tenía el testigo al inicio del período de estudio. Como se definió en la metodología, la velocidad de regeneración se determinó de la siguiente manera:

$$\text{Velocidad de regeneración} = \frac{\text{espesor final} - \text{espesor inicial}}{\text{No. días período analizado}}$$

Teniendo en cuenta que al inicio de cada período de análisis el testigo estaba “limpio”, la velocidad de regeneración es la relación entre el espesor encontrado en el segundo pesaje respecto al tiempo comprendido entre el día en que se pesó inicialmente el testigo (y se “limpió”) y el día de la segunda medición.

Con los datos obtenidos de espesores regenerados y tiempos de regeneración mostrados en las Tablas 13, 14 y 15, se realizó el cálculo de las velocidades de regeneración para cada uno de los testigos de las tres tuberías. En la Tabla 16 y en la Tabla 17 se muestran los valores resultantes:

Tabla 16. Velocidades de regeneración – polietileno y PVC

PAREJA DE TESTIGOS	TESTIGOS QUE LA CONFORMAN	POLETILENO			PVC		
		TIEMPO DE REGENERACIÓN (días)	ESPEJOR BIO (µm)	VELOCIDAD DE REG (µm/días)	TIEMPO DE REGENERACIÓN (días)	ESPEJOR BIO (µm)	VELOCIDAD DE REG (µm/días)
1	1-24	22	47,3044	2,150	22	27,6721	1,258
2	2-23	26	40,3652	1,553	26	25,1826	0,969
3	3-22	28	43,5864	1,557	28	32,0286	1,144
4	4-21	24	39,2828	1,637	24	30,1831	1,258
5	5-20	21	35,0409	1,669	21	33,2916	1,585
6	6-19	26	22,2243	0,855	26	29,4007	1,131
7	7-18	24	20,4168	0,851	24	28,8415	1,202
8	8-17	22	24,1398	1,097	22	22,2166	1,010
9	9-16	28	27,0903	0,968	28	19,4880	0,696
10	10-15	27	23,2740	0,862	27	25,4053	0,941
11	11-14	11	15,1364	1,376	11	17,2886	1,572

Tabla 17. Velocidades de regeneración – CCP

TESTIGOS	CCP		
	TIEMPO DE REGENERACIÓN (días)	ESPESOR BIO (μm)	VELOCIDAD DE REG ($\mu\text{m}/\text{días}$)
1	26	87,2345	3,355
2	36	67,0316	1,862
3	24	59,5014	2,479
4	28	40,4118	1,443
5	11	29,0000	2,636

Los resultados obtenidos de velocidad de regeneración para cada uno de los testigos es muy variable respecto a los demás. La relación no es tan buena teniendo en cuenta que en cada uno de los períodos se presentaron cambios morfológicos causados por la llegada de nuevos microorganismos, el régimen alimenticio y por la necesidad de agregar agua potable al sistema.

Se observa que las velocidades de regeneración de los testigos de la tubería de polietileno varían entre un rango de (2,150 $\mu\text{m}/\text{día}$, 0,851 $\mu\text{m}/\text{día}$), en el PVC entre un rango de (1,585 $\mu\text{m}/\text{día}$, 0,696 $\mu\text{m}/\text{día}$) y en el CCP entre (3,355 $\mu\text{m}/\text{día}$, 1,433 $\mu\text{m}/\text{día}$).

A continuación se muestran los valores resultantes gráficamente:

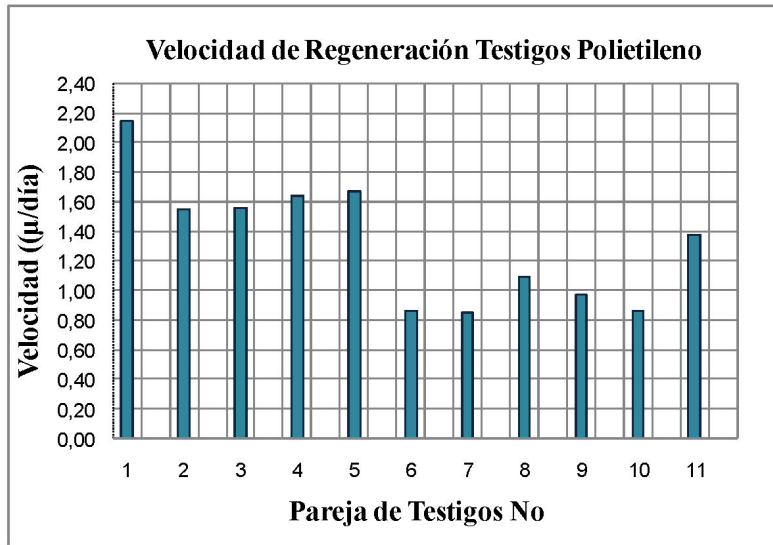


Figura 35. Velocidad de regeneración por pareja de testigos – polietileno

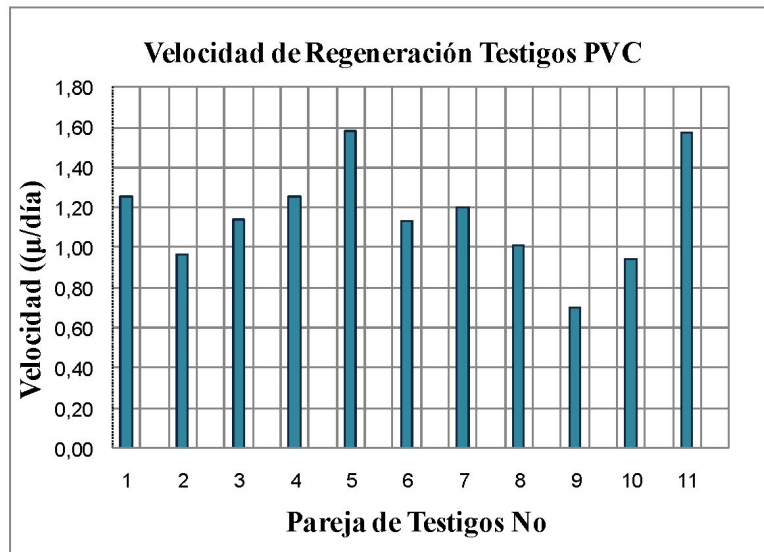


Figura 36. Velocidad de regeneración por pareja de testigos - PVC

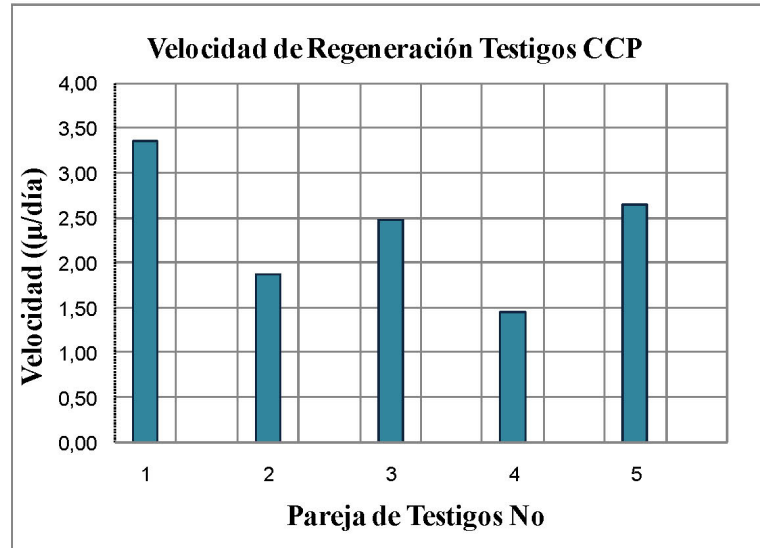


Figura 37. Velocidad de regeneración por pareja de testigos - CCP

En la Tabla 18 se muestran las velocidades promedio de regeneración.

Tabla 18. Velocidades promedio de regeneración

PROMEDIO DE VELOCIDAD DE REGENERACIÓN (μm/días)	
PEAD	1,325
PVC	1,160
CCP	2,355

La velocidad de regeneración promedio de la tubería de CCP es de 2,355 μm/día, mientras que la velocidad promedio de las tuberías de polietileno y PVC es de 1,325 μm/día y 1,160 μm/día respectivamente. A diferencia de las velocidades de crecimiento, se ve una mayor similitud entre los resultados encontrados de velocidades de regeneración para las tres tuberías.

Observando la diferencia de la velocidad de crecimiento y la velocidad de regeneración del testigo No 1, se observa que en los tres casos la velocidad de regeneración es considerablemente menor que la velocidad de crecimiento. Esto pudo deberse a que los períodos en los que se realizó el pesaje inicial y el segundo pesaje del testigo No 1 no son coincidentes, y la morfología de la biopelícula pudo haber cambiado sustancialmente de un período a otro.

Por otro lado, Picnoreau et al (32) plantean que luego de un evento de desprendimiento (que en este caso se realizó manualmente), la biopelícula continua con su proceso de crecimiento pero no alcanza nuevamente la cantidad de biomasa acumulada antes de dicho evento. Los resultados obtenidos del espesor inicial del testigo No 1 y del obtenido luego del período de regeneración comprueban esta teoría.

6.2 Aspectos hidráulicos

Uno de los objetivos de la presente tesis es realizar el estudio de la influencia de la biopelícula en el comportamiento hidráulico de la red, y observar si su crecimiento genera cambios en las pérdidas por fricción y en las pérdidas menores del sistema.

Para calcular las pérdidas por fricción y las pérdidas menores se tuvieron los siguientes datos como constantes:

Tabla 19. Datos constantes de las tuberías

TUBERÍA	Diámetro (m)	Área (m ²)	Longitudes entre piezómetros (m)						
			P1-P2	P2-P3	P4-P5	P5-P6	P6-P7	P8-P9	P9-P10
Polietileno	0,097	0,0074	1,20	1,19	-	-	-	-	-
PVC	0,109	0,0094	-	-	0,57	1,40	1,38	-	-
CCP	0,135	0,0143	-	-	-	-	-	1,58	1,58

Siguiendo las metodologías propuestas anteriormente, y mediante el uso de una hoja electrónica, se procedió a realizar el cálculo de las pérdidas por fricción y menores presentadas para cada día de toma de lectura de piezómetros. Como se ve en el Anexo 4 (correspondiente a las tablas de piezómetros), para cada prueba se varió el caudal en 10 oportunidades, con el fin de obtener diferentes valores de Reynolds, y así poder ubicar los valores resultantes en el diagrama de Moody. De esta manera fue posible conocer la rugosidad relativa de la tubería, permitiendo determinar si ésta se ve afectada a lo largo del estudio por el crecimiento de la biopelícula.

6.2.1 Pérdidas por fricción

Para determinar las pérdidas por fricción se tomaron lecturas de temperatura (al inicio y al final de la prueba), lectura de la lámina de agua del vertedero y lecturas de los piezómetros para cada uno de los caudales. Estos datos se obtuvieron en cada una de las pruebas realizadas en el tiempo de recirculación. En la Figura 38, Figura 39 y Figura 40 se muestran los resultados obtenidos.

Las pruebas de piezómetros iniciaron el día No 18 y finalizaron el día 154. A partir de la fecha de inicio, se realizó una prueba semanalmente. En la Figura 38 se muestran los resultados obtenidos para cada grupo de medición. El primer grupo corresponde a las pruebas realizadas entre el 2 de Marzo y el 27 de Marzo. El segundo grupo corresponde a las pruebas realizadas entre el 2 de Abril y el 29 de Abril. El tercer grupo corresponde a mediciones realizadas entre el 5 de Mayo y el 27 de Mayo. El cuarto grupo corresponde al período comprendido entre el 2 de Junio y el 25 de Junio, y por último, el quinto grupo corresponde a las últimas mediciones realizadas en el período comprendido entre el 3 de Julio y el 16 del mismo mes. La Figura 38, la Figura 39 y la Figura 40 agrupan los datos obtenidos en los períodos mencionados.

En la Figura 38, correspondiente a la tubería de polietileno, se observa que los valores del primer grupo en su gran mayoría se encuentran por debajo de la línea inferior del

diagrama. Esto indica que la rugosidad relacionada para estos valores es prácticamente nula. Sin embargo, es necesario aclarar que posiblemente los valores que se encuentran por debajo de la línea inferior no son coherentes con los valores iniciales, teniendo en cuenta que el k_s inicial de la tubería de polietileno es aproximadamente de 1.2×10^{-5} m, correspondiente a un k_s/d igual a 1.23×10^{-4} . En el diagrama de Moody se observa que algunos de los puntos se encuentran por debajo de la línea de 1.00×10^{-6} , valor inferior al inicial. Para el primer grupo, los valores de f se encuentran en un rango que va desde 0.018 hasta 0.024 aproximadamente. Los datos del segundo grupo se sitúan en su mayoría por encima del diagrama de Moody. En este caso los valores de f se encuentran en un rango que va desde 0.019 hasta 0.024, lo cual indica que la rugosidad absoluta de la tubería está aumentando, producto del crecimiento de la biopelícula. Los valores de f del tercer y cuarto grupo siguen ascendiendo en el diagrama de Moody, en un rango comprendido entre 0.020 y 0.025, y por último, los valores de f del último grupo se encuentran en un rango que va desde 0.021 hasta 0.025. En este punto se obtuvo valor de k_s aproximado de 5.93×10^{-5} m y un k_s/d igual a 6.12×10^{-4} , lo cual indica que la rugosidad absoluta se incrementó en un valor aproximado de 4.73×10^{-5} m y la rugosidad relativa en un valor de 4.89×10^{-4} (respecto al valor comercial inicial), y un valor aproximado de 5.93×10^{-5} m para el k_s y de 6.12×10^{-4} (respecto al valor inicial registrado).

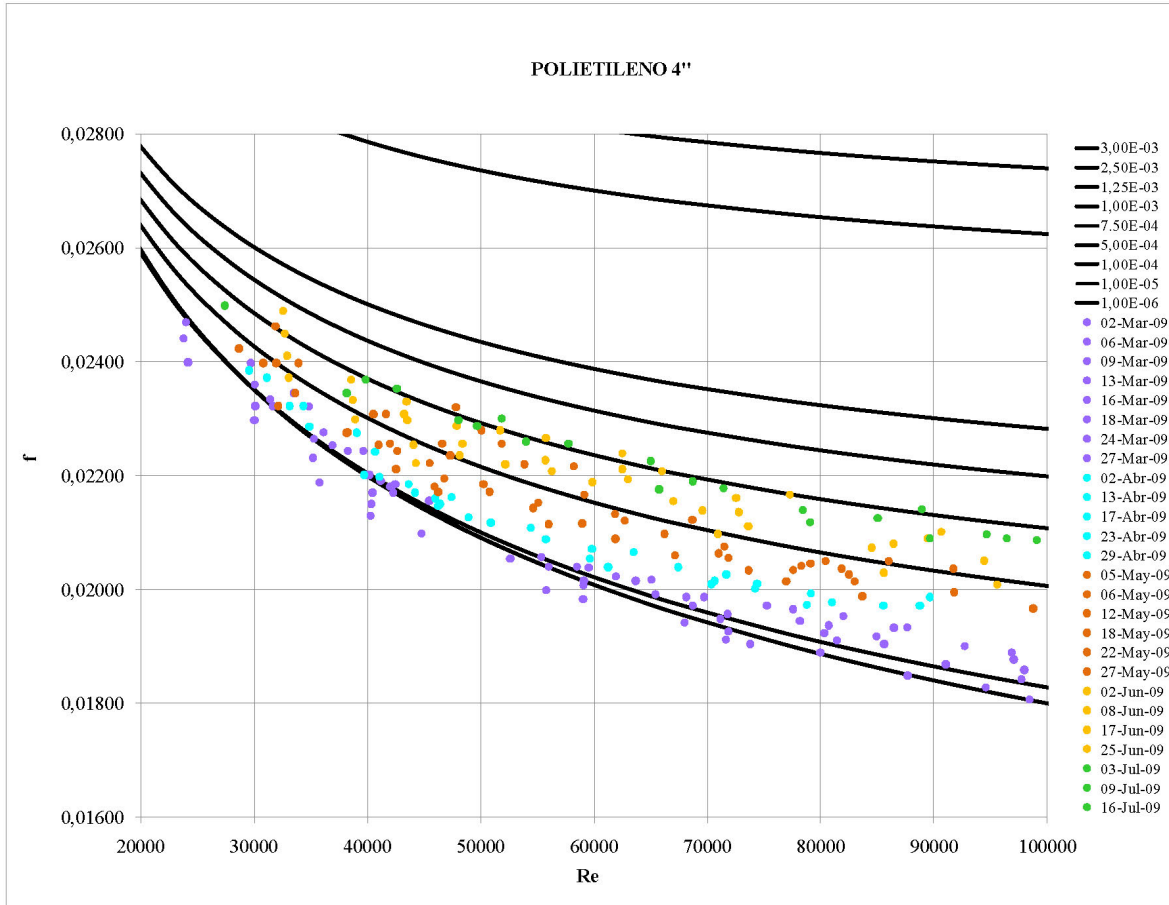


Figura 38. Factor de fricción vs número de Reynolds. Tubería de polietileno.

En la Figura 39 , correspondiente a la tubería de PVC, se observa que, al igual que en la tubería de polietileno, los valores del primer grupo en su gran mayoría se encuentran por debajo de la línea inferior del diagrama. Nuevamente se observa que la rugosidad relacionada para estos valores es prácticamente nula, y se aclara que los valores que se encuentran por debajo de la línea inferior posiblemente no son coherentes con los valores iniciales, teniendo en cuenta que el k_s inicial de la tubería de PVC es aproximadamente de 1.5×10^{-6} m, correspondiente a un k_s/d igual a 1.37×10^{-5} , y éstos se encuentran por debajo de la línea de k_s/d igual a 1.00×10^{-6} .

Para el primer grupo, los valores de f se encuentran en un rango que va desde 0.017 hasta 0.024 aproximadamente. Los datos del segundo grupo se sitúan en su mayoría por encima del diagrama de Moody. En este caso los valores de f se encuentran en un rango que va desde 0.019 hasta 0.024, lo cual indica que la rugosidad absoluta de la tubería está aumentando, producto del crecimiento de la biopelícula. Los valores de f del tercer y cuarto grupo siguen ascendiendo en el diagrama de Moody, en un rango comprendido entre 0.020 y 0.025, y por último, los valores de f del último grupo se encuentran en un rango que va desde 0.021 hasta 0.025. Comparando el comportamiento de los grupos de la tubería de PVC a través del tiempo con los de la tubería de polietileno, se observa un comportamiento similar.

Al final de las mediciones, se obtuvo valor de k_s aproximado de 5.59×10^{-5} m y un k_s/d igual a 5.12×10^{-4} , lo cual indica que la rugosidad absoluta se incrementó en un valor aproximado de 5.44×10^{-5} m y la rugosidad relativa en un valor de 4.98×10^{-4} (respecto al valor comercial inicial), y un valor aproximado de 5.59×10^{-5} m para el k_s y de 5.12×10^{-4} para el k_s/d (respecto al valor inicial registrado).

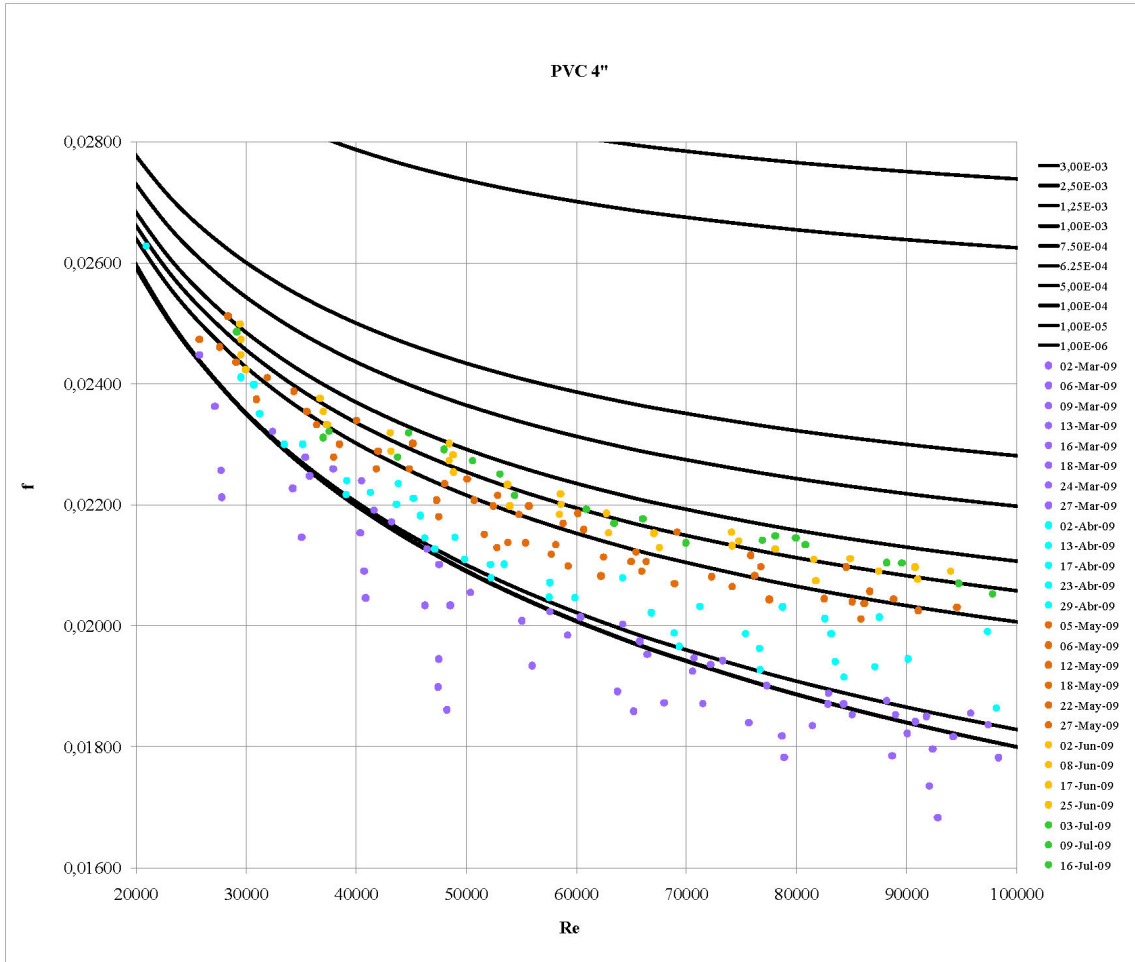


Figura 39. Factor de fricción vs número de Reynolds. Tubería de PVC

En la Figura 40, correspondiente a la tubería de CCP, se observa que todos los valores registrados de f se sitúan por encima del diagrama de Moody. Los valores del primer grupo en su gran mayoría se encuentran sobre la línea del ks/d igual a 1.00×10^{-3} , lo cual es coherente teniendo en cuenta que el valor de ks/d comercial es de aproximadamente 1.00×10^{-3} (este valor depende de cada fabricante).

Para el primer grupo, los valores de f se encuentran en un rango que va desde 0.020 hasta 0.025 aproximadamente. En el segundo grupo, los valores de f se encuentran en un rango que va desde 0.021 hasta 0.026. Los valores de f del tercer y cuarto grupo siguen

ascendiendo en el diagrama de Moody, en un rango comprendido entre 0.023 y 0.027, y por último, los valores de f del último grupo se encuentran en un rango que va desde 0.024 hasta 0.028.

Al final de las mediciones, se obtuvo valor de k_s aproximado de 2.89×10^{-4} m y un k_s/d igual a 2.14×10^{-3} , lo cual indica que la rugosidad absoluta se incrementó en un valor aproximado de $1,39 \times 10^{-4}$ m y la rugosidad relativa en un valor de 1.04×10^{-3} (respecto al valor comercial inicial), y un valor aproximado de 1.80×10^{-4} m para el k_s y de 1.33×10^{-3} para el k_s/d (respecto al valor inicial registrado).

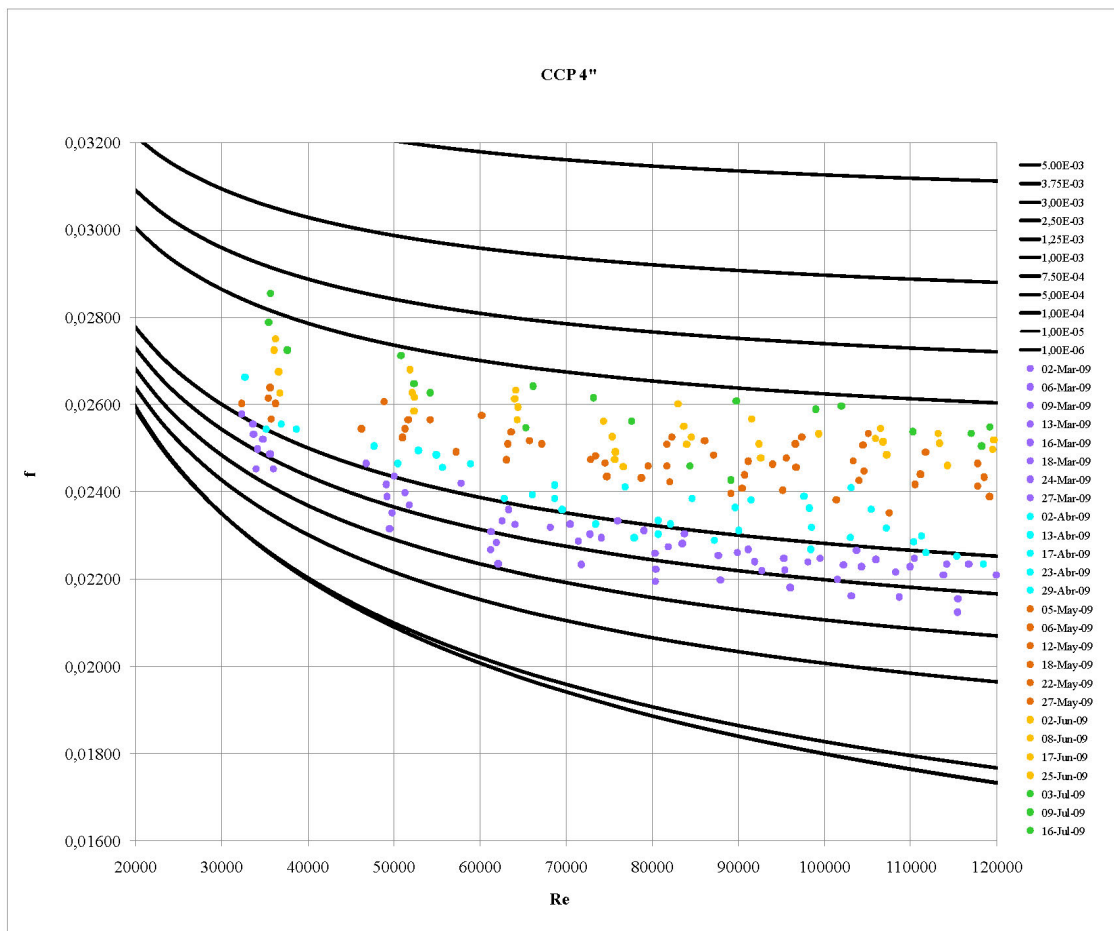


Figura 40. Factor de fricción vs número de Reynolds. Tubería de CCP

Comparando los resultados obtenidos para cada una de las tuberías, se concluye que el aumento del factor de fricción f de la tubería de CCP fue mayor que el incremento del f de la tubería de polietileno, y ésta a su vez presentó una mayor variación que la tubería de PVC.

6.2.2 Comparación con la Subcapa Laminar Viscosa

A continuación se realiza la comparación entre el espesor de la biopelícula obtenida en los testigos de centro y los valores de k_s encontrados vs. el espesor de la subcapa laminar viscosa para cada una de las tuberías

Para realizar el cálculo de la subcapa laminar viscosa se tomaron los valores correspondientes a la velocidad de recirculación diaria. Para ello, regularmente se tomaron lectura de los piezómetros para el caudal de recirculación. Con los datos de temperatura, lectura de piezómetros y altura de la lámina de agua en el vertedero fue posible determinar el espesor de la subcapa laminar viscosa. En los Anexos 2 y 3 (correspondiente a datos recirculación y velocidades de recirculación), se encuentran los resultados obtenidos luego de realizar cada una de las mediciones anteriores.

En la Figura 31 se muestran los espesores de biopelícula obtenidos en los testigos de centro, la rugosidad absoluta y el espesor de la subcapa laminar viscosa correspondiente a la tubería de polietileno. En la gráfica se observa que tanto el espesor de la biopelícula (línea verde) como la rugosidad (línea azul), se encuentran por debajo de la línea roja, correspondiente al $0.305 \delta'$. Lo anterior indica que el flujo se comporta como hidráulicamente liso durante todo el tiempo de estudio. Adicionalmente, observa que el comportamiento de la línea correspondiente al espesor de la biopelícula y la línea correspondiente a la rugosidad tienen una tendencia similar.

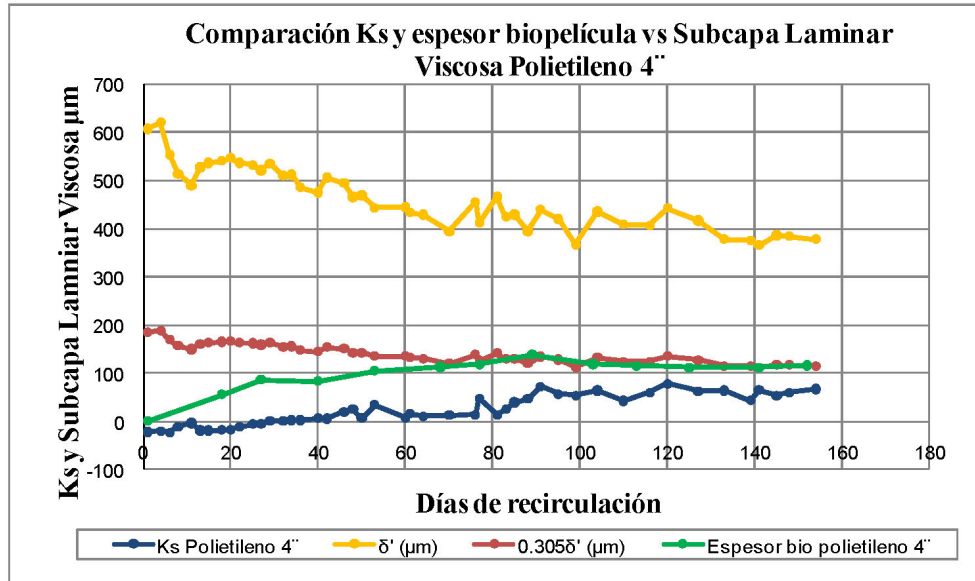


Figura 41. Comparación de espesores de biopelícula en testigos de centro, k_s y espesor de la subcapa laminar viscosa para el polietileno.

En la Figura 42 se muestran los espesores de biopelícula obtenidos en los testigos de centro, la rugosidad absoluta y el espesor de la subcapa laminar viscosa correspondientes a la tubería de PVC. En la gráfica se observa que, al igual que en la tubería de polietileno, tanto el espesor de la biopelícula (línea verde) como la rugosidad (línea azul), se encuentran por debajo de la línea roja, correspondiente al $0.305\delta'$. Lo anterior indica que el flujo se comporta como hidráulicamente liso durante todo el tiempo de estudio. Al comparar el comportamiento de estas curvas, se ve un crecimiento más uniforme que en la tubería de polietileno, y las curvas se asemejan un poco más.

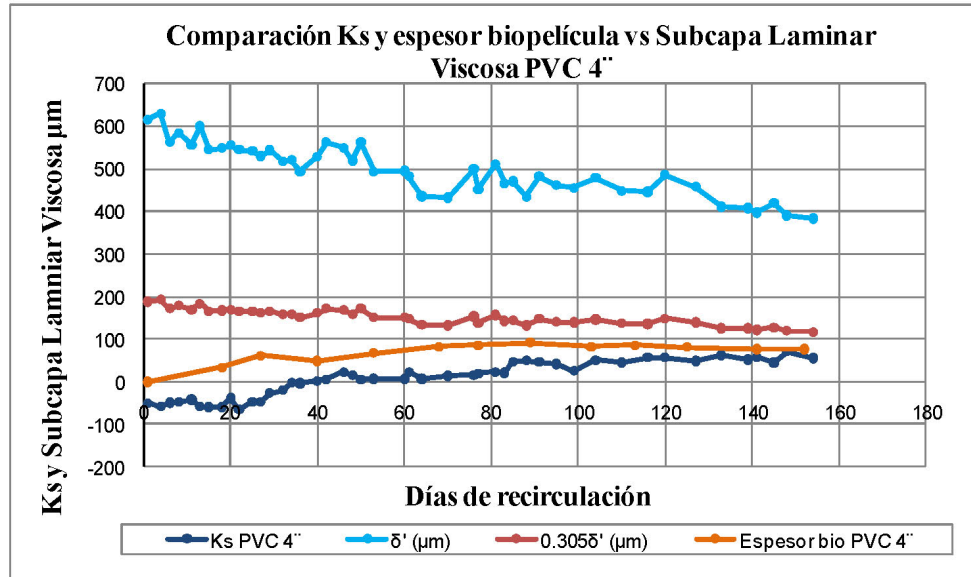


Figura 42. Comparación de espesores de biopelícula en testigos de centro, ks y espesor de la subcapa laminar viscosa para el PVC.

En la Figura 43 se muestran los obtenidos en la tubería de CCP. En esta se observa que tanto la rugosidad, como el espesor de la biopelícula sobrepasan la línea correspondiente al $0.305 \delta'$. En la tabla anexa y en la Figura 43 se observa que la línea de la rugosidad sobrepasa a la línea roja a partir del día 34, y sigue creciendo progresivamente hasta acercarse a la subcapa laminar viscosa. A partir del día 34, el flujo pasa de ser hidráulicamente liso a flujo en transición. El espesor de la biopelícula sobrepasa al $0.305 \delta'$ el día 53. Comparando el crecimiento de las dos curvas (rugosidad y espesor de biopelícula), se observa que estas tienen un comportamiento similar. A pesar del incremento progresivo de la rugosidad en la tubería, esta es considerablemente menor que el espesor de la subcapa laminar viscosa.

En ninguno de los tres casos se observó que tanto la rugosidad como el espesor de la biopelícula sobrepasaran el espesor de la subcapa laminar viscosa, lo cual reafirma que el máximo espesor que puede alcanzar la biopelícula está determinado por ésta.

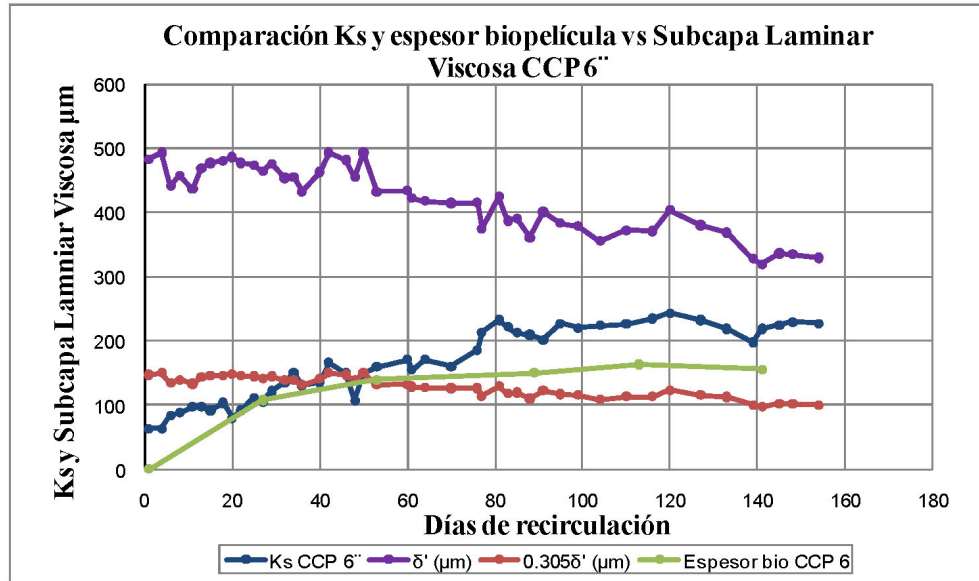


Figura 43. Comparación de espesores de biopelícula en testigos de centro, ks y espesor de la subcapa laminar viscosa para el CCP.

6.2.3 Pérdidas menores

El análisis de pérdidas menores se realizó con el fin de determinar si el crecimiento de la biopelícula en la unión modificaba el valor inicial. Este análisis se realizó únicamente en la tubería de PVC (Figura 44), teniendo en cuenta que en las otras tuberías no fué necesario instalar ningún accesorio.

Para realizar la medición de las pérdidas menores, se instaló un piezómetro antes de la unión (piezómetro No 4) y otro inmediatamente después (piezómetro No 5). La diferencia de alturas entre estos piezómetros dió como resultado el valor de h_m para cada caudal empleado, y con este valor se obtuvo el valor del coeficiente de pérdidas menores k_m .

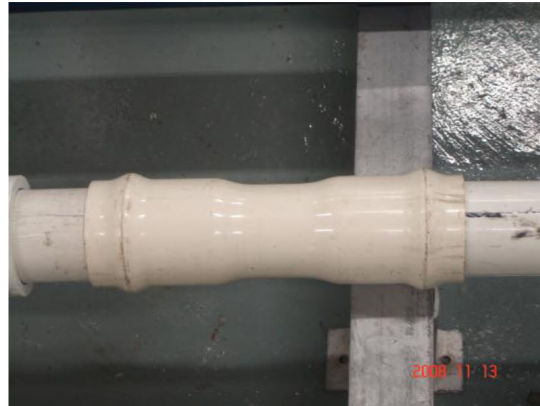


Figura 44. Unión tubería de PVC

En la Figura 45 se muestran los valores obtenidos de k_m vs los valores de Reynolds para cada una de las pruebas realizadas.

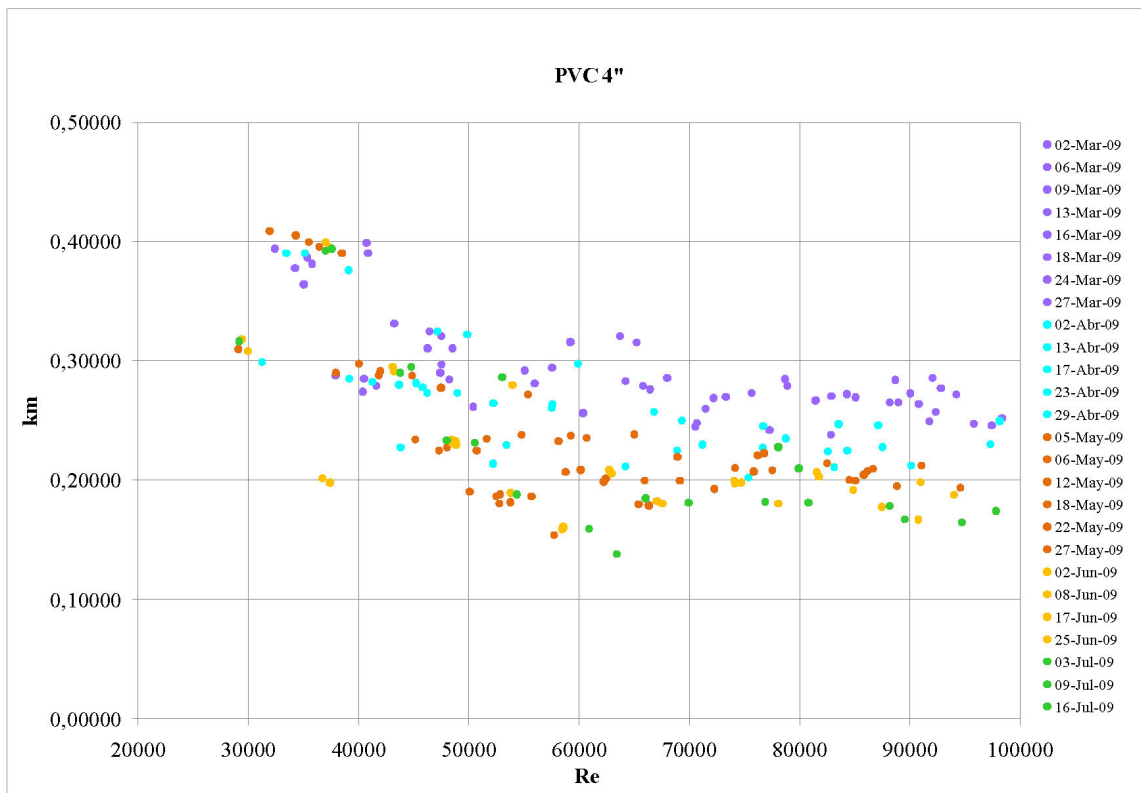


Figura 45. Coeficiente de pérdidas menores de la unión de PVC vs número de Reynolds.

Los resultados en la Figura 45 se encuentran agrupados según el período de medición. En el primer grupo, los valores de k_m se encuentran en un rango que va desde 0.40 hasta 0.25 aproximadamente. En el segundo grupo, los valores de k_m se encuentran en un rango que va desde 0.35 hasta 0.22. Los valores de k_m del tercer y cuarto grupo se encuentran en un rango comprendido entre 0.30 y 0.20, y por último, los valores de k_m del último grupo se encuentran en un rango que va desde 0.25 hasta 0.20.

En la gráfica se puede observar el comportamiento descendente del coeficiente de pérdidas menores a lo largo del tiempo. Esta disminución se presenta a medida que la biopelícula crece en el sistema. La razón por la cual el coeficiente de pérdidas menores disminuye es que la biopelícula llena progresivamente los espacios que existen entre la unión y la tubería, volviendo más uniforme la superficie interna.

7 CONCLUSIONES

Las conclusiones de la presente tesis se presentan de acuerdo con la forma como se mostraron los resultados en el desarrollo de la misma:

7.1 Modelo Físico y desarrollo de las pruebas

- El modelo físico desarrollado en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de los Andes fue el apropiado, teniendo en cuenta que en él se pudieron llevar a cabo las pruebas necesarias para obtener los datos requeridos para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

7.2 Suministro de nutrientes

- La frecuencia y cantidad de nutrientes empleados inicialmente (25 g de sacarosa y 21g de DAP), produjeron un rápido desarrollo de la biopelícula. Teniendo en cuenta que era necesario evitar en lo posible la degradación de la calidad de agua, se cambió el régimen de suministro de nutrientes (10 g de sacarosa y 10 g de DAP), obteniendo condiciones similares de calidad del agua a las iniciales.
- Claramente se observa una reducción o incremento en el crecimiento de la biopelícula cuando los nutrientes se limitan en cantidad y frecuencia. Los resultados de la presente investigación están fuertemente relacionados con la cantidad y la calidad de los nutrientes empleados.

7.3 Aspectos microbiológicos

- Teniendo en cuenta que las condiciones ambientales e hidráulicas en las que se desarrolló la presente tesis fueron las mismas, se concluye que las diferencias de

espesor obtenidas en los tres materiales son consecuencia directa del material de la tubería.

- En los testigos de borde, la tendencia del crecimiento de la biopelícula fue ascendente, y su comportamiento fue similar para todo el tiempo de estudio.
- La tendencia del crecimiento de la biopelícula en los testigos de borde y testigos de centro para cada una de las tuberías es similar. En la mayoría de las curvas de crecimiento obtenidas se observa un comportamiento similar del crecimiento y disminución del espesor de la biopelícula. Sin embargo, el crecimiento de la biopelícula en los testigos de centro es significativamente mayor que en los testigos de borde. Esto pudo ser resultado de las condiciones hidráulicas que se presentaron en cada una de las zonas o a la manipulación que se le dió a cada uno de los testigos.
- Observando los resultados obtenidos del crecimiento de biopelículas en los tres materiales seleccionados, se concluye que los tres tienen un comportamiento similar, lo cual demuestra que la principal diferencia se presentó en las primeras etapas de crecimiento.
- La colonización de los microorganismos fue mayor en la tubería de CCP, polietileno y PVC respectivamente.
- Los pesos registrados a lo largo del tiempo de estudio indican que la poca rugosidad inicial de las tuberías de polietileno y PVC, aunque no impiden que las bacterias se adhieran a la tubería, si contribuyen a que exista una menor posibilidad de colonización. En el caso de la tubería de CCP, es posible que se genere mayor cantidad de biopelícula por las cavidades e irregularidades que presenta el material, en donde pueden albergarse las bacterias con mayor facilidad, favoreciendo el crecimiento de la misma.

- Mediante la comparación de los espesores obtenidos de biopelícula en las tres tuberías con el espesor de la subcapa laminar viscosa (la cual se calculó para la velocidad de recirculación), se encontró que el espesor de la biopelícula no sobrepasó el espesor de la subcapa laminar viscosa en todo el tiempo de estudio. A pesar de los cambios registrados, en los tres casos el espesor de la biopelícula tendió a recuperarse, acercándose al espesor de la subcapa laminar viscosa.
- Los valores obtenidos de espesor de biopelícula de cada uno de los testigos luego de la remoción manual para los períodos considerados, no presentan una tendencia clara. Esto se debe a que en cada uno de los períodos analizados se presentaron cambios morfológicos causados por la llegada de nuevos microorganismos, cambios en el régimen alimenticio o por la inclusión de agua potable al sistema.
- La tasa de crecimiento de la biopelícula durante el primer período fue mayor en la tubería de CCP, polietileno y PVC respectivamente. Los resultados obtenidos de tasa de regeneración se comportan de la misma manera. Sin embargo, con el paso del tiempo se observó que la diferencia de velocidad de regeneración obtenida en las tres tuberías es menor respecto a la diferencia obtenida de los valores iniciales de crecimiento.
- Los resultados obtenidos en los análisis microbiológicos fueron mayores a los encontrados en investigaciones anteriores, en donde el recuento de bacterias aerobias mesófilas fue $> 10^5$ UFC, y el recuento de hongos y levaduras fue $> 10^3$ UFC.
- Es necesario aclarar que los resultados se obtuvieron a partir de mediciones desarrolladas en un montaje cuyas condiciones son particulares, y no reflejan exactamente la realidad de los sistemas de distribución de agua potable.

7.4 Aspectos hidráulicos

- En general se observó que el incremento del espesor de la biopelícula generó el aumento del factor de fricción de las tuberías.
- El factor de fricción en todas las tuberías tuvo períodos de ascensos y períodos de estabilización. En el primer caso, los ascensos se dieron por el crecimiento de la biopelículas, y en el segundo caso por la llegada de nuevos microorganismos ó por la inclusión de agua potable al sistema.
- El aumento del factor de fricción f fue mayor en la tubería de CCP que en la tubería de polietileno y la de PVC respectivamente.
- A pesar del crecimiento de biopelícula en el sistema, en las tuberías de polietileno y PVC el flujo siempre se comportó como hidráulicamente liso, teniendo en cuenta que tanto el espesor de la biopelícula como la rugosidad absoluta de la tubería se situaron muy por debajo de la subcapa laminar viscosa. En el caso de la tubería de CCP el flujo pasó de ser hidráulicamente liso a transición a partir del día 34. Sin embargo, tanto el espesor como la rugosidad absoluta de la tubería siguieron siendo menores que el espesor de la subcapa laminar viscosa.
- Entre más biopelícula se forme en las tuberías del sistema, mayores son las pérdidas de energía, afectando el funcionamiento técnico y económico del mismo.
- El coeficiente de pérdidas menores de la unión de PVC presentó una clara tendencia de reducción a medida que pasaban los días de recirculación, y por ende aumentaba el crecimiento de la biopelícula.
- A pesar de que la biopelícula redujo el coeficiente de pérdidas menores de la unión de PVC, no es recomendable su formación teniendo en cuenta los efectos negativos que se le han atribuido a su crecimiento.



8 RECOMENDACIONES

- Para tesis futuras se recomienda mantener los tanques tapados con el fin de evitar la inclusión de cualquier elemento a los mismos, y evitar en lo posible su contaminación.

9 BIBLIOGRAFÍA

1. **Vargas Gamarra, Andrea.** 2005. “Influencia de los materiales de las tuberías en el crecimiento de biopelículas en las redes de distribución de agua a presión”. Universidad de los Andes.
2. **Saldarriaga J.G.** 2003. Hidráulica de tuberías. Editorial McGrawHill. Bogotá.
3. **Reyes del Toro, Paula.** 2005. “Comportamiento de biopelículas luego de lavados sucesivos en tuberías de agua a presión”. Universidad de los Andes.
4. **Gelves G, Mario Fernando.** 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”. Universidad de los Andes.
5. **Latorre Sánchez, Rubén Mauricio.** 2004. “Efecto hidráulico de las biopelículas en tuberías de agua potable”. Universidad de los Andes.
6. **Vargas Gamarra, Andrea.** 2004. “Factores que favorecen el desarrollo y el crecimiento de biopelículas en las tuberías de los sistemas de distribución de agua potable”. Universidad de los Andes.
7. **Echeverría, María Angélica.** 2003. “Influencia del crecimiento de biopelículas sobre la rugosidad absoluta en tuberías presurizadas”. Universidad de los Andes.
8. **Aray Villalba, Angela María.** 2002. “Biopelículas en redes de distribución de agua potable: estado del arte”. Universidad de los Andes.
9. www.erc.montana.edu. The Center for Biofilm Engineering.
10. www.biofilm.org. The biofilm Institute

11. www.edstrom.com. Research – biofilms
12. **Uzcudun**. 2003 I. Biofilms Bacterianos. Actualidad (SEM). Universidad pública de Navarra. Pág.14-18.
13. **Doggett M.S.** 2000. “Characterization of Fungal Biofilms within a Municipal Water Distribution System”. Applied and Environmental Microbiology. Vol 66, No 3, Pág. 1239-1251.
14. **Codony F, Morato J., Ribas F. y Mas J.** 2002. “Effect of Chlorine, Biodegradable Dissolved Organic Carbon and Suspended Bacteria on Biofilm Development in Drinking Water Systems”. Journal basic Microbiology Vol 42, No 5. Pág 311-319.
15. **Momba MNB, Kfir R, SN. Venter, TE. Cloete.** 2000. “An overview of biofilm formation in distribution system and its impact on the deterioration of water quality”. University of Pretoria, South Africa. Water SA. Vol 26 No 1.
16. **Dreeszen, Paula H.** 2003. The key to understanding and controlling bacterial growth in Automated Drinking Water Systems. Second edition.
17. **Pierra, G.** 2003. Estudio del biofilm: Formación y consecuencias. <http://magno.uab.es/epsi/alimentaria/biofilm.pdf>.
18. **Morató, J.** Formación de biofilm en las redes de acueducto. Memorias V encuentro nacional de estudiantes de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Medellín. 2005.
19. **Rogers J., Dowsett A.B., Dennis P.J., Lee J.V y Keevil C.W.** 1994. “Influence of Plumbing Material on Biofilm Formation and Growth of Legionella Pneumophila in Potable Water Systems”. Applied and Environmental Microbiology. Vol 60. No 6. Pág. 1842-1851.

20. **Niquette P., Servais P. y Savoir R. 2001.** “Bacterial Dynamics in the Drinking Water Distribution System of Brussels”. *Water Research*. Vol 35, No 2. Pág 675-682.
21. **Berry, D; Xi, C: Raskin, L.** Microbial ecology of drinking water distribution systems. *Environmental Biotechnology*. Vol 17. Pág 1-6.
22. **Morató, J.** 2001. Tesis doctoral: “Formación de biopelículas y riesgo sanitario en sistemas de distribución de agua”. Universidad Autónoma de Barcelona.
23. **Storey, M.V; Ashbolt, N.J.** 2002 “A comparison of methods and models for the analysis of water distribution pipe biofilms”. *Water Science and Technology; Water Supply*. Vol 2 No 4. Pág 73-80.
24. **Pedersen K.** 1990. “Biofilm Development on Stainless Steel and PVC Surfaces in Drinking Water”. *Water Research*. Vol 24, pág 239-243.
25. **Kuhn I., Allestam G., Huys G., Janssen P., Kersters K., Krovacek K. y Stenstrom T.** 1997. “Diversity, Persistence and virulence of Anemonas Strains Isolated from Drinking Water Distribution Systems in Sweden”. *Applied and Environmental Microbiology*. Vol 63. No 7. Pág 2708 – 2715.
26. **Piriou Ph., Dukan S., Levi Y y Jarriage P.A.** 1997. “Prevention of Bacterial Growth in Drinking Water Distribution Systems”. *Water Science and Technology* Vol 35, No 11-12, Pág 283-287.
27. **J. Wingender; H.-C. Flemming.** 2004. “Contamination potential of drinking water distribution network biofilms”. *Water science and technology*. Vol 49. No 11-12.
28. **Muñoz, L.F.** “Velocidad de desprendimiento de las biopelículas en tuberías de distribución de agua potable”. Universidad de los Andes.

- 29. LeChevallier M.W., Welch N. y Smith D.** 1996. “Full-scale Studies of Factors Related to Coliform Regrowth in Drinking Water”. Applied and Environmental Microbiology. Vol 62, No 7, Pág 2201 – 2211.
- 30. Rogers J., Dowsett A.B., Dennis P.J., Lee J.V y Keevil C.W.** 1994. “Influence of Temperature and Plumbing Material Selection on Biofilm Formation and Growth of Legionella Pneumophila in a Model Potable Water Systems Containing Complex Microbial Flora”. Applied and Environmental Microbiology. Vol 60. No 5. Pág. 1585-1592.
- 31. Herrera Maria T.** El papel del biofilm en el proceso infeccioso y la resistencia. Nova – publicación científica. Vol 2 No 2. Pag 71–81. 2004.
- 32. Picioreanu C, Van Loosdrecht M, Heijnen J.J.** 2001. Two-Dimensional Model of Biofilm Detachment Caused by Internal Stress from Liquid Flow. Biotechnology and Bioengineering. Vol 72. No 2. Pág. 205-218.

10 ANEXOS

A continuación se muestran los siguientes anexos:

- Anexo 1. Datos de curvas de calibración de los vertederos: En este anexo se muestran los datos obtenidos para cada uno de los vertederos triangulares, con los cuales se obtuvieron las curvas de calibración de cada uno de ellos.
- Anexo 2. Datos de recirculación: En este anexo se muestran los datos obtenidos de las pruebas de piezómetros correspondientes a la velocidad de recirculación.
- Anexo 3. Velocidades de recirculación de las tuberías del modelo físico: En este anexo se muestran las pérdidas por fricción obtenidas a lo largo del tiempo de estudio para la velocidad de recirculación.
- Anexo 4. Pruebas de piezómetros: En este anexo se muestran las pruebas de piezómetros realizadas durante todo el tiempo de estudio.
- Anexo 5. Cálculo de la subcapa laminar viscosa con base en la velocidad de recirculación; comparación con el espesor de la biopelícula: En este anexo se muestran los datos con los cuales se realizó el cálculo de la subcapa laminar viscosa, y se realiza su comparación con el espesor de la biopelícula.
- Anexo 6. Cálculo de la subcapa laminar con base en la velocidad de recirculación; comparación con el espesor de la biopelícula y la rugosidad absoluta: En este anexo se muestran los datos con los cuales se realizó el cálculo de la subcapa laminar viscosa, y se realiza su comparación con el espesor de la biopelícula y con la rugosidad absoluta de cada una de las tuberías.
- Anexo 7. Registro fotográfico: Este anexo muestra imágenes obtenidas durante las etapas de construcción del montaje y realización de las pruebas.



-
- Anexo 8. Resultados pruebas de calidad de agua: Se adjunta el informe de resultados de laboratorio de calidad de agua realizados a la muestra obtenida del montaje de recirculación.
- Anexo 9. Resultado de análisis microbiológico: Se adjunta el informe de resultados del análisis microbiológico realizado a los testigos de centro seleccionados.
- Anexo 10. Cronograma: Se adjunta el cronograma de actividades realizadas durante el tiempo de estudio.



Anexo 1. Datos y curvas de calibración de los vertederos

MODELO 2: VERTEDERO # 1

Ho= 11,96 cm

VOLUMEN (L)	TIEMPO (s)	Q (L/s)	H _L (cm)	H=H _L -Ho (cm)	Q prom (L/s)
16	71,56	0,2236	15,310	3,350	0,219
16	73,18	0,2186			
16	74,26	0,2155			
16	42,61	0,3755	16,190	4,230	0,375
16	42,43	0,3771			
16	42,95	0,3725			
16	24,60	0,6504	17,350	5,390	0,648
16	24,67	0,6486			
16	24,75	0,6465			
16	17,85	0,8964	18,120	6,160	0,903
16	17,44	0,9174			
16	17,88	0,8949			
16	11,31	1,4147	19,310	7,350	1,413
16	11,34	1,4109			
16	11,32	1,4134			
16	7,48	2,1390	20,830	8,870	2,185
16	7,25	2,2069			
16	7,24	2,2099			
64	21,62	2,9602	21,920	9,960	2,951
64	21,86	2,9277			
64	21,58	2,9657			
64	18,46	3,4670	22,700	10,740	3,493
64	18,15	3,5262			
64	18,36	3,4858			
64	15,02	4,2610	23,620	11,660	4,271
64	14,84	4,3127			
64	15,10	4,2384			
64	12,44	5,1447	24,530	12,570	5,174
64	12,28	5,2117			
64	12,39	5,1655			
64	12,27	5,2160	25,070	13,110	5,547
64	11,10	5,7658			
64	11,31	5,6587			
64	9,40	6,8085	26,030	14,070	6,900
64	9,26	6,9114			
64	9,17	6,9793			
64	8,19	7,8144	26,890	14,930	7,863
64	7,87	8,1321			
64	8,09	7,9110			
64	7,60	8,4211	27,270	15,310	8,436
64	7,59	8,4321			
64	7,57	8,4544			

MODELO 2: VERTEDERO # 2					
Ho=	11,77 cm				
VOLUMEN (L)	TIEMPO (s)	Q (L/s)	H_L (cm)	H=H_L-Ho (cm)	Q_{prom} (m³/s)
16	57,06	0,2804	15,45	3,68	0,282
16	56,63	0,2825			
16	56,57	0,2828			
16	31,24	0,5122	16,59	4,82	0,505
16	31,84	0,5025			
16	31,94	0,5009			
16	15,50	1,0323	18,42	6,65	1,038
16	15,33	1,0437			
16	15,43	1,0369			
16	8,50	1,8824	20,3	8,53	1,904
16	8,41	1,9025			
16	8,30	1,9277			
16	5,20	3,0769	21,99	10,22	3,089
16	5,14	3,1128			
16	5,20	3,0769			
64	15,96	4,0100	23,34	11,57	4,035
64	15,91	4,0226			
64	15,72	4,0712			
64	12,60	5,0794	24,5	12,73	5,082
64	12,63	5,0673			
64	12,55	5,0996			
64	10,28	6,2257	25,59	13,82	6,238
64	10,30	6,2136			
64	10,20	6,2745			
64	8,82	7,2562	26,41	14,64	7,243
64	8,88	7,2072			
64	8,81	7,2645			
64	7,28	8,7912	27,52	15,75	8,791
64	7,30	8,7671			
64	7,26	8,8154			
64	6,18	10,3560	28,6	16,83	10,246
64	6,32	10,1266			
64	6,24	10,2564			
64	5,18	12,3552	29,58	17,81	12,391
64	5,19	12,3314			
64	5,14	12,4514			

MODELO 2: VERTEDERO # 3

H₀= 12,19 cm

VOLUMEN	TIEMPO	Q (L/s)	H _L (cm)	H=H _L -H ₀ (cm)	Q _{prom} (L/s)
16	22,21	0,7204	17,99	5,8	0,713
16	22,32	0,7168			
16	22,78	0,7024			
16	13,76	1,1628	19,28	7,09	1,187
16	13,18	1,2140			
16	13,50	1,1852			
16	9,51	1,6824	20,4	8,21	1,702
16	9,23	1,7335			
16	9,46	1,6913			
16	6,51	2,4578	21,93	9,74	2,522
16	6,32	2,5316			
16	6,21	2,5765			
16	4,77	3,3543	23,26	11,07	3,508
16	4,36	3,6697			
16	4,57	3,5011			
64	14,31	4,4724	24,49	12,3	4,486
64	14,21	4,5039			
64	14,28	4,4818			
64	11,60	5,5172	25,39	13,2	5,467
64	11,79	5,4283			
64	11,73	5,4561			
64	9,44	6,7797	26,34	14,15	6,639
64	9,66	6,6253			
64	9,83	6,5107			
64	8,02	7,9800	27,55	15,36	8,041
64	7,96	8,0402			
64	7,90	8,1013			
64	6,31	10,1426	28,75	16,56	9,826
64	6,61	9,6823			
64	6,63	9,6531			
64	5,52	11,5942	29,78	17,59	11,512
64	5,53	11,5732			
64	5,63	11,3677			
64	4,16	15,3846	30,7	18,51	13,445
64	4,76	13,4454			
64	4,76	13,4454			
64	4,07	15,7248	31,71	19,52	15,610
64	4,12	15,5340			
64	4,11	15,5718			
64	3,42	18,7135	32,79	20,6	18,411
64	3,51	18,2336			
64	3,50	18,2857			



Universidad de
los Andes

Universidad de los Andes

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados - CIACUA

Efecto de los materiales de las tuberías en la generación de biopelículas en redes de distribución de agua potable.

MIC 2009-I-5



Anexo 2. Datos recirculación

MATERIAL		FECHA	13-feb-09	16-feb-09	18-feb-09	20-feb-09	23-feb-09	25-feb-09	27-feb-09	02-mar-09	04-mar-09	
POLIETILENO		T°C	18,5	17,6	22,5	20,8	23,0	19,7	19,0	18,7	18,2	
		γ (m2/s)	1,04E-06	1,07E-06	9,52E-07	9,89E-07	9,42E-07	1,01E-06	1,03E-06	1,04E-06	1,05E-06	
		H	21,74	21,72	21,80	22,26	22,26	22,28	22,27	22,26	22,25	
	L1(m)=	1,20	Q(l/s)	2,81	2,79	2,85	3,18	3,18	3,20	3,19	3,18	3,17
	L2(m)=	1,19	Q(m3/s)	0,0028	0,0028	0,0028	0,0032	0,0032	0,0032	0,0032	0,0032	0,0032
	Ho (cm)=	11,96	v(m/s)	0,38	0,38	0,39	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
	Q = 0.0115*H^2.4109		Re	35373	34441	39333	42283	44393	41422	40653	40270	39697
	D (m)=	0,0968	p1 (cm)	61,90	61,90	61,90	62,70	62,70	62,70	62,70	62,70	62,70
	A (m²)=	0,0074	p2 (cm)	61,70	61,70	61,80	62,40	62,40	62,40	62,40	62,40	62,40
			p3 (cm)	61,50	61,50	61,50	62,20	62,20	62,20	62,20	62,20	62,20
			hf1 (cm)	0,20	0,20	0,10	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
			hf2 (cm)	0,20	0,20	0,30	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
			hf (m)	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
			f	0,0219	0,0221	0,0212	0,0213	0,0213	0,0211	0,0212	0,0213	0,0214
			ks (m)	-2,20E-05	-2,00E-05	-2,34E-05	-1,07E-05	-3,85E-06	-1,93E-05	-1,94E-05	-1,80E-05	-1,73E-05
PVC		T°C	18,5	17,6	22,5	20,8	23,0	19,7	19,0	18,7	18,2	
		γ (m2/s)	1,04E-06	1,07E-06	9,52E-07	9,89E-07	9,42E-07	1,01E-06	1,03E-06	1,04E-06	1,05E-06	
		H	23,04	23,06	23,11	23,07	23,08	23,10	23,74	23,73	23,60	
	L1(m)=	1,40	Q(l/s)	3,66	3,68	3,72	3,69	3,69	3,71	4,23	4,22	4,12
	L2(m)=	1,38	Q(m3/s)	0,0037	0,0037	0,0037	0,0037	0,0037	0,0037	0,0042	0,0042	0,0041
	Ho (cm)=	11,77	v(m/s)	0,39	0,39	0,40	0,39	0,39	0,40	0,45	0,45	0,44
	Q = 0.011*H^2.398		Re	40909	40198	45494	43436	45699	42622	47834	47400	45624
	D (m)=	0,1093	p5 (cm)	64,70	64,70	64,80	64,70	64,70	64,80	65,40	65,40	65,10
	A (m²)=	0,0094	p6 (cm)	64,50	64,50	64,60	64,50	64,50	64,60	65,20	65,10	64,80
			p7 (cm)	64,30	64,30	64,40	64,30	64,30	64,40	64,90	64,90	64,60
			hf1 (cm)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30
			hf2 (cm)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,30	0,20	0,20
			hf (m)	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005
			f	0,0202	0,0200	0,0196	0,0199	0,0199	0,0197	0,0189	0,0190	0,0200
			ks (m)	-5,11E-05	-5,91E-05	-4,99E-05	-4,83E-05	-4,24E-05	-5,84E-05	-6,01E-05	-5,96E-05	-3,85E-05
CCP		T°C	18,5	17,6	22,5	20,8	23,0	19,7	19,0	18,7	18,2	
		γ (m2/s)	1,04E-06	1,07E-06	9,52E-07	9,89E-07	9,42E-07	1,01E-06	1,03E-06	1,04E-06	1,05E-06	
		H	26,49	26,48	26,46	26,43	26,42	26,39	26,40	26,36	26,43	
	L1(m)=	1,58	Q(l/s)	6,90	6,89	6,86	6,83	6,81	6,78	6,79	6,74	6,83
	L2(m)=	1,58	Q(m3/s)	0,0069	0,0069	0,0069	0,0068	0,0068	0,0068	0,0068	0,0067	0,0068
	Ho (cm)=	12,19	v(m/s)	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,47	0,47	0,47	0,48
	Q = 0.008*H^2.541		Re	62350	60899	67953	65082	68206	63006	62092	61211	61245
	D (m)=	0,1350	p8 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	A (m²)=	0,0143	p9 (cm)	66,80	66,80	66,70	66,60	66,60	66,50	66,50	66,70	66,60
			p10 (cm)	66,50	66,50	66,40	66,30	66,30	66,20	66,20	66,40	66,30
			hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			hf2 (cm)	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
			hf (m)	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
			f	0,0216	0,0217	0,0219	0,0221	0,0222	0,0224	0,0224	0,0227	0,0221
			ks (m)	6,35E-05	6,33E-05	8,39E-05	8,79E-05	9,71E-05	9,69E-05	9,16E-05	1,03E-04	7,98E-05

MATERIAL		06-mar-09	09-mar-09	11-mar-09	13-mar-09	16-mar-09	18-mar-09	20-mar-09	24-mar-09	26-mar-09	
POLIETILENO	T°C	19,0	19,3	20,2	19,1	21,2	21,0	23,4	20,3	17,7	
	γ (m2/s)	1,03E-06	1,02E-06	1,00E-06	1,03E-06	9,80E-07	9,85E-07	9,34E-07	1,00E-06	1,07E-06	
	H	22,24	22,22	22,23	22,19	22,22	22,21	22,24	22,63	22,60	
	Q(l/s)	3,17	3,15	3,16	3,13	3,15	3,14	3,17	3,46	3,44	
	Q(m3/s)	0,0032	0,0032	0,0032	0,0031	0,0032	0,0031	0,0032	0,0035	0,0034	
	v(m/s)	0,43	0,43	0,43	0,42	0,43	0,43	0,43	0,47	0,47	
	Re	40368	40464	41416	39991	42269	41980	44567	45464	42461	
	p1 (cm)	62,80	62,80	62,90	62,60	62,70	62,90	62,90	63,50	63,40	
	p2 (cm)	62,60	62,50	62,60	62,40	62,20	62,70	62,60	63,30	63,10	
	p3 (cm)	62,30	62,30	62,40	62,10	62,20	62,40	62,40	62,90	62,80	
	hf1 (cm)	0,20	0,30	0,30	0,20	0,50	0,20	0,30	0,20	0,30	
	hf2 (cm)	0,30	0,20	0,20	0,30	0,00	0,30	0,20	0,40	0,30	
	hf (m)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006	
	f	0,0215	0,0217	0,0216	0,0220	0,0217	0,0218	0,0215	0,0216	0,0219	
	ks (m)	-1,19E-05	-5,58E-06	-5,11E-06	1,88E-06	8,32E-07	2,86E-06	2,38E-06	6,80E-06	5,96E-06	
	PVC	T°C	19,0	19,3	20,2	19,1	21,2	21,0	23,4	20,3	17,7
		γ (m2/s)	1,03E-06	1,02E-06	1,00E-06	1,03E-06	9,80E-07	9,85E-07	9,34E-07	1,00E-06	1,07E-06
H		23,78	23,67	23,69	23,56	23,56	23,48	23,52	23,45	23,40	
Q(l/s)		4,27	4,17	4,19	4,08	4,08	4,02	4,05	3,99	3,95	
Q(m3/s)		0,0043	0,0042	0,0042	0,0041	0,0041	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	
v(m/s)		0,46	0,45	0,45	0,44	0,44	0,43	0,43	0,43	0,42	
Re		48218	47500	48700	46236	48526	47526	50512	46435	43216	
p5 (cm)		65,20	65,40	65,20	65,10	65,00	65,00	65,00	64,90	64,90	
p6 (cm)		65,10	65,20	65,00	64,90	64,70	64,80	64,70	64,60	64,60	
p7 (cm)		64,70	64,90	64,70	64,60	64,50	64,50	64,50	64,40	64,40	
hf1 (cm)		0,10	0,20	0,20	0,20	0,30	0,20	0,30	0,30	0,30	
hf2 (cm)		0,40	0,30	0,30	0,30	0,20	0,30	0,20	0,20	0,20	
hf (m)		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	
f		0,0186	0,0195	0,0193	0,0203	0,0203	0,0210	0,0207	0,0213	0,0217	
ks (m)		-6,62E-05	-4,74E-05	-4,77E-05	-2,71E-05	-1,99E-05	-2,96E-06	-4,50E-06	1,69E-06	4,91E-06	
CCP		T°C	19,0	19,3	20,2	19,1	21,2	21,0	23,4	20,3	17,7
		γ (m2/s)	1,03E-06	1,02E-06	1,00E-06	1,03E-06	9,80E-07	9,85E-07	9,34E-07	1,00E-06	1,07E-06
	H	26,40	26,34	26,37	26,31	26,29	26,25	26,32	26,28	26,18	
	Q(l/s)	6,79	6,72	6,75	6,68	6,66	6,61	6,69	6,64	6,53	
	Q(m3/s)	0,0068	0,0067	0,0068	0,0067	0,0067	0,0066	0,0067	0,0066	0,0065	
	v(m/s)	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,46	0,47	0,46	0,46	
	Re	62092	61863	63511	61242	64044	63297	67574	62564	57773	
	p8 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	p9 (cm)	66,70	66,50	66,50	66,60	66,60	66,60	66,40	66,60	66,50	
	p10 (cm)	66,40	66,20	66,20	66,30	66,30	66,30	66,10	66,30	66,20	
	hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	hf2 (cm)	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	
	hf (m)	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	
	f	0,0224	0,0228	0,0226	0,0231	0,0233	0,0236	0,0230	0,0233	0,0242	
	ks (m)	9,16E-05	1,12E-04	1,05E-04	1,22E-04	1,35E-04	1,49E-04	1,30E-04	1,36E-04	1,66E-04	

MATERIAL		FECHA	30-mar-09	01-abr-09	03-abr-09	06-abr-09	13-abr-09	14-abr-09	17-abr-09	23-abr-09	29-abr-09
POLIETILENO		T°C	18,6	21,1	20,9	23,4	23,3	24,5	25,0	25,4	18,8
		γ (m2/s)	1,04E-06	9,83E-07	9,87E-07	9,34E-07	9,37E-07	9,13E-07	9,03E-07	8,97E-07	1,04E-06
		H	22,56	22,57	22,64	22,56	22,66	22,64	22,67	23,05	22,97
	L1(m)= 1,20	Q(l/s)	3,41	3,42	3,47	3,41	3,49	3,47	3,49	3,80	3,74
	L2(m)= 1,19	Q(m3/s)	0,0034	0,0034	0,0035	0,0034	0,0035	0,0035	0,0035	0,0038	0,0037
	Ho (cm)= 11,96	v(m/s)	0,46	0,46	0,47	0,46	0,47	0,47	0,47	0,52	0,51
	Q = 0.0115*H^2.4109	Re	43053	45726	46247	47985	48926	50014	50880	55743	47403
	D (m)= 0,0968	p1 (cm)	63,10	63,20	63,40	63,20	63,50	63,50	63,70	64,00	64,00
	A (m²)= 0,0074	p2 (cm)	62,80	62,90	63,30	62,90	63,20	63,20	63,60	63,60	63,60
		p3 (cm)	62,50	62,60	62,80	62,60	62,90	62,90	63,10	63,30	63,30
		hf1 (cm)	0,30	0,30	0,10	0,30	0,30	0,30	0,10	0,40	0,40
		hf2 (cm)	0,30	0,30	0,50	0,30	0,30	0,30	0,50	0,30	0,30
		hf (m)	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,007
		f	0,0223	0,0222	0,0215	0,0223	0,0213	0,0215	0,0212	0,0209	0,0216
		ks (m)	2,00E-05	2,51E-05	6,30E-06	3,44E-05	8,14E-06	1,63E-05	1,03E-05	1,30E-05	1,41E-05
	PVC		T°C	18,6	21,1	17,7	23,4	23,3	24,5	25,0	25,4
		γ (m2/s)	1,04E-06	9,83E-07	1,07E-06	9,34E-07	9,37E-07	9,13E-07	9,03E-07	8,97E-07	1,04E-06
		H	23,35	23,41	23,40	23,47	23,47	23,42	24,00	23,97	23,88
L1(m)= 1,40		Q(l/s)	3,91	3,96	3,95	4,01	4,01	3,97	4,46	4,43	4,35
L2(m)= 1,38		Q(m3/s)	0,0039	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0040	0,0045	0,0044	0,0044
Ho (cm)= 11,77		v(m/s)	0,42	0,42	0,42	0,43	0,43	0,42	0,48	0,47	0,46
Q = 0.011*H^2.398		Re	43764	46953	43216	49998	49837	50653	57507	57584	48954
D (m)= 0,1093		p5 (cm)	64,90	64,90	64,90	64,70	64,90	64,90	65,70	65,70	65,50
A (m²)= 0,0094		p6 (cm)	64,60	64,70	64,60	64,40	64,70	64,60	65,40	65,40	65,20
		p7 (cm)	64,40	64,40	64,40	64,20	64,40	64,40	65,10	65,10	64,90
		hf1 (cm)	0,30	0,20	0,30	0,30	0,20	0,30	0,30	0,30	0,30
		hf2 (cm)	0,20	0,30	0,20	0,20	0,30	0,20	0,30	0,30	0,30
		hf (m)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006
		f	0,0222	0,0216	0,0217	0,0211	0,0211	0,0215	0,0205	0,0207	0,0215
		ks (m)	2,22E-05	1,46E-05	4,91E-06	6,93E-06	6,48E-06	2,25E-05	6,69E-06	1,38E-05	1,54E-05
CCP			T°C	18,6	21,1	17,7	23,4	23,3	24,5	25,0	25,4
		γ (m2/s)	1,04E-06	9,83E-07	1,07E-06	9,34E-07	9,37E-07	9,13E-07	9,03E-07	8,97E-07	1,04E-06
		H	26,23	26,37	26,22	26,24	26,21	26,26	26,22	26,25	27,00
	L1(m)= 1,58	Q(l/s)	6,58	6,75	6,57	6,60	6,56	6,62	6,57	6,61	7,54
	L2(m)= 1,58	Q(m3/s)	0,0066	0,0068	0,0066	0,0066	0,0066	0,0066	0,0066	0,0066	0,0075
	Ho (cm)= 12,19	v(m/s)	0,46	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,53
	Q = 0.008*H^2.541	Re	59652	64825	58194	66606	66032	68422	68639	69513	68646
	D (m)= 0,1350	p8 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	A (m²)= 0,0143	p9 (cm)	66,40	66,50	66,60	66,40	66,60	66,40	66,60	66,50	67,70
		p10 (cm)	66,10	66,20	66,30	66,10	66,30	66,10	66,30	66,20	67,30
		hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		hf2 (cm)	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,40
		hf (m)	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004
		f	0,0238	0,0226	0,0238	0,0237	0,0239	0,0235	0,0238	0,0236	0,0242
		ks (m)	1,49E-04	1,07E-04	1,50E-04	1,59E-04	1,71E-04	1,55E-04	1,71E-04	1,61E-04	1,86E-04

MATERIAL		30-abr-09	04-may-09	06-may-09	08-may-09	11-may-09	14-may-09	18-may-09	22-may-09	27-may-09
POLIETILENO	T°C	23,3	17,9	21,9	21,4	25,2	20,3	22,4	22,9	20,7
	γ (m2/s)	9,36E-07	1,06E-06	9,65E-07	9,76E-07	9,00E-07	1,00E-06	9,56E-07	9,45E-07	9,91E-07
	H	22,89	22,96	22,96	22,90	22,91	22,78	22,85	23,50	22,81
	Q(l/s)	3,67	3,73	3,73	3,68	3,69	3,58	3,64	4,18	3,61
	Q(m3/s)	0,0037	0,0037	0,0037	0,0037	0,0037	0,0036	0,0036	0,0042	0,0036
	v(m/s)	0,50	0,51	0,51	0,50	0,50	0,49	0,49	0,57	0,49
	Re	51556	46232	50783	49563	53839	47075	50060	58200	47825
	p1 (cm)	63,70	64,00	64,00	64,00	64,00	63,70	63,90	64,70	63,80
	p2 (cm)	63,30	63,60	63,60	63,70	63,60	63,30	63,50	64,20	63,50
	p3 (cm)	63,00	63,30	63,30	63,30	63,30	63,00	63,20	63,80	63,10
	hf1 (cm)	0,40	0,40	0,40	0,30	0,40	0,40	0,40	0,50	0,30
	hf2 (cm)	0,30	0,30	0,30	0,40	0,30	0,30	0,30	0,40	0,40
	hf (m)	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,009	0,007
	f	0,0224	0,0217	0,0217	0,0223	0,0222	0,0235	0,0228	0,0222	0,0232
	ks (m)	4,73E-05	1,36E-05	2,54E-05	3,97E-05	4,63E-05	7,26E-05	5,64E-05	5,35E-05	6,41E-05
	PVC	T°C	23,3	17,9	21,9	21,4	25,2	20,3	22,4	22,9
γ (m2/s)		9,36E-07	1,06E-06	9,65E-07	9,76E-07	9,00E-07	1,00E-06	9,56E-07	9,45E-07	9,91E-07
H		23,92	23,84	23,90	23,79	23,82	23,78	23,82	23,89	23,77
Q(l/s)		4,39	4,32	4,37	4,28	4,30	4,27	4,30	4,36	4,26
Q(m3/s)		0,0044	0,0043	0,0044	0,0043	0,0043	0,0043	0,0043	0,0044	0,0043
v(m/s)		0,47	0,46	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,47	0,45
Re		54617	47471	52767	51056	55671	49700	52453	53770	50056
p5 (cm)		65,60	65,40	65,60	65,40	65,60	65,40	65,60	65,70	65,40
p6 (cm)		65,30	65,10	65,30	65,10	65,40	65,00	65,50	65,30	65,10
p7 (cm)		65,00	64,80	65,00	64,80	65,00	64,80	65,00	65,10	64,80
hf1 (cm)		0,30	0,30	0,30	0,30	0,20	0,40	0,10	0,40	0,30
hf2 (cm)		0,30	0,30	0,30	0,30	0,40	0,20	0,50	0,20	0,30
hf (m)		0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
f		0,0211	0,0218	0,0213	0,0222	0,0220	0,0223	0,0220	0,0214	0,0224
ks (m)		1,95E-05	2,22E-05	2,03E-05	4,70E-05	4,91E-05	4,64E-05	4,16E-05	2,53E-05	5,05E-05
CCP		T°C	23,3	17,9	21,9	21,4	25,2	20,3	22,4	22,9
	γ (m2/s)	9,36E-07	1,06E-06	9,65E-07	9,76E-07	9,00E-07	1,00E-06	9,56E-07	9,45E-07	9,91E-07
	H	26,96	26,88	26,93	26,95	26,98	26,97	26,92	26,94	27,61
	Q(l/s)	7,49	7,39	7,45	7,48	7,52	7,50	7,44	7,46	8,36
	Q(m3/s)	0,0075	0,0074	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0074	0,0075	0,0084
	v(m/s)	0,52	0,52	0,52	0,52	0,53	0,52	0,52	0,52	0,58
	Re	75463	65724	72818	72261	78729	70726	73417	74477	79492
	p8 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	p9 (cm)	67,70	67,50	67,70	67,70	67,70	67,70	67,40	67,50	68,10
	p10 (cm)	67,30	67,10	67,30	67,30	67,30	67,30	67,00	67,10	67,60
	hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	hf2 (cm)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,50
	hf (m)	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005
	f	0,0245	0,0252	0,0247	0,0246	0,0243	0,0244	0,0248	0,0247	0,0246
	ks (m)	2,13E-04	2,33E-04	2,22E-04	2,13E-04	2,09E-04	2,02E-04	2,27E-04	2,20E-04	2,24E-04

MATERIAL	FECHA	02-jun-09	08-jun-09	12-jun-09	19-jun-09	25-jun-09	01-jul-09	03-jul-09	07-jul-09	10-jul-09	16-jul-09
POLIETILENO L1(m)= 1,20 L2(m)= 1,19 Ho (cm)= 11,96 Q = 0.0115*H^2.4109 D (m)= 0,0968 A (m²)= 0,0074	T°C	23,7	23,9	20,0	22,7	24,1	24,4	25,7	23,2	23,4	24,2
	γ (m2/s)	9,29E-07	9,25E-07	1,01E-06	9,48E-07	9,20E-07	9,15E-07	8,90E-07	9,38E-07	9,34E-07	9,18E-07
	H	22,91	22,85	22,76	22,83	23,17	23,25	23,18	23,20	23,18	23,16
	Q(l/s)	3,69	3,64	3,57	3,62	3,90	3,97	3,91	3,93	3,91	3,89
	Q(m3/s)	0,0037	0,0036	0,0036	0,0036	0,0039	0,0040	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039
	v(m/s)	0,50	0,49	0,48	0,49	0,53	0,54	0,53	0,53	0,53	0,53
	Re	52172	51705	46543	50221	55738	57061	57744	55034	55034	55736
	p1 (cm)	63,80	63,70	62,50	63,70	64,10	64,50	64,20	64,40	64,20	64,30
	p2 (cm)	63,50	63,40	62,10	63,30	63,80	64,10	63,90	63,90	64,00	64,00
	p3 (cm)	63,10	63,00	61,80	63,00	63,30	63,70	63,40	63,60	63,40	63,50
	hf1 (cm)	0,30	0,30	0,40	0,40	0,30	0,40	0,30	0,50	0,20	0,30
	hf2 (cm)	0,40	0,40	0,30	0,30	0,50	0,40	0,50	0,30	0,60	0,50
	hf (m)	0,007	0,007	0,007	0,007	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008
	f	0,0222	0,0228	0,0237	0,0230	0,0227	0,0219	0,0226	0,0224	0,0226	0,0228
	ks (m)	4,27E-05	6,01E-05	7,85E-05	6,33E-05	6,41E-05	4,36E-05	6,48E-05	5,38E-05	5,97E-05	6,71E-05
	PVC L1(m)= 1,40 L2(m)= 1,38 Ho (cm)= 11,77 Q = 0.011*H^2.398 D (m)= 0,1093 A (m²)= 0,0094	T°C	23,7	23,9	20,0	22,7	24,1	24,4	25,7	23,2	23,4
γ (m2/s)		9,29E-07	9,25E-07	1,01E-06	9,48E-07	9,20E-07	9,15E-07	8,90E-07	9,38E-07	9,34E-07	9,18E-07
H		23,82	23,78	23,74	23,80	24,19	24,23	24,22	24,25	24,53	24,60
Q(l/s)		4,30	4,27	4,23	4,28	4,62	4,66	4,65	4,68	4,93	5,00
Q(m3/s)		0,0043	0,0043	0,0042	0,0043	0,0046	0,0047	0,0047	0,0047	0,0049	0,0050
v(m/s)		0,46	0,46	0,45	0,46	0,49	0,50	0,50	0,50	0,53	0,53
Re		53947	53747	48965	52645	58561	59388	60889	58117	61556	63438
p5 (cm)		65,50	64,70	65,30	65,30	66,50	66,20	66,60	66,20	67,00	67,30
p6 (cm)		65,20	64,30	65,00	65,00	66,30	65,90	66,30	65,90	66,60	67,00
p7 (cm)		64,90	64,10	64,70	64,70	65,80	65,50	65,90	65,50	66,20	66,50
hf1 (cm)		0,30	0,40	0,30	0,30	0,20	0,30	0,30	0,30	0,40	0,30
hf2 (cm)		0,30	0,20	0,30	0,30	0,50	0,40	0,40	0,40	0,40	0,50
hf (m)		0,006	0,006	0,006	0,006	0,007	0,007	0,007	0,007	0,008	0,008
f		0,0220	0,0223	0,0227	0,0222	0,0222	0,0218	0,0219	0,0217	0,0223	0,0217
ks (m)		4,52E-05	5,66E-05	5,70E-05	4,80E-05	6,18E-05	5,22E-05	5,78E-05	4,43E-05	7,05E-05	5,48E-05
CCP L1(m)= 1,58 L2(m)= 1,58 Ho (cm)= 12,19 Q = 0.008*H^2.541 D (m)= 0,1350 A (m²)= 0,0143		T°C	23,7	23,9	20,0	22,7	24,1	24,4	25,7	23,2	23,4
	γ (m2/s)	9,29E-07	9,25E-07	1,01E-06	9,48E-07	9,20E-07	9,15E-07	8,90E-07	9,38E-07	9,34E-07	9,18E-07
	H	26,93	26,91	26,87	26,91	26,95	27,70	27,65	27,62	27,61	27,62
	Q(l/s)	7,45	7,43	7,37	7,43	7,48	8,48	8,41	8,37	8,36	8,37
	Q(m3/s)	0,0075	0,0074	0,0074	0,0074	0,0075	0,0085	0,0084	0,0084	0,0084	0,0084
	v(m/s)	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,59	0,59	0,58	0,58	0,58
	Re	75638	75698	69038	73852	76626	87461	89110	84148	84370	85957
	p8 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	p9 (cm)	67,20	67,50	67,50	67,50	67,10	68,70	67,90	68,60	67,80	68,60
	p10 (cm)	66,80	67,10	67,10	67,10	66,70	68,20	67,40	68,10	67,30	68,10
	hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	hf2 (cm)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	hf (m)	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	f	0,0247	0,0249	0,0253	0,0249	0,0246	0,0239	0,0243	0,0245	0,0246	0,0245
	ks (m)	2,26E-04	2,35E-04	2,43E-04	2,32E-04	2,19E-04	1,98E-04	2,19E-04	2,25E-04	2,29E-04	2,27E-04



Anexo 3. Velocidades de Recirculación de las tuberías del modelo físico

VERTEDERO No 1 POLIETILENO					
Ho=		11,96 cm		Q = 0.0115*H ^{2.4109}	
FECHA	DÍA	NIVEL (cm)	CAUDAL (L/s)	VELOCIDAD (m/s)	Hf (m)
13-feb-09	1	21,74	2,81	0,38	0,0040
16-feb-09	4	21,72	2,79	0,38	0,0040
18-feb-09	6	21,80	2,85	0,39	0,0040
20-feb-09	8	22,26	3,18	0,43	0,0050
23-feb-09	11	22,26	3,18	0,43	0,0050
25-feb-09	13	22,28	3,20	0,43	0,0050
27-feb-09	15	22,27	3,19	0,43	0,0050
02-mar-09	18	22,26	3,18	0,43	0,0050
04-mar-09	20	22,25	3,17	0,43	0,0050
06-mar-09	22	22,24	3,17	0,43	0,0050
09-mar-09	25	22,22	3,15	0,43	0,0050
11-mar-09	27	22,23	3,16	0,43	0,0050
13-mar-09	29	22,19	3,13	0,42	0,0050
16-mar-09	32	22,22	3,15	0,43	0,0050
18-mar-09	34	22,21	3,14	0,43	0,0050
20-mar-09	36	22,24	3,17	0,43	0,0050
24-mar-09	40	22,63	3,46	0,47	0,0060
26-mar-09	42	22,60	3,44	0,47	0,0060
30-mar-09	46	22,56	3,41	0,46	0,0060
01-abr-09	48	22,57	3,42	0,46	0,0060
03-abr-09	50	22,64	3,47	0,47	0,0060
06-abr-09	53	22,56	3,41	0,46	0,0060
13-abr-09	60	22,66	3,49	0,47	0,0060
14-abr-09	61	22,64	3,47	0,47	0,0060
17-abr-09	64	22,67	3,49	0,47	0,0060
23-abr-09	70	23,05	3,80	0,52	0,0070
29-abr-09	76	22,97	3,74	0,51	0,0070
30-abr-09	77	22,89	3,67	0,50	0,0070
04-may-09	81	22,96	3,73	0,51	0,0070
06-may-09	83	22,96	3,73	0,51	0,0070
08-may-09	85	22,90	3,68	0,50	0,0070
11-may-09	88	22,91	3,69	0,50	0,0070
14-may-09	91	22,78	3,58	0,49	0,0070
18-may-09	95	22,85	3,64	0,49	0,0070
22-may-09	99	23,50	4,18	0,57	0,0090
27-may-09	104	22,81	3,61	0,49	0,0070
02-jun-09	110	22,91	3,69	0,50	0,0070
08-jun-09	116	22,85	3,64	0,49	0,0070
12-jun-09	120	22,76	3,57	0,48	0,0070
19-jun-09	127	22,83	3,62	0,49	0,0070
25-jun-09	133	23,17	3,90	0,53	0,0080
01-jul-09	139	23,25	3,97	0,54	0,0080
03-jul-09	141	23,18	3,91	0,53	0,0080
07-jul-09	145	23,20	3,93	0,53	0,0080
10-jul-09	148	23,18	3,91	0,53	0,0080
16-jul-09	154	23,16	3,89	0,53	0,0080

VERTEDERO No 2 PVC					
Ho=		11,77 cm		$Q = 0.011 \cdot H^{2.398}$	
FECHA	DÍA	NIVEL (cm)	CAUDAL (L/s)	VELOCIDAD (m/s)	Hf (m)
13-feb-09	1	23,04	3,66	0,39	0,0040
16-feb-09	4	23,06	3,68	0,39	0,0040
18-feb-09	6	23,11	3,72	0,40	0,0040
20-feb-09	8	23,07	3,69	0,39	0,0040
23-feb-09	11	23,08	3,69	0,39	0,0040
25-feb-09	13	23,10	3,71	0,40	0,0040
27-feb-09	15	23,74	4,23	0,45	0,0050
02-mar-09	18	23,73	4,22	0,45	0,0050
04-mar-09	20	23,60	4,12	0,44	0,0050
06-mar-09	22	23,78	4,27	0,46	0,0050
09-mar-09	25	23,67	4,17	0,45	0,0050
11-mar-09	27	23,69	4,19	0,45	0,0050
13-mar-09	29	23,56	4,08	0,44	0,0050
16-mar-09	32	23,56	4,08	0,44	0,0050
18-mar-09	34	23,48	4,02	0,43	0,0050
20-mar-09	36	23,52	4,05	0,43	0,0050
24-mar-09	40	23,45	3,99	0,43	0,0050
26-mar-09	42	23,40	3,95	0,42	0,0050
30-mar-09	46	23,35	3,91	0,42	0,0050
01-abr-09	48	23,41	3,96	0,42	0,0050
03-abr-09	50	23,40	3,95	0,42	0,0050
06-abr-09	53	23,47	4,01	0,43	0,0050
13-abr-09	60	23,47	4,01	0,43	0,0050
14-abr-09	61	23,42	3,97	0,42	0,0050
17-abr-09	64	24,00	4,46	0,48	0,0060
23-abr-09	70	23,97	4,43	0,47	0,0060
29-abr-09	76	23,88	4,35	0,46	0,0060
30-abr-09	77	23,92	4,39	0,47	0,0060
04-may-09	81	23,84	4,32	0,46	0,0060
06-may-09	83	23,90	4,37	0,47	0,0060
08-may-09	85	23,79	4,28	0,46	0,0060
11-may-09	88	23,82	4,30	0,46	0,0060
14-may-09	91	23,78	4,27	0,46	0,0060
18-may-09	95	23,82	4,30	0,46	0,0060
22-may-09	99	23,89	4,36	0,47	0,0060
27-may-09	104	23,77	4,26	0,45	0,0060
02-jun-09	110	23,82	4,30	0,46	0,0060
08-jun-09	116	23,78	4,27	0,46	0,0060
12-jun-09	120	23,74	4,23	0,45	0,0060
19-jun-09	127	23,80	4,28	0,46	0,0060
25-jun-09	133	24,19	4,62	0,49	0,0070
01-jul-09	139	24,23	4,66	0,50	0,0070
03-jul-09	141	24,22	4,65	0,50	0,0070
07-jul-09	145	24,25	4,68	0,50	0,0070
10-jul-09	148	24,53	4,93	0,53	0,0080
16-jul-09	154	24,60	5,00	0,53	0,0080

VERTEDERO No 3 CCP					
Ho=		12,19 cm		$Q = 0.008 * H^{2.541}$	
FECHA	DIA	NIVEL (cm)	CAUDAL (L/s)	VELOCIDAD (m/s)	Hf (m)
13-feb-09	1	26,49	6,90	0,48	0,0030
16-feb-09	4	26,48	6,89	0,48	0,0030
18-feb-09	6	26,46	6,86	0,48	0,0030
20-feb-09	8	26,43	6,83	0,48	0,0030
23-feb-09	11	26,42	6,81	0,48	0,0030
25-feb-09	13	26,39	6,78	0,47	0,0030
27-feb-09	15	26,40	6,79	0,47	0,0030
02-mar-09	18	26,36	6,74	0,47	0,0030
04-mar-09	20	26,43	6,83	0,48	0,0030
06-mar-09	22	26,40	6,79	0,47	0,0030
09-mar-09	25	26,34	6,72	0,47	0,0030
11-mar-09	27	26,37	6,75	0,47	0,0030
13-mar-09	29	26,31	6,68	0,47	0,0030
16-mar-09	32	26,29	6,66	0,47	0,0030
18-mar-09	34	26,25	6,61	0,46	0,0030
20-mar-09	36	26,32	6,69	0,47	0,0030
24-mar-09	40	26,28	6,64	0,46	0,0030
26-mar-09	42	26,18	6,53	0,46	0,0030
30-mar-09	46	26,23	6,58	0,46	0,0030
01-abr-09	48	26,37	6,75	0,47	0,0030
03-abr-09	50	26,22	6,57	0,46	0,0030
06-abr-09	53	26,24	6,60	0,46	0,0030
13-abr-09	60	26,21	6,56	0,46	0,0030
14-abr-09	61	26,26	6,62	0,46	0,0030
17-abr-09	64	26,22	6,57	0,46	0,0030
23-abr-09	70	26,25	6,61	0,46	0,0030
29-abr-09	76	27,00	7,54	0,53	0,0040
30-abr-09	77	26,96	7,49	0,52	0,0040
04-may-09	81	26,88	7,39	0,52	0,0040
06-may-09	83	26,93	7,45	0,52	0,0040
08-may-09	85	26,95	7,48	0,52	0,0040
11-may-09	88	26,98	7,52	0,53	0,0040
14-may-09	91	26,97	7,50	0,52	0,0040
18-may-09	95	26,92	7,44	0,52	0,0040
22-may-09	99	26,94	7,46	0,52	0,0040
27-may-09	104	27,61	8,36	0,58	0,0050
02-jun-09	110	26,93	7,45	0,52	0,0040
08-jun-09	116	26,91	7,43	0,52	0,0040
12-jun-09	120	26,87	7,37	0,52	0,0040
19-jun-09	127	26,91	7,43	0,52	0,0040
25-jun-09	133	26,95	7,48	0,52	0,0040
01-jul-09	139	27,70	8,48	0,59	0,0050
03-jul-09	141	27,65	8,41	0,59	0,0050
07-jul-09	145	27,62	8,37	0,58	0,0050
10-jul-09	148	27,61	8,36	0,58	0,0050
16-jul-09	154	27,62	8,37	0,58	0,0050



Anexo 4. Pruebas de piezómetros

PRUEBAS DE PIEZÓMETROS

FECHA 02-mar-09
PRUEBA DIA No 18
PRUEBAS REALIZADAS 10
T°C 18,7

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)
Ho= 11,96

$$Q = 0.0115 * H^{2.4109}$$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	1,04E-06

L1-2 (m)	L2-3 (m)	L1-3 (m)
1,2	1,19	2,39

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	18,96	19,00	20,24	21,08	21,70	22,26	23,75	24,03	24,76	25,20
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	59,30	59,40	59,90	61,30	62,90	62,70	64,90	65,30	66,10	66,80
2	59,20	59,30	59,80	61,20	62,70	62,40	64,40	64,80	65,50	66,00
3	59,20	59,30	59,70	61,00	62,50	62,20	64,00	64,30	64,80	65,30
Q(l/s)	1,25	1,27	1,88	2,37	2,78	3,18	4,41	4,66	5,37	5,83
Q(m ³ /s)	0,0013	0,0013	0,0019	0,0024	0,0028	0,0032	0,0044	0,0047	0,0054	0,0058
v(m/s)	0,17	0,17	0,26	0,32	0,38	0,43	0,60	0,63	0,73	0,79
Re	15870	16090	23791	30032	35192	40270	55776	59023	67999	73772
hf1 (cm)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,30	0,50	0,50	0,60	0,80
hf2 (cm)	0,00	0,00	0,10	0,20	0,20	0,20	0,40	0,50	0,70	0,70
hf (m)	0,0010	0,0010	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0090	0,0100	0,0130	0,0150
f	0,0274	0,0267	0,0244	0,0230	0,0223	0,0213	0,0200	0,0198	0,0194	0,0190
ks	2,25E-06	-2,92E-05	-1,50E-05	-1,65E-05	-9,33E-06	-1,80E-05	-9,46E-06	-6,90E-06	-1,91E-06	-2,71E-06
ks/d	2,32E-05	-3,02E-04	-1,55E-04	-1,70E-04	-9,64E-05	-1,86E-04	-9,77E-05	-7,13E-05	-1,97E-05	-2,80E-05

VERTEDERO No 2 (PVC)
Ho= 11,77

$$Q = 0.011 * H^{2.398}$$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	1,04E-06

L4-5 (m)	L5-6 (m)	L6-7 (m)	L5-7 (m)
0,57	1,4	1,38	2,78

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	19,90	21,34	23,01	23,73	25,30	26,56	27,60	28,40	29,19	29,50
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	60,70	62,10	65,00	65,70	68,70	71,90	72,30	72,50	72,90	73,00
5	60,60	61,90	64,70	65,40	68,10	71,10	71,20	71,10	71,10	71,10
6	60,60	61,80	64,50	65,10	67,70	70,50	70,40	70,00	70,00	70,00
7	60,50	61,70	64,30	64,90	67,20	69,80	69,50	69,00	68,40	68,10
Q(l/s)	1,67	2,48	3,64	4,22	5,68	7,03	8,27	9,31	10,41	10,86
Q(m ³ /s)	0,0017	0,0025	0,0036	0,0042	0,0057	0,0070	0,0083	0,0093	0,0104	0,0109
v(m/s)	0,18	0,26	0,39	0,45	0,61	0,75	0,88	0,99	1,11	1,16
Re	18783	27772	40843	47400	63713	78879	92839	104490	116791	121837
hm (cm)	0,10	0,20	0,30	0,30	0,60	0,80	1,10	1,40	1,80	1,90
hm (m)	0,0010	0,0020	0,0030	0,0030	0,0060	0,0080	0,0110	0,0140	0,0180	0,0190
hf1 (cm)	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,60	0,80	1,10	1,10	1,10
hf2 (cm)	0,10	0,10	0,20	0,20	0,50	0,70	0,90	1,00	1,60	1,90
hf (m)	0,0010	0,0020	0,0040	0,0050	0,0090	0,0130	0,0170	0,0210	0,0270	0,0300
f	0,0242	0,0221	0,0205	0,0190	0,0189	0,0178	0,0168	0,0164	0,0169	0,0172
ks	-9,96E-05	-6,87E-05	-4,38E-05	-5,96E-05	-2,17E-05	-2,32E-05	-2,73E-05	-2,49E-05	-9,11E-06	-1,87E-07
km	0,6154	0,5630	0,3905	0,2899	0,3209	0,2792	0,2771	0,2784	0,2865	0,2779
ks/d	-9,12E-04	-6,29E-04	-4,01E-04	-5,45E-04	-1,98E-04	-2,12E-04	-2,50E-04	-2,28E-04	-8,34E-05	-1,71E-06

VERTEDERO No 3 (CCP)
Ho= 12,19

$$Q = 0.008 * H^{2.541}$$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	1,04E-06

L8-9 (m)	L9-10 (m)	L8-10 (m)
1,58	1,58	3,16

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	23,43	25,22	26,36	27,96	28,53	29,48	29,95	30,38	30,69	31,09
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	63,00	65,30	66,70	68,50	69,30	70,70	71,10	71,40	71,70	71,90
10	62,90	65,10	66,40	68,00	68,70	69,90	70,20	70,40	70,60	70,70
Q(l/s)	3,74	5,45	6,74	8,85	9,68	11,18	11,97	12,72	13,27	14,01
Q(m ³ /s)	0,0037	0,0054	0,0067	0,0088	0,0097	0,0112	0,0120	0,0127	0,0133	0,0140
v(m/s)	0,26	0,38	0,47	0,62	0,68	0,78	0,84	0,89	0,93	0,98
Re	33978	49462	61211	80332	87917	101493	108651	115461	120527	127259
hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,50	0,60	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20
hf (m)	0,0010	0,0020	0,0030	0,0050	0,0060	0,0080	0,0090	0,0100	0,0110	0,0120
f	0,0245	0,0232	0,0227	0,0219	0,0220	0,0220	0,0216	0,0212	0,0214	0,0210
ks	8,61E-05	9,26E-05	1,03E-04	1,06E-04	1,16E-04	1,29E-04	1,19E-04	1,11E-04	1,22E-04	1,09E-04
ks/d	6,38E-04	6,86E-04	7,66E-04	7,82E-04	8,61E-04	9,59E-04	8,84E-04	8,24E-04	9,01E-04	8,06E-04

PRUEBAS DE PIEZÓMETROS

FECHA 06-mar-09
PRUEBA DIA No 22
PRUEBAS REALIZADAS 10
T°C 19,0

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)

Ho= 11,96 Q = 0.0115*H².4109

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	1,03E-06

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	20,27	21,06	21,74	22,24	22,69	23,68	24,00	25,00	26,84	28,20
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	59,90	61,30	61,90	62,80	63,50	64,90	65,10	66,50	68,90	70,60
2	59,90	61,10	61,70	62,60	63,30	64,50	64,70	65,80	67,70	68,90
3	59,70	61,00	61,50	62,30	62,90	64,00	64,10	65,10	66,40	67,00
Q(l/s)	1,90	2,36	2,81	3,17	3,51	4,34	4,63	5,62	7,72	9,53
Q(m ³ /s)	0,0019	0,0024	0,0028	0,0032	0,0035	0,0043	0,0046	0,0056	0,0077	0,0095
v(m/s)	0,26	0,32	0,38	0,43	0,48	0,59	0,63	0,76	1,05	1,29
Re	24171	30087	35796	40368	44761	55373	59089	71622	98458	121569
hf1 (cm)	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,40	0,40	0,70	1,20	1,70
hf2 (cm)	0,20	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	1,30	1,90
hf (m)	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0090	0,0100	0,0140	0,0250	0,0360
f	0,0240	0,0232	0,0219	0,0215	0,0210	0,0206	0,0201	0,0191	0,0181	0,0171
ks	-2,74E-05	-7,72E-06	-2,00E-05	-1,19E-05	-1,14E-05	4,16E-06	-1,08E-06	-3,58E-06	7,09E-07	-3,03E-06
ks/d	-2,83E-04	-7,97E-05	-2,06E-04	-1,23E-04	-1,18E-04	4,29E-05	-1,12E-05	-3,69E-05	7,32E-06	-3,12E-05

VERTEDERO No 2 (PVC)

Ho= 11,77 Q = 0.011*H².398

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	1,03E-06

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,30	22,96	23,78	24,55	25,63	26,50	27,50	28,40	29,40	29,77
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	62,10	64,90	65,50	67,40	69,40	71,80	72,20	72,50	72,90	73,20
5	61,90	64,60	65,20	67,00	68,80	71,00	71,10	71,10	71,10	71,30
6	61,80	64,40	65,10	66,80	68,30	70,50	70,30	70,00	70,00	70,10
7	61,70	64,20	64,70	66,30	67,80	69,70	69,40	68,90	68,30	68,20
Q(l/s)	2,45	3,60	4,27	4,95	6,02	6,96	8,15	9,31	10,71	11,26
Q(m ³ /s)	0,0025	0,0036	0,0043	0,0050	0,0060	0,0070	0,0081	0,0093	0,0107	0,0113
v(m/s)	0,26	0,38	0,46	0,53	0,64	0,74	0,87	0,99	1,14	1,20
Re	27691	40697	48218	55966	67985	78671	92092	105236	121054	127236
hm (cm)	0,20	0,30	0,30	0,40	0,60	0,80	1,10	1,40	1,80	1,90
hm (m)	0,0020	0,0030	0,0030	0,0040	0,0060	0,0080	0,0110	0,0140	0,0180	0,0190
hf1 (cm)	0,10	0,20	0,10	0,20	0,50	0,50	0,80	1,10	1,10	1,20
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,40	0,50	0,50	0,80	0,90	1,10	1,70	1,90
hf (m)	0,0020	0,0040	0,0050	0,0070	0,0100	0,0130	0,0170	0,0220	0,0280	0,0310
f	0,0226	0,0209	0,0186	0,0193	0,0187	0,0182	0,0173	0,0165	0,0165	0,0166
ks	-5,28E-05	-3,10E-05	-6,62E-05	-2,71E-05	-1,89E-05	-1,61E-05	-1,86E-05	-1,11E-05	-1,26E-05	-8,87E-06
km	0,5744	0,3989	0,2842	0,2812	0,2859	0,2847	0,2856	0,2784	0,2705	0,2585
ks/d	-4,83E-04	-2,84E-04	-6,06E-04	-2,48E-04	-1,73E-04	-1,48E-04	-1,71E-04	-1,01E-04	-1,15E-04	-8,12E-05

VERTEDERO No 3 (CCP)

Ho= 12,19 Q = 0.008*H².541

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	1,03E-06

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	23,36	26,40	27,23	27,92	29,06	29,54	30,33	31,38	31,80	32,31
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	63,00	66,70	67,70	68,80	69,60	72,90	71,30	72,10	72,70	72,10
10	62,90	66,40	67,30	68,30	68,90	72,10	70,30	70,80	71,30	70,50
Q(l/s)	3,68	6,79	7,84	8,79	10,50	11,28	12,63	14,57	15,39	16,43
Q(m ³ /s)	0,0037	0,0068	0,0078	0,0088	0,0105	0,0113	0,0126	0,0146	0,0154	0,0164
v(m/s)	0,26	0,47	0,55	0,61	0,73	0,79	0,88	1,02	1,08	1,15
Re	33682	62092	71726	80386	96026	103122	115475	133225	140759	150248
hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0,10	0,30	0,40	0,50	0,70	0,80	1,00	1,30	1,40	1,60
hf (m)	0,0010	0,0030	0,0040	0,0050	0,0070	0,0080	0,0100	0,0130	0,0140	0,0160
f	0,0253	0,0224	0,0223	0,0222	0,0218	0,0216	0,0215	0,0210	0,0203	0,0204
ks	1,27E-04	9,16E-05	1,09E-04	1,17E-04	1,17E-04	1,16E-04	1,22E-04	1,14E-04	9,23E-05	9,82E-05
ks/d	9,42E-04	6,78E-04	8,07E-04	8,67E-04	8,70E-04	8,59E-04	9,05E-04	8,43E-04	6,84E-04	7,28E-04

PRUEBAS DE PIEZÓMETROS

FECHA 09-mar-09
PRUEBA DIA No 25
PRUEBAS REALIZADAS 10
T°C 19,3

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)

Ho= 11,96 $Q = 0.0115 * H^{2.4109}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	1,02E-06

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	20,22	21,03	22,19	22,22	23,40	23,70	24,98	25,57	26,10	26,55
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	59,90	61,30	62,60	62,80	64,60	64,80	66,40	67,60	68,40	68,90
2	59,90	61,20	62,30	62,50	64,20	64,30	65,70	66,70	67,40	67,90
3	59,70	61,00	62,10	62,30	63,80	63,90	65,00	65,90	66,40	66,60
Q(l/s)	1,87	2,34	3,13	3,15	4,10	4,36	5,60	6,23	6,83	7,36
Q(m ³ /s)	0,0019	0,0023	0,0031	0,0032	0,0041	0,0044	0,0056	0,0062	0,0068	0,0074
v(m/s)	0,25	0,32	0,42	0,43	0,56	0,59	0,76	0,85	0,93	1,00
Re	23990	30060	40179	40464	52608	55996	71863	79967	87682	94561
hf1 (cm)	0,00	0,10	0,30	0,30	0,40	0,50	0,70	0,90	1,00	1,00
hf2 (cm)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,40	0,40	0,70	0,80	1,00	1,30
hf (m)	0,0020	0,0030	0,0050	0,0050	0,0080	0,0090	0,0140	0,0170	0,0200	0,0230
f	0,0247	0,0236	0,0220	0,0217	0,0205	0,0204	0,0193	0,0189	0,0185	0,0183
ks	-1,68E-06	5,24E-06	2,59E-06	-5,58E-06	-2,40E-06	1,15E-06	-2,28E-07	1,08E-06	2,31E-07	1,77E-06
ks/d	-1,74E-05	5,41E-05	2,68E-05	-5,77E-05	-2,48E-05	1,19E-05	-2,35E-06	1,11E-05	2,38E-06	1,83E-05

VERTEDERO No 2 (PVC)

Ho= 11,77 $Q = 0.011 * H^{2.398}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	1,02E-06

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	19,98	22,25	22,89	23,67	25,35	26,22	27,21	28,20	29,00	29,87
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	61,80	62,00	64,70	65,70	69,00	70,70	72,10	72,50	72,80	73,20
5	61,70	61,80	64,50	65,40	68,40	70,00	71,10	71,40	71,20	71,20
6	61,60	61,70	64,30	65,20	68,00	69,50	70,30	70,20	70,00	70,00
7	61,60	61,50	64,10	64,90	67,50	68,80	69,50	69,10	68,60	68,00
Q(l/s)	1,71	3,08	3,55	4,17	5,73	6,65	7,79	9,05	10,14	11,41
Q(m ³ /s)	0,0017	0,0031	0,0035	0,0042	0,0057	0,0066	0,0078	0,0090	0,0101	0,0114
v(m/s)	0,18	0,33	0,38	0,45	0,61	0,71	0,83	0,96	1,08	1,22
Re	19504	35024	40373	47500	65197	75666	88698	102952	115385	129852
hm (cm)	0,10	0,20	0,20	0,30	0,60	0,70	1,00	1,10	1,60	2,00
hm (m)	0,0010	0,0020	0,0020	0,0030	0,0060	0,0070	0,0100	0,0110	0,0160	0,0200
hf1 (cm)	0,10	0,10	0,20	0,20	0,40	0,50	0,80	1,20	1,20	1,20
hf2 (cm)	0,00	0,20	0,20	0,30	0,50	0,70	0,80	1,10	1,40	2,00
hf (m)	0,0010	0,0030	0,0040	0,0050	0,0090	0,0120	0,0160	0,0230	0,0260	0,0320
f	0,0231	0,0215	0,0215	0,0195	0,0186	0,0184	0,0179	0,0190	0,0171	0,0167
ks	-1,34E-04	-4,05E-05	-1,20E-05	-4,74E-05	-2,68E-05	-1,52E-05	-1,21E-05	2,53E-05	-5,53E-06	-6,23E-06
km	0,5871	0,3642	0,2741	0,2970	0,3153	0,2731	0,2839	0,2318	0,2684	0,2649
ks/d	-1,23E-03	-3,71E-04	-1,10E-04	-4,34E-04	-2,45E-04	-1,39E-04	-1,10E-04	2,31E-04	-5,06E-05	-5,71E-05

VERTEDERO No 3 (CCP)

Ho= 12,19 $Q = 0.008 * H^{2.541}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	1,02E-06

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	23,39	25,11	25,18	26,34	27,16	27,87	28,96	29,43	30,20	30,66
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	62,90	65,00	65,20	66,50	67,80	68,70	69,40	70,70	71,30	71,70
10	62,80	64,80	65,00	66,20	67,40	68,20	68,70	69,90	70,30	70,60
Q(l/s)	3,71	5,33	5,40	6,72	7,75	8,72	10,34	11,10	12,40	13,22
Q(m ³ /s)	0,0037	0,0053	0,0054	0,0067	0,0078	0,0087	0,0103	0,0111	0,0124	0,0132
v(m/s)	0,26	0,37	0,38	0,47	0,54	0,61	0,72	0,78	0,87	0,92
Re	34153	49100	49778	61863	71384	80304	95257	102188	114188	121745
hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,20	0,30	0,40	0,50	0,70	0,80	1,00	1,10
hf (m)	0,0010	0,0020	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0070	0,0080	0,0100	0,0110
f	0,0250	0,0242	0,0235	0,0228	0,0229	0,0226	0,0225	0,0223	0,0223	0,0216
ks	1,11E-04	1,40E-04	1,11E-04	1,12E-04	1,31E-04	1,32E-04	1,43E-04	1,43E-04	1,53E-04	1,29E-04
ks/d	8,25E-04	1,04E-03	8,19E-04	8,29E-04	9,71E-04	9,78E-04	1,06E-03	1,06E-03	1,13E-03	9,55E-04

PRUEBAS DE PIEZÓMETROS

FECHA 13-mar-09
PRUEBA DIA No 29
PRUEBAS REALIZADAS 10
T°C 19,1

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)

Ho= 11,96 Q = 0.0115*H^2.4109

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	1,03E-06

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,00	21,62	21,67	22,15	22,19	23,99	24,95	25,70	26,35	26,78
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	61,20	61,80	61,90	62,60	62,60	65,10	66,50	67,70	68,50	69,10
2	61,10	61,60	61,70	62,40	62,40	64,60	65,80	66,80	67,40	67,70
3	60,90	61,40	61,50	62,10	62,10	64,10	65,10	65,90	66,30	66,60
Q(l/s)	2,32	2,73	2,76	3,10	3,13	4,62	5,57	6,37	7,12	7,65
Q(m ³ /s)	0,0023	0,0027	0,0028	0,0031	0,0031	0,0046	0,0056	0,0064	0,0071	0,0076
v(m/s)	0,32	0,37	0,37	0,42	0,42	0,63	0,76	0,87	0,97	1,04
Re	29681	34828	35264	39615	39991	59110	71129	81437	91037	97734
hf1 (cm)	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,50	0,70	0,90	1,10	1,40
hf2 (cm)	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30	0,50	0,70	0,90	1,10	1,10
hf (m)	0,0030	0,0040	0,0040	0,0050	0,0050	0,0100	0,0140	0,0180	0,0220	0,0250
f	0,0240	0,0232	0,0226	0,0224	0,0220	0,0202	0,0195	0,0191	0,0187	0,0184
ks	1,66E-05	1,87E-05	1,74E-06	1,34E-05	1,88E-06	9,06E-07	3,57E-06	6,99E-06	6,91E-06	6,79E-06
ks/d	1,71E-04	1,93E-04	1,80E-05	1,39E-04	1,95E-05	9,35E-06	3,68E-05	7,22E-05	7,13E-05	7,01E-05

VERTEDERO No 2 (PVC)

Ho= 11,77 Q = 0.011*H2.398

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	1,03E-06

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,21	22,17	23,56	23,99	24,45	24,84	25,91	26,70	27,34	28,75
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	62,00	62,20	65,40	66,00	67,30	67,70	70,20	71,90	72,10	72,70
5	61,80	62,00	65,10	65,70	66,90	67,20	69,60	71,10	71,10	71,20
6	61,70	61,80	64,90	65,40	66,60	66,90	69,00	70,50	70,20	70,00
7	61,60	61,70	64,60	65,10	66,20	66,40	68,50	69,70	69,40	68,80
Q(l/s)	2,40	3,02	4,08	4,45	4,86	5,23	6,31	7,19	7,95	9,79
Q(m ³ /s)	0,0024	0,0030	0,0041	0,0044	0,0049	0,0052	0,0063	0,0072	0,0080	0,0098
v(m/s)	0,26	0,32	0,44	0,47	0,52	0,56	0,67	0,77	0,85	1,04
Re	27132	34225	46236	50384	55052	59200	71494	81449	90074	110887
hm (cm)	0,20	0,20	0,30	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00	1,50
hm (m)	0,0020	0,0020	0,0030	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0080	0,0100	0,0150
hf1 (cm)	0,10	0,20	0,20	0,30	0,30	0,30	0,60	0,60	0,90	1,20
hf2 (cm)	0,10	0,10	0,30	0,30	0,40	0,50	0,50	0,80	0,80	1,20
hf (m)	0,0020	0,0030	0,0050	0,0060	0,0070	0,0080	0,0110	0,0140	0,0170	0,0240
f	0,0236	0,0223	0,0203	0,0206	0,0201	0,0199	0,0187	0,0184	0,0182	0,0170
ks	-1,65E-05	-1,74E-05	-2,71E-05	-8,34E-06	-9,67E-06	-6,91E-06	-1,38E-05	-9,21E-06	-3,21E-06	-1,12E-05
km	-0,6012	-0,3778	-0,3105	-0,2615	-0,2920	-0,3157	-0,2597	-0,2668	-0,2727	-0,2699
ks/d	-1,51E-04	-1,59E-04	-2,48E-04	-7,63E-05	-8,85E-05	-6,32E-05	-1,27E-04	-8,43E-05	-2,94E-05	-1,03E-04

VERTEDERO No 3 (CCP)

Ho= 12,19 Q = 0.008*H2.541

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	1,03E-06

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	23,34	25,14	26,31	27,11	27,80	28,45	29,00	29,86	30,62	31,27
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	63,00	65,10	66,60	67,70	68,30	69,20	69,60	71,10	71,60	72,10
10	62,90	64,90	66,30	67,30	67,80	68,60	68,90	70,20	70,50	70,80
Q(l/s)	3,67	5,36	6,68	7,68	8,62	9,56	10,41	11,81	13,15	14,36
Q(m ³ /s)	0,0037	0,0054	0,0067	0,0077	0,0086	0,0096	0,0104	0,0118	0,0131	0,0144
v(m/s)	0,26	0,37	0,47	0,54	0,60	0,67	0,73	0,83	0,92	1,00
Re	33608	49158	61242	70447	79023	87654	95386	108279	120508	131603
hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,90	1,10	1,30
hf (m)	0,0010	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0070	0,0090	0,0110	0,0130
f	0,0256	0,0239	0,0231	0,0233	0,0231	0,0225	0,0222	0,0222	0,0219	0,0217
ks	1,40E-04	1,26E-04	1,22E-04	1,47E-04	1,53E-04	1,39E-04	1,33E-04	1,41E-04	1,37E-04	1,36E-04
ks/d	1,03E-03	9,36E-04	9,01E-04	1,09E-03	1,13E-03	1,03E-03	9,82E-04	1,04E-03	1,02E-03	1,01E-03

PRUEBAS DE PIEZÓMETROS

FECHA 16-mar-09
PRUEBA DIA No 32
PRUEBAS REALIZADAS 10
T°C 21,2

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)

Ho= 11,96 Q = 0.0115*H^2.4109

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	9,80E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,06	22,22	23,70	23,98	24,26	24,51	24,74	25,35	25,71	26,50
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	61,20	62,70	64,80	65,10	65,40	65,80	66,10	67,00	67,90	68,80
2	61,00	62,20	64,10	64,70	64,80	64,90	65,40	66,30	66,70	67,40
3	60,90	62,20	63,90	64,10	64,30	64,60	64,80	65,40	66,10	66,50
Q(l/s)	2,36	3,15	4,36	4,62	4,88	5,12	5,35	5,99	6,38	7,30
Q(m ³ /s)	0,0024	0,0032	0,0044	0,0046	0,0049	0,0051	0,0054	0,0060	0,0064	0,0073
v(m/s)	0,32	0,43	0,59	0,63	0,66	0,70	0,73	0,81	0,87	0,99
Re	31652	42269	58493	61913	65448	68701	71776	80315	85620	97965
hf1 (cm)	0,20	0,50	0,70	0,40	0,60	0,90	0,70	0,70	1,20	1,40
hf2 (cm)	0,10	0,00	0,20	0,60	0,50	0,30	0,60	0,90	0,60	0,90
hf (m)	0,0030	0,0050	0,0090	0,0100	0,0110	0,0120	0,0130	0,0160	0,0180	0,0230
f	0,0232	0,0217	0,0204	0,0202	0,0199	0,0197	0,0196	0,0192	0,0190	0,0186
ks	1,94E-06	8,32E-07	5,93E-06	7,71E-06	5,67E-06	5,68E-06	6,32E-06	8,57E-06	9,49E-06	9,98E-06
ks/d	2,01E-05	8,59E-06	6,12E-05	7,96E-05	5,85E-05	5,87E-05	6,53E-05	8,85E-05	9,80E-05	1,03E-04

VERTEDERO No 2 (PVC)

Ho= 11,77 Q = 0.011*H2.398

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	9,80E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	19,80	22,15	23,56	24,43	25,21	25,55	26,67	27,19	27,60	28,35
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	60,60	63,20	65,30	67,20	67,90	69,30	71,80	72,10	72,20	72,50
5	60,50	63,00	65,00	66,80	67,40	68,80	71,00	71,20	71,20	71,20
6	60,50	62,90	64,70	66,30	67,00	68,40	70,30	70,60	70,50	70,20
7	60,40	62,70	64,50	66,10	66,50	67,80	69,60	69,60	69,40	69,00
Q(l/s)	1,63	3,01	4,08	4,84	5,59	5,93	7,16	7,77	8,27	9,25
Q(m ³ /s)	0,0016	0,0030	0,0041	0,0048	0,0056	0,0059	0,0072	0,0078	0,0083	0,0092
v(m/s)	0,17	0,32	0,44	0,52	0,60	0,63	0,76	0,83	0,88	0,99
Re	19319	35754	48526	57560	66434	70535	85072	92366	98365	109913
hm (cm)	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,50	0,80	0,90	1,00	1,30
hm (m)	0,0010	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0050	0,0080	0,0090	0,0100	0,0130
hf1 (cm)	0,00	0,10	0,30	0,50	0,40	0,40	0,70	0,60	0,70	1,00
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,20	0,20	0,50	0,60	0,70	1,00	1,10	1,20
hf (m)	0,0010	0,0030	0,0050	0,0070	0,0090	0,0100	0,0140	0,0160	0,0180	0,0220
f	0,0257	0,0225	0,0203	0,0202	0,0195	0,0193	0,0185	0,0180	0,0178	0,0174
ks	-2,06E-05	-1,53E-06	-1,99E-05	1,83E-07	-1,89E-06	-2,51E-06	-1,45E-06	-6,43E-06	-4,33E-06	-3,40E-06
km	0,6530	0,3813	0,3105	0,2943	0,2761	0,2449	0,2694	0,2571	0,2519	0,2623
ks/d	-1,89E-04	-1,40E-05	-1,82E-04	1,67E-06	-1,73E-05	-2,29E-05	-1,33E-05	-5,89E-05	-3,96E-05	-3,11E-05

VERTEDERO No 3 (CCP)

Ho= 12,19 Q = 0.008*H2.541

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	9,80E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	23,43	25,16	26,29	27,84	28,50	28,96	29,87	30,24	30,92	31,17
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	63,00	65,10	66,60	68,70	69,20	69,60	71,10	71,30	71,80	72,00
10	62,90	64,90	66,30	68,20	68,60	68,90	70,20	70,30	70,60	70,70
Q(l/s)	3,74	5,38	6,66	8,68	9,64	10,34	11,83	12,47	13,70	14,17
Q(m ³ /s)	0,0037	0,0054	0,0067	0,0087	0,0096	0,0103	0,0118	0,0125	0,0137	0,0142
v(m/s)	0,26	0,38	0,47	0,61	0,67	0,72	0,83	0,87	0,96	0,99
Re	36000	51795	64044	83478	92716	99506	113805	119955	131774	136289
hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,50	0,60	0,70	0,90	1,00	1,20	1,30
hf (m)	0,0010	0,0020	0,0030	0,0050	0,0060	0,0070	0,0090	0,0100	0,0120	0,0130
f	0,0245	0,0237	0,0233	0,0228	0,0222	0,0225	0,0221	0,0221	0,0220	0,0223
ks	9,93E-05	1,26E-04	1,35E-04	1,45E-04	1,29E-04	1,47E-04	1,42E-04	1,46E-04	1,48E-04	1,61E-04
ks/d	7,35E-04	9,32E-04	1,00E-03	1,08E-03	9,59E-04	1,09E-03	1,05E-03	1,08E-03	1,09E-03	1,19E-03

PRUEBAS DE PIEZÓMETROS

FECHA 18-mar-09
PRUEBA DIA No 34
PRUEBAS REALIZADAS 10
T°C 21,0

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)

Ho= 11,96 $Q = 0.0115 \cdot H^{2.4109}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	9,85E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,05	21,68	22,21	24,49	25,69	26,47	26,85	27,10	27,22	27,35
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	61,20	62,00	62,90	65,80	67,80	68,80	69,10	69,50	69,70	69,80
2	61,00	61,90	62,70	65,20	66,90	67,70	68,00	68,20	68,30	68,30
3	60,90	61,60	62,40	64,60	66,00	66,50	66,50	66,70	66,80	66,80
Q(l/s)	2,35	2,77	3,14	5,10	6,36	7,27	7,73	8,05	8,21	8,38
Q(m ³ /s)	0,0024	0,0028	0,0031	0,0051	0,0064	0,0073	0,0077	0,0081	0,0082	0,0084
v(m/s)	0,32	0,38	0,43	0,69	0,86	0,99	1,05	1,09	1,11	1,14
Re	31426	36936	41980	68130	84937	97040	103280	107511	109577	111841
hf1 (cm)	0,20	0,10	0,20	0,60	0,90	1,10	1,40	1,50	1,50	1,50
hf2 (cm)	0,10	0,30	0,30	0,60	0,90	1,20	1,20	1,30	1,40	1,50
hf (m)	0,0030	0,0040	0,0050	0,0120	0,0180	0,0230	0,0260	0,0280	0,0290	0,0300
f	0,0233	0,0225	0,0218	0,0199	0,0192	0,0188	0,0187	0,0186	0,0186	0,0184
ks	4,89E-06	5,77E-06	2,86E-06	8,41E-06	1,17E-05	1,30E-05	1,63E-05	1,66E-05	1,67E-05	1,54E-05
ks/d	5,05E-05	5,95E-05	2,96E-05	8,69E-05	1,21E-04	1,34E-04	1,68E-04	1,71E-04	1,72E-04	1,59E-04

VERTEDERO No 2 (PVC)

Ho= 11,77 $Q = 0.011 \cdot H^{2.398}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	9,85E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	22,12	22,85	23,48	25,18	25,80	26,64	27,11	27,35	28,60	28,79
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	63,30	64,10	65,30	67,90	69,90	71,90	72,00	72,10	72,60	72,70
5	63,10	63,90	65,00	67,40	69,30	71,10	71,10	71,10	71,20	71,30
6	63,00	63,80	64,80	67,00	68,80	70,50	70,40	70,30	70,00	70,10
7	62,80	63,50	64,50	66,50	68,20	69,70	69,50	69,40	68,80	68,80
Q(l/s)	2,99	3,52	4,02	5,56	6,19	7,12	7,67	7,96	9,58	9,85
Q(m ³ /s)	0,0030	0,0035	0,0040	0,0056	0,0062	0,0071	0,0077	0,0080	0,0096	0,0098
v(m/s)	0,32	0,38	0,43	0,59	0,66	0,76	0,82	0,85	1,02	1,05
Re	35347	41623	47526	65782	73312	84281	90811	94255	113417	116512
hm (cm)	0,20	0,20	0,30	0,50	0,60	0,80	0,90	1,00	1,40	1,40
hm (m)	0,0020	0,0020	0,0030	0,0050	0,0060	0,0080	0,0090	0,0100	0,0140	0,0140
hf1 (cm)	0,10	0,10	0,20	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	1,20	1,20
hf2 (cm)	0,20	0,30	0,30	0,50	0,60	0,80	0,90	0,90	1,20	1,30
hf (m)	0,0030	0,0040	0,0050	0,0090	0,0110	0,0140	0,0160	0,0170	0,0240	0,0250
f	0,0228	0,0219	0,0210	0,0197	0,0194	0,0187	0,0184	0,0182	0,0177	0,0175
ks	7,82E-06	5,57E-06	-2,96E-06	2,43E-06	5,71E-06	1,73E-06	1,65E-06	-6,86E-07	3,79E-06	1,26E-06
km	0,3866	0,2788	0,3208	0,2791	0,2697	0,2720	0,2636	0,2719	0,2629	0,2491
ks/d	7,16E-05	5,10E-05	-2,71E-05	2,23E-05	5,23E-05	1,58E-05	1,51E-05	-6,28E-06	3,47E-05	1,15E-05

VERTEDERO No 3 (CCP)

Ho= 12,19 $Q = 0.008 \cdot H^{2.541}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	9,85E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	23,40	25,13	26,25	27,15	28,47	29,41	30,57	30,88	31,25	31,82
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	63,10	64,90	66,60	67,80	69,00	70,50	71,50	71,80	72,10	72,60
10	63,00	64,70	66,30	67,40	68,40	69,70	70,40	70,60	70,80	71,10
Q(l/s)	3,72	5,35	6,61	7,74	9,59	11,06	13,06	13,62	14,32	15,43
Q(m ³ /s)	0,0037	0,0054	0,0066	0,0077	0,0096	0,0111	0,0131	0,0136	0,0143	0,0154
v(m/s)	0,26	0,37	0,46	0,54	0,67	0,77	0,91	0,95	1,00	1,08
Re	35596	51260	63297	74106	91869	105953	125042	130471	137134	147797
hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,40	0,60	0,80	1,10	1,20	1,30	1,50
hf (m)	0,0010	0,0020	0,0030	0,0040	0,0060	0,0080	0,0110	0,0120	0,0130	0,0150
f	0,0249	0,0240	0,0236	0,0229	0,0224	0,0225	0,0222	0,0222	0,0218	0,0216
ks	1,15E-04	1,38E-04	1,49E-04	1,39E-04	1,37E-04	1,51E-04	1,52E-04	1,56E-04	1,43E-04	1,42E-04
ks/d	8,49E-04	1,02E-03	1,10E-03	1,03E-03	1,02E-03	1,12E-03	1,12E-03	1,16E-03	1,06E-03	1,05E-03

PRUEBAS DE PIEZÓMETROS

FECHA 24-mar-09
PRUEBA DIA No 40
PRUEBAS REALIZADAS 10
T°C 20,3

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)

Ho= 11,96 $Q = 0.0115 \cdot H^{2.4109}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	1,00E-06

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,66	22,20	22,63	24,23	24,70	25,32	25,50	25,97	26,30	26,94
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	61,90	62,60	63,50	65,50	66,20	67,10	67,40	68,10	68,60	69,30
2	61,80	62,40	63,30	64,90	65,60	66,30	66,60	67,10	67,50	68,00
3	61,50	62,10	62,90	64,40	64,90	65,50	65,70	66,10	66,40	66,60
Q(l/s)	2,75	3,14	3,46	4,85	5,31	5,96	6,15	6,68	7,06	7,85
Q(m ³ /s)	0,0028	0,0031	0,0035	0,0049	0,0053	0,0060	0,0062	0,0067	0,0071	0,0078
v(m/s)	0,37	0,43	0,47	0,66	0,72	0,81	0,84	0,91	0,96	1,07
Re	36131	41172	45464	63675	69715	78177	80740	87663	92725	103018
hf1 (cm)	0,10	0,20	0,20	0,60	0,60	0,80	0,80	1,00	1,10	1,30
hf2 (cm)	0,30	0,30	0,40	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,40
hf (m)	0,0040	0,0050	0,0060	0,0110	0,0130	0,0160	0,0170	0,0200	0,0220	0,0270
f	0,0228	0,0219	0,0216	0,0202	0,0199	0,0194	0,0194	0,0193	0,0190	0,0189
ks	9,46E-06	3,10E-06	6,80E-06	8,59E-06	1,05E-05	1,09E-05	1,19E-05	1,73E-05	1,46E-05	1,94E-05
ks/d	9,77E-05	3,20E-05	7,03E-05	8,87E-05	1,08E-04	1,12E-04	1,22E-04	1,79E-04	1,50E-04	2,00E-04

VERTEDERO No 2 (PVC)

Ho= 11,77 $Q = 0.011 \cdot H^{2.398}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	1,00E-06

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	22,80	23,45	24,80	25,14	25,81	26,64	27,09	27,29	27,68	28,63
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	64,20	65,20	67,60	67,90	69,80	71,80	72,00	72,10	72,30	72,70
5	64,00	64,90	67,20	67,40	69,20	71,10	71,10	71,20	71,30	71,40
6	63,80	64,60	66,80	66,90	68,50	70,40	70,40	70,50	70,50	70,40
7	63,60	64,40	66,40	66,50	68,10	69,70	69,50	69,50	69,40	69,00
Q(l/s)	3,48	3,99	5,19	5,52	6,21	7,12	7,65	7,89	8,38	9,62
Q(m ³ /s)	0,0035	0,0040	0,0052	0,0055	0,0062	0,0071	0,0076	0,0079	0,0084	0,0096
v(m/s)	0,37	0,43	0,55	0,59	0,66	0,76	0,82	0,84	0,89	1,03
Re	40477	46435	60360	64206	72194	82854	88995	91806	97436	111974
hm (cm)	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,90	0,90	1,00	1,30
hm (m)	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0070	0,0090	0,0090	0,0100	0,0130
hf1 (cm)	0,20	0,30	0,40	0,50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,80	1,00
hf2 (cm)	0,20	0,20	0,40	0,40	0,40	0,70	0,90	1,00	1,10	1,40
hf (m)	0,0040	0,0050	0,0080	0,0090	0,0110	0,0140	0,0160	0,0170	0,0190	0,0240
f	0,0224	0,0213	0,0201	0,0200	0,0194	0,0187	0,0185	0,0185	0,0184	0,0176
ks	1,76E-05	1,69E-06	3,34E-06	7,28E-06	2,54E-06	2,17E-07	2,48E-06	4,40E-06	6,00E-06	6,55E-08
km	0,2850	0,3248	0,2563	0,2831	0,2687	0,2380	0,2653	0,2493	0,2459	0,2420
ks/d	1,61E-04	1,54E-05	3,06E-05	6,67E-05	2,33E-05	1,99E-06	2,27E-05	4,03E-05	5,49E-05	6,00E-07

VERTEDERO No 3 (CCP)

Ho= 12,19 $Q = 0.008 \cdot H^{2.541}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	1,00E-06

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	23,37	25,09	26,28	27,14	27,85	28,44	29,38	29,81	30,20	30,61
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	62,90	64,90	66,60	67,80	68,70	69,20	70,10	71,10	71,30	71,70
10	62,80	64,70	66,30	67,40	68,20	68,60	69,30	70,20	70,30	70,60
Q(l/s)	3,69	5,31	6,64	7,72	8,69	9,55	11,01	11,73	12,40	13,13
Q(m ³ /s)	0,0037	0,0053	0,0066	0,0077	0,0087	0,0095	0,0110	0,0117	0,0124	0,0131
v(m/s)	0,26	0,37	0,46	0,54	0,61	0,67	0,77	0,82	0,87	0,92
Re	34756	49997	62564	72728	81829	89891	103699	110418	116734	123606
hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	0,90	1,00	1,10
hf (m)	0,0010	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0080	0,0090	0,0100	0,0110
f	0,0252	0,0244	0,0233	0,0230	0,0227	0,0226	0,0227	0,0225	0,0223	0,0219
ks	1,28E-04	1,53E-04	1,36E-04	1,40E-04	1,40E-04	1,44E-04	1,58E-04	1,56E-04	1,54E-04	1,41E-04
ks/d	9,48E-04	1,13E-03	1,01E-03	1,04E-03	1,04E-03	1,07E-03	1,17E-03	1,15E-03	1,14E-03	1,05E-03

PRUEBAS DE PIEZÓMETROS

FECHA 27-mar-09
PRUEBA DIA No 43
PRUEBAS REALIZADAS 10
T°C 17,7

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)

Ho= 11,96 $Q = 0.0115 \cdot H^{2.4109}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	1,07E-06

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,60	22,15	22,60	24,20	24,66	25,45	25,62	25,94	26,25	26,94
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	61,80	62,60	63,40	65,40	66,20	67,40	67,70	68,10	68,40	69,30
2	61,70	62,40	63,10	64,80	65,50	66,50	66,80	67,00	67,30	68,00
3	61,40	62,10	62,80	64,30	64,90	65,70	65,90	66,10	66,20	66,60
Q(l/s)	2,71	3,10	3,44	4,82	5,27	6,10	6,28	6,64	7,00	7,85
Q(m ³ /s)	0,0027	0,0031	0,0034	0,0048	0,0053	0,0061	0,0063	0,0066	0,0070	0,0078
v(m/s)	0,37	0,42	0,47	0,65	0,72	0,83	0,85	0,90	0,95	1,07
Re	33469	38260	42461	59521	65057	75246	77552	82005	86458	96867
hf1 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,60	0,70	0,90	0,90	1,10	1,10	1,30
hf2 (cm)	0,30	0,30	0,30	0,50	0,60	0,80	0,90	0,90	1,10	1,40
hf (m)	0,0040	0,0050	0,0060	0,0110	0,0130	0,0170	0,0180	0,0200	0,0220	0,0270
f	0,0235	0,0224	0,0219	0,0204	0,0202	0,0197	0,0197	0,0195	0,0193	0,0189
ks	1,99E-05	8,10E-06	5,97E-06	7,56E-06	1,12E-05	1,38E-05	1,49E-05	1,66E-05	1,62E-05	1,54E-05
ks/d	2,05E-04	8,37E-05	6,16E-05	7,81E-05	1,15E-04	1,42E-04	1,54E-04	1,72E-04	1,68E-04	1,59E-04

VERTEDERO No 2 (PVC)

Ho= 11,77 $Q = 0.011 \cdot H^{2.398}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	1,07E-06

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,14	22,08	22,78	23,40	26,05	26,59	27,03	27,43	27,98	28,85
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	62,00	63,10	64,70	65,20	70,20	71,80	72,00	72,20	72,40	72,70
5	61,80	62,90	64,50	64,90	69,60	71,10	71,10	71,20	71,30	71,40
6	61,70	62,70	64,20	64,60	69,00	70,40	70,40	70,40	70,50	70,50
7	61,60	62,60	64,10	64,40	68,40	69,70	69,50	69,40	69,20	68,80
Q(l/s)	2,35	2,96	3,46	3,95	6,46	7,06	7,58	8,06	8,76	9,93
Q(m ³ /s)	0,0024	0,0030	0,0035	0,0040	0,0065	0,0071	0,0076	0,0081	0,0088	0,0099
v(m/s)	0,25	0,32	0,37	0,42	0,69	0,75	0,81	0,86	0,93	1,06
Re	25740	32372	37895	43216	70700	77281	82898	88204	95816	108614
hm (cm)	0,20	0,20	0,20	0,30	0,60	0,70	0,90	1,00	1,10	1,30
hm (m)	0,0020	0,0020	0,0020	0,0030	0,0060	0,0070	0,0090	0,0100	0,0110	0,0130
hf1 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,30	0,60	0,70	0,70	0,80	0,80	0,90
hf2 (cm)	0,10	0,10	0,10	0,20	0,60	0,70	0,90	1,00	1,30	1,70
hf (m)	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0120	0,0140	0,0160	0,0180	0,0210	0,0260
f	0,0245	0,0232	0,0226	0,0217	0,0195	0,0190	0,0189	0,0188	0,0186	0,0179
ks	6,94E-06	6,73E-06	1,33E-05	4,91E-06	3,18E-06	8,17E-07	4,27E-06	6,91E-06	8,87E-06	4,06E-06
km	0,6230	0,3939	0,2874	0,3315	0,2477	0,2419	0,2703	0,2653	0,2473	0,2274
ks/d	6,35E-05	6,16E-05	1,21E-04	4,49E-05	2,91E-05	7,48E-06	3,90E-05	6,32E-05	8,11E-05	3,71E-05

VERTEDERO No 3 (CCP)

Ho= 12,19 $Q = 0.008 \cdot H^{2.541}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	1,07E-06

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	23,32	25,06	26,18	27,12	27,77	28,38	28,93	29,42	29,84	30,21
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	62,90	64,90	66,50	67,80	68,30	69,00	69,50	70,40	71,10	71,30
10	62,80	64,70	66,20	67,40	67,80	68,40	68,80	69,60	70,20	70,30
Q(l/s)	3,65	5,28	6,53	7,70	8,58	9,46	10,30	11,08	11,78	12,42
Q(m ³ /s)	0,0036	0,0053	0,0065	0,0077	0,0086	0,0095	0,0103	0,0111	0,0118	0,0124
v(m/s)	0,25	0,37	0,46	0,54	0,60	0,66	0,72	0,77	0,82	0,87
Re	32311	46735	57773	68154	75948	83734	91152	98086	104276	109920
hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
hf (m)	0,0010	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0070	0,0080	0,0090	0,0100
f	0,0258	0,0247	0,0242	0,0232	0,0233	0,0230	0,0227	0,0224	0,0223	0,0223
ks	1,44E-04	1,56E-04	1,66E-04	1,40E-04	1,59E-04	1,56E-04	1,48E-04	1,42E-04	1,43E-04	1,47E-04
ks/d	1,07E-03	1,16E-03	1,23E-03	1,03E-03	1,18E-03	1,15E-03	1,10E-03	1,05E-03	1,06E-03	1,09E-03

PRUEBAS DE PIEZÓMETROS

FECHA 02-abr-09
PRUEBA DIA No 49
PRUEBAS REALIZADAS 10
T°C 20,9

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)

Ho= 11,96 $Q = 0.0115 \cdot H^{2.4109}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	9,87E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21.02	22.64	23.96	24.67	25.28	26.90	27.57	28.85	29.35	29.70
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	61.20	63.40	65.10	66.20	67.10	69.20	70.10	71.00	71.40	71.90
2	61.10	63.30	64.80	65.70	66.40	68.00	68.60	68.70	68.70	69.00
3	60.90	62.80	64.10	64.90	65.50	66.50	66.80	66.30	66.00	65.90
Q(l/s)	2.33	3.47	4.60	5.28	5.91	7.80	8.67	10.48	11.24	11.80
Q(m ³ /s)	0.0023	0.0035	0.0046	0.0053	0.0059	0.0078	0.0087	0.0105	0.0112	0.0118
v(m/s)	0.32	0.47	0.62	0.72	0.80	1.06	1.18	1.42	1.53	1.60
Re	31106	46247	61250	70354	78772	103883	115473	139636	149811	157183
hf1 (cm)	0.10	0.10	0.30	0.50	0.70	1.20	1.50	2.30	2.70	2.90
hf2 (cm)	0.20	0.50	0.70	0.80	0.90	1.50	1.80	2.40	2.70	3.10
hf (m)	0.0030	0.0060	0.0100	0.0130	0.0160	0.0270	0.0330	0.0470	0.0540	0.0600
f	0.0237	0.0215	0.0204	0.0201	0.0197	0.0191	0.0189	0.0184	0.0184	0.0186
ks	1.63E-05	6.30E-06	1.06E-05	1.66E-05	1.78E-05	2.49E-05	2.70E-05	2.73E-05	2.99E-05	3.51E-05
ks/d	1.68E-04	6.51E-05	1.10E-04	1.72E-04	1.84E-04	2.57E-04	2.78E-04	2.82E-04	3.09E-04	3.63E-04

VERTEDERO No 2 (PVC)

Ho= 11,77 $Q = 0.011 \cdot H^{2.398}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	9,87E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	22.10	22.82	23.45	23.96	25.49	26.08	27.63	28.33	29.24	29.53
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	63.10	64.70	65.40	66.00	69.30	70.20	72.20	72.50	72.90	73.00
5	62.90	64.50	65.10	65.70	68.80	69.60	71.20	71.30	71.40	71.40
6	62.80	64.30	64.80	65.40	68.20	69.00	70.30	70.30	70.30	70.30
7	62.60	64.10	64.60	65.10	67.80	68.40	69.30	69.00	68.50	68.30
Q(l/s)	2.97	3.49	3.99	4.42	5.87	6.50	8.31	9.22	10.48	10.90
Q(m ³ /s)	0.0030	0.0035	0.0040	0.0044	0.0059	0.0065	0.0083	0.0092	0.0105	0.0109
v(m/s)	0.32	0.37	0.43	0.47	0.63	0.69	0.89	0.98	1.12	1.16
Re	35104	41260	47128	52214	69330	76696	98147	108857	123756	128740
hm (cm)	0.20	0.20	0.30	0.30	0.50	0.60	1.00	1.00	1.50	1.60
hm (m)	0.0020	0.0020	0.0030	0.0030	0.0050	0.0060	0.0100	0.0120	0.0150	0.0160
hf1 (cm)	0.10	0.20	0.30	0.30	0.60	0.60	0.90	1.00	1.10	1.10
hf2 (cm)	0.20	0.20	0.20	0.30	0.40	0.60	1.00	1.30	1.80	2.00
hf (m)	0.0030	0.0040	0.0050	0.0060	0.0100	0.0120	0.0190	0.0230	0.0290	0.0310
f	0.0230	0.0222	0.0213	0.0208	0.0197	0.0193	0.0186	0.0183	0.0179	0.0177
ks	1.45E-05	1.40E-05	3.88E-06	3.72E-06	5.88E-06	6.40E-06	1.26E-05	1.37E-05	1.29E-05	1.11E-05
km	0.3903	0.2825	0.3248	0.2646	0.2501	0.2453	0.2496	0.2435	0.2355	0.2321
ks/d	1.32E-04	1.28E-04	3.55E-05	3.40E-05	5.38E-05	5.86E-05	1.15E-04	1.25E-04	1.18E-04	1.01E-04

VERTEDERO No 3 (CCP)

Ho= 12,19 $Q = 0.008 \cdot H^{2.541}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	9,87E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	23.35	25.06	26.22	27.11	27.78	28.93	29.79	30.20	31.14	31.89
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	62.90	64.90	66.60	67.80	68.70	69.50	71.10	71.30	72.00	72.80
10	62.80	64.70	66.30	67.40	68.20	68.80	70.20	70.30	70.70	71.20
Q(l/s)	3.67	5.28	6.57	7.68	8.59	10.30	11.69	12.40	14.11	15.57
Q(m ³ /s)	0.0037	0.0053	0.0066	0.0077	0.0086	0.0103	0.0117	0.0124	0.0141	0.0156
v(m/s)	0.26	0.37	0.46	0.54	0.60	0.72	0.82	0.87	0.99	1.09
Re	35115	50444	62813	73438	82110	98386	111743	118477	134827	148803
hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.70	0.90	1.00	1.30	1.60
hf (m)	0.0010	0.0020	0.0030	0.0040	0.0050	0.0070	0.0090	0.0100	0.0130	0.0160
f	0.0254	0.0247	0.0238	0.0233	0.0233	0.0227	0.0226	0.0223	0.0224	0.0227
ks	1.43E-04	1.69E-04	1.60E-04	1.52E-04	1.63E-04	1.55E-04	1.62E-04	1.55E-04	1.67E-04	1.83E-04
ks/d	1.06E-03	1.25E-03	1.19E-03	1.12E-03	1.21E-03	1.15E-03	1.20E-03	1.15E-03	1.24E-03	1.35E-03

PRUEBAS DE PIEZÓMETROS

FECHA 13-abr-09
PRUEBA DIA No 60
PRUEBAS REALIZADAS 10
T°C 23,3

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)

Ho= 11,96 Q = 0.0115*H².4109

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	9,37E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,06	22,22	22,66	24,68	25,45	26,88	27,52	28,85	29,35	29,70
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	61,20	62,70	63,50	66,10	67,40	69,10	70,00	71,10	71,20	71,70
2	61,00	62,50	63,20	65,40	66,50	67,60	68,50	69,00	68,80	69,10
3	60,90	62,20	62,90	64,80	65,70	66,40	66,70	66,20	65,60	65,50
Q(l/s)	2,36	3,15	3,49	5,29	6,10	7,77	8,60	10,48	11,24	11,80
Q(m ³ /s)	0,0024	0,0032	0,0035	0,0053	0,0061	0,0078	0,0086	0,0105	0,0112	0,0118
v(m/s)	0,32	0,43	0,47	0,72	0,83	1,06	1,17	1,42	1,53	1,60
Re	33110	44216	48926	74235	85536	109054	120675	147060	157776	165541
hf1 (cm)	0,20	0,20	0,30	0,70	0,90	1,50	1,50	2,10	2,40	2,60
hf2 (cm)	0,10	0,30	0,30	0,60	0,80	1,20	1,80	2,80	3,20	3,60
hf (m)	0,0030	0,0050	0,0060	0,0130	0,0170	0,0270	0,0330	0,0490	0,0560	0,0620
f	0,0232	0,0217	0,0213	0,0200	0,0197	0,0193	0,0192	0,0192	0,0191	0,0192
ks	1,01E-05	7,17E-06	8,14E-06	1,95E-05	2,40E-05	3,04E-05	3,53E-05	4,49E-05	4,51E-05	4,92E-05
ks/d	1,05E-04	7,40E-05	8,41E-05	2,02E-04	2,48E-04	3,14E-04	3,65E-04	4,64E-04	4,66E-04	5,08E-04

VERTEDERO No 2 (PVC)

Ho= 11,77 Q = 0.011*H².398

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	9,37E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,17	22,84	23,47	24,40	25,16	25,77	26,34	26,54	27,45	28,80
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	61,90	64,70	65,20	67,10	68,20	70,10	71,40	71,80	72,20	72,70
5	61,70	64,50	64,90	66,70	67,80	69,60	70,80	71,10	71,30	71,50
6	61,60	64,30	64,70	66,40	67,50	69,20	70,00	70,30	70,40	70,40
7	61,50	64,10	64,40	66,00	66,90	68,50	69,50	69,70	69,50	68,90
Q(l/s)	2,37	3,51	4,01	4,81	5,54	6,16	6,78	7,01	8,09	9,86
Q(m ³ /s)	0,0024	0,0035	0,0040	0,0048	0,0055	0,0062	0,0068	0,0070	0,0081	0,0099
v(m/s)	0,25	0,37	0,43	0,51	0,59	0,66	0,72	0,75	0,86	1,05
Re	29485	43643	49837	59870	68876	76641	84338	87140	100574	122602
hm (cm)	0,20	0,20	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60	0,70	0,90	1,20
hm (m)	0,0020	0,0020	0,0030	0,0040	0,0040	0,0050	0,0060	0,0070	0,0090	0,0120
hf1 (cm)	0,10	0,20	0,20	0,30	0,30	0,40	0,80	0,80	0,90	1,10
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,40	0,60	0,70	0,50	0,60	0,90	1,50
hf (m)	0,0020	0,0040	0,0050	0,0070	0,0090	0,0110	0,0130	0,0140	0,0180	0,0260
f	0,0241	0,0220	0,0211	0,0205	0,0199	0,0196	0,0192	0,0193	0,0187	0,0181
ks	2,29E-05	1,64E-05	6,48E-06	1,14E-05	1,10E-05	1,50E-05	1,21E-05	1,89E-05	1,47E-05	1,70E-05
km	0,6135	0,2801	0,3221	0,2976	0,2249	0,2270	0,2250	0,2459	0,2373	0,2129
ks/d	2,10E-04	1,50E-04	5,93E-05	1,05E-04	1,01E-04	1,37E-04	1,11E-04	1,73E-04	1,34E-04	1,56E-04

VERTEDERO No 3 (CCP)

Ho= 12,19 Q = 0.008*H².541

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	9,37E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	23,34	25,03	26,21	27,15	27,83	28,89	29,35	30,48	31,20	31,70
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	63,00	64,90	66,60	67,80	68,70	69,50	70,60	71,50	72,00	72,60
10	62,90	64,70	66,30	67,40	68,20	68,80	69,80	70,40	70,70	71,10
Q(l/s)	3,67	5,25	6,56	7,74	8,66	10,23	10,96	12,89	14,22	15,19
Q(m ³ /s)	0,0037	0,0052	0,0066	0,0077	0,0087	0,0102	0,0110	0,0129	0,0142	0,0152
v(m/s)	0,26	0,37	0,46	0,54	0,61	0,71	0,77	0,90	0,99	1,06
Re	36897	52812	66032	77870	87182	102989	110352	129764	143141	152902
hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,70	0,80	1,10	1,30	1,50
hf (m)	0,0010	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0070	0,0080	0,0110	0,0130	0,0150
f	0,0256	0,0249	0,0239	0,0229	0,0229	0,0230	0,0229	0,0227	0,0221	0,0223
ks	1,60E-04	1,91E-04	1,71E-04	1,44E-04	1,53E-04	1,70E-04	1,71E-04	1,77E-04	1,57E-04	1,70E-04
ks/d	1,19E-03	1,42E-03	1,26E-03	1,07E-03	1,13E-03	1,26E-03	1,27E-03	1,31E-03	1,16E-03	1,26E-03

PRUEBAS DE PIEZÓMETROS

FECHA 17-abr-09
 PRUEBA DIA No 64
 PRUEBAS REALIZADAS 10
 T°C 25,0

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)

Ho= 11,96 $Q = 0.0115 \cdot H^{2.4109}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	9,03E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,06	22,23	22,67	23,40	24,23	25,45	26,16	27,66	28,11	29,39
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	61,20	62,60	63,70	64,50	65,50	67,30	68,40	70,10	70,50	71,40
2	61,10	62,50	63,60	64,20	64,90	66,50	67,30	68,40	68,60	68,80
3	60,90	62,10	63,10	63,70	64,40	65,60	66,20	66,80	66,70	66,30
Q(l/s)	2,36	3,16	3,49	4,10	4,85	6,10	6,90	8,79	9,41	11,31
Q(m ³ /s)	0,0024	0,0032	0,0035	0,0041	0,0049	0,0061	0,0069	0,0088	0,0094	0,0113
v(m/s)	0,32	0,43	0,47	0,56	0,66	0,83	0,94	1,19	1,28	1,54
Re	34354	45986	50880	59647	70620	88751	100434	127945	136966	164616
hf1 (cm)	0,10	0,10	0,10	0,30	0,60	0,80	1,10	1,70	1,90	2,60
hf2 (cm)	0,20	0,40	0,50	0,50	0,50	0,90	1,10	1,60	1,90	2,50
hf (m)	0,0030	0,0050	0,0060	0,0080	0,0110	0,0170	0,0220	0,0330	0,0380	0,0510
f	0,0232	0,0216	0,0212	0,0205	0,0202	0,0197	0,0199	0,0184	0,0185	0,0172
ks	1,66E-05	9,51E-06	1,03E-05	1,16E-05	1,83E-05	2,67E-05	3,97E-05	2,26E-05	2,76E-05	1,36E-05
ks/d	1,71E-04	9,83E-05	1,07E-04	1,20E-04	1,89E-04	2,75E-04	4,10E-04	2,33E-04	2,85E-04	1,41E-04

VERTEDERO No 2 (PVC)

Ho= 11,77 $Q = 0.011 \cdot H^{2.398}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	9,03E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,18	22,18	22,83	24,00	24,79	25,46	26,06	26,52	27,20	28,44
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	61,90	63,20	64,70	66,00	67,70	69,20	70,20	71,80	72,10	72,60
5	61,70	63,00	64,50	65,70	67,30	68,80	69,60	71,20	71,30	71,50
6	61,60	62,90	64,20	65,40	67,10	68,30	69,00	70,50	70,50	70,60
7	61,50	62,70	64,10	65,10	66,50	67,80	68,40	69,80	69,60	69,10
Q(l/s)	2,38	3,03	3,50	4,46	5,18	5,84	6,47	6,98	7,78	9,37
Q(m ³ /s)	0,0024	0,0030	0,0035	0,0045	0,0052	0,0058	0,0065	0,0070	0,0078	0,0094
v(m/s)	0,25	0,32	0,37	0,48	0,55	0,62	0,69	0,74	0,83	1,00
Re	30672	39077	45185	57507	66821	75365	83530	90123	100409	120858
hm (cm)	0,20	0,20	0,20	0,30	0,40	0,40	0,60	0,60	0,80	1,10
hm (m)	0,0020	0,0020	0,0020	0,0030	0,0040	0,0040	0,0060	0,0060	0,0080	0,0110
hf1 (cm)	0,10	0,10	0,30	0,30	0,20	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,10	0,30	0,60	0,50	0,60	0,70	0,90	1,50
hf (m)	0,0020	0,0030	0,0040	0,0060	0,0080	0,0100	0,0120	0,0140	0,0170	0,0240
f	0,0240	0,0222	0,0221	0,0205	0,0202	0,0199	0,0194	0,0195	0,0190	0,0185
ks	2,64E-05	3,59E-06	2,49E-05	6,69E-06	1,68E-05	1,95E-05	1,73E-05	2,47E-05	2,30E-05	2,46E-05
km	0,6104	0,3761	0,2813	0,2605	0,2572	0,2022	0,2469	0,2121	0,2278	0,2162
ks/d	2,41E-04	3,29E-05	2,28E-04	6,13E-05	1,53E-04	1,79E-04	1,58E-04	2,26E-04	2,10E-04	2,26E-04

VERTEDERO No 3 (CCP)

Ho= 12,19 $Q = 0.008 \cdot H^{2.541}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	9,03E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	25,04	26,22	27,14	27,80	28,36	28,80	29,40	29,67	30,74	30,83
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	64,90	66,60	67,80	68,70	69,00	69,50	70,50	70,90	71,70	71,80
10	64,70	66,30	67,40	68,20	68,40	68,80	69,70	70,00	70,50	70,60
Q(l/s)	5,26	6,57	7,72	8,62	9,43	10,09	11,05	11,49	13,36	13,53
Q(m ³ /s)	0,0053	0,0066	0,0077	0,0086	0,0094	0,0101	0,0110	0,0115	0,0134	0,0135
v(m/s)	0,37	0,46	0,54	0,60	0,66	0,71	0,77	0,80	0,93	0,95
Re	54906	68639	80661	90019	98453	105404	115350	120004	139560	141287
hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,20	1,20
hf (m)	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0070	0,0080	0,0090	0,0120	0,0120
f	0,0248	0,0238	0,0230	0,0231	0,0232	0,0236	0,0225	0,0234	0,0231	0,0225
ks	1,92E-04	1,71E-04	1,51E-04	1,66E-04	1,77E-04	2,01E-04	1,60E-04	2,01E-04	1,96E-04	1,74E-04
ks/d	1,42E-03	1,27E-03	1,12E-03	1,23E-03	1,31E-03	1,49E-03	1,19E-03	1,49E-03	1,45E-03	1,29E-03

FECHA 23-abr-09
PRUEBA DIA No 70
PRUEBAS REALIZADAS 10
T°C 25,4

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)

Ho= 11,96

$$Q = 0.0115 * H^{2.4109}$$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	8,97E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,09	21,69	21,73	22,24	23,05	23,38	23,96	24,46	24,91	26,19
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	61,20	61,90	62,00	62,90	64,00	64,50	65,10	65,80	66,40	68,60
2	60,90	61,80	61,90	62,60	63,60	64,20	64,40	65,20	65,90	67,40
3	60,90	61,50	61,60	62,40	63,30	63,70	64,10	64,60	65,00	66,40
Q(l/s)	2,38	2,77	2,80	3,17	3,80	4,08	4,60	5,07	5,52	6,93
Q(m ³ /s)	0,0024	0,0028	0,0028	0,0032	0,0038	0,0041	0,0046	0,0051	0,0055	0,0069
v(m/s)	0,32	0,38	0,38	0,43	0,52	0,55	0,62	0,69	0,75	0,94
Re	34879	40664	41068	46428	55743	59826	67416	74388	81010	101678
hf1 (cm)	0,30	0,10	0,10	0,30	0,40	0,30	0,70	0,60	0,50	1,20
hf2 (cm)	0,00	0,30	0,30	0,20	0,30	0,50	0,30	0,60	0,90	1,00
hf (m)	0,0030	0,0040	0,0040	0,0050	0,0070	0,0080	0,0100	0,0120	0,0140	0,0220
f	0,0229	0,0224	0,0220	0,0215	0,0209	0,0207	0,0204	0,0201	0,0198	0,0197
ks	6,82E-06	1,71E-05	4,98E-06	7,88E-06	1,30E-05	1,64E-05	2,00E-05	2,16E-05	2,11E-05	3,60E-05
ks/d	7,05E-05	1,76E-04	5,14E-05	8,14E-05	1,35E-04	1,69E-04	2,06E-04	2,24E-04	2,18E-04	3,71E-04

VERTEDERO No 2 (PVC)

Ho= 11,77

$$Q = 0.011 * H^{2.398}$$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	8,97E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	19,76	21,22	22,86	22,90	23,48	23,97	25,10	25,67	25,99	27,36
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	60,50	62,00	64,70	64,70	65,10	66,00	67,80	69,90	70,20	72,10
5	60,40	61,90	64,50	64,50	64,90	65,70	67,40	69,40	69,70	71,20
6	60,40	61,80	64,30	64,30	64,70	65,40	67,10	69,00	69,20	70,30
7	60,30	61,70	64,10	64,10	64,40	65,10	66,50	68,30	68,50	69,40
Q(l/s)	1,61	2,40	3,52	3,56	4,02	4,43	5,48	6,06	6,40	7,98
Q(m ³ /s)	0,0016	0,0024	0,0035	0,0036	0,0040	0,0044	0,0055	0,0061	0,0064	0,0080
v(m/s)	0,17	0,26	0,38	0,38	0,43	0,47	0,58	0,65	0,68	0,85
Re	20870	31210	45809	46207	52193	57584	71212	78733	83150	103670
hm (cm)	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,30	0,40	0,50	0,50	0,90
hm (m)	0,0010	0,0010	0,0020	0,0020	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0050	0,0090
hf1 (cm)	0,00	0,10	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30	0,40	0,50	0,90
hf2 (cm)	0,10	0,10	0,20	0,20	0,30	0,30	0,60	0,70	0,70	0,90
hf (m)	0,0010	0,0020	0,0040	0,0040	0,0050	0,0060	0,0090	0,0110	0,0120	0,0180
f	0,0263	0,0235	0,0218	0,0214	0,0210	0,0207	0,0203	0,0203	0,0199	0,0192
ks	3,46E-05	1,04E-05	1,74E-05	6,51E-06	1,02E-05	1,38E-05	2,60E-05	3,55E-05	2,85E-05	2,87E-05
km	0,6688	0,2991	0,2776	0,2729	0,2139	0,2636	0,2298	0,2350	0,2107	0,2439
ks/d	3,16E-04	9,52E-05	1,59E-04	5,95E-05	9,29E-05	1,27E-04	2,38E-04	3,25E-04	2,61E-04	2,62E-04

VERTEDERO No 3 (CCP)

Ho= 12,19

$$Q = 0.008 * H^{2.541}$$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	8,97E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	23,35	25,07	26,25	27,10	27,73	28,30	28,86	29,74	30,10	30,37
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	62,90	64,90	66,50	67,70	68,90	69,00	69,40	70,90	71,20	71,40
10	62,80	64,70	66,20	67,30	68,40	68,40	68,70	70,00	70,20	70,30
Q(l/s)	3,67	5,29	6,61	7,67	8,52	9,34	10,19	11,61	12,22	12,70
Q(m ³ /s)	0,0037	0,0053	0,0066	0,0077	0,0085	0,0093	0,0102	0,0116	0,0122	0,0127
v(m/s)	0,26	0,37	0,46	0,54	0,60	0,65	0,71	0,81	0,85	0,89
Re	38650	55633	69513	80694	89642	98234	107145	122107	128573	133555
hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,90	1,00	1,10
hf (m)	0,0010	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0070	0,0090	0,0100	0,0110
f	0,0254	0,0246	0,0236	0,0233	0,0236	0,0236	0,0232	0,0229	0,0230	0,0234
ks	1,64E-04	1,79E-04	1,61E-04	1,65E-04	1,89E-04	1,96E-04	1,83E-04	1,82E-04	1,88E-04	2,10E-04
ks/d	1,21E-03	1,32E-03	1,19E-03	1,22E-03	1,40E-03	1,45E-03	1,35E-03	1,35E-03	1,39E-03	1,55E-03

PRUEBAS DE PIEZÓMETROS

FECHA 29-abr-09
PRUEBA DIA No 76
PRUEBAS REALIZADAS 10
T°C 18,8

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)

Ho= 11,96 Q = 0.0115*H^{2.4109}

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	1,04E-06

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,01	22,12	22,19	22,60	22,97	23,62	24,39	25,03	25,58	26,30
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	61,20	62,50	62,50	63,60	64,00	64,90	65,60	66,50	67,40	68,50
2	61,00	62,30	62,40	63,30	63,60	64,40	64,80	65,90	66,50	67,30
3	60,90	62,00	62,00	63,00	63,30	64,00	64,40	65,00	65,60	66,20
Q(l/s)	2,33	3,08	3,13	3,44	3,74	4,29	5,00	5,65	6,24	7,06
Q(m3/s)	0,0023	0,0031	0,0031	0,0034	0,0037	0,0043	0,0050	0,0056	0,0062	0,0071
v(m/s)	0,32	0,42	0,42	0,47	0,51	0,58	0,68	0,77	0,85	0,96
Re	29549	39056	39708	43653	47403	54434	63507	71679	79168	89637
hf1 (cm)	0,20	0,20	0,10	0,30	0,40	0,50	0,80	0,60	0,90	1,20
hf2 (cm)	0,10	0,30	0,40	0,30	0,30	0,40	0,40	0,90	0,90	1,10
hf (m)	0,0030	0,0050	0,0050	0,0060	0,0070	0,0090	0,0120	0,0150	0,0180	0,0230
f	0,0238	0,0228	0,0220	0,0219	0,0216	0,0211	0,0207	0,0203	0,0199	0,0199
ks	1,10E-05	2,16E-05	8,08E-07	9,86E-06	1,41E-05	1,58E-05	2,07E-05	2,24E-05	2,29E-05	3,08E-05
ks/d	1,14E-04	2,23E-04	8,35E-06	1,02E-04	1,46E-04	1,63E-04	2,14E-04	2,31E-04	2,37E-04	3,18E-04

VERTEDERO No 2 (PVC)

Ho= 11,77 Q = 0.0111*H^{2.398}

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	1,04E-06

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	19,70	22,10	22,80	23,33	23,88	24,33	25,33	26,83	27,20	27,90
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	60,40	63,10	64,50	65,10	65,80	66,90	68,90	71,90	72,10	72,40
5	60,30	62,90	64,30	64,90	65,50	66,60	68,50	71,20	71,30	71,40
6	60,20	62,70	64,10	64,70	65,20	66,10	68,20	70,40	70,40	70,40
7	60,20	62,60	63,90	64,40	64,90	65,90	67,50	69,60	69,50	69,20
Q(l/s)	1,58	2,97	3,48	3,89	4,35	4,75	5,71	7,34	7,78	8,66
Q(m3/s)	0,0016	0,0030	0,0035	0,0039	0,0044	0,0048	0,0057	0,0073	0,0078	0,0087
v(m/s)	0,17	0,32	0,37	0,42	0,46	0,51	0,61	0,78	0,83	0,92
Re	17736	33436	39129	43791	48954	53430	64205	82572	87520	97345
hm (cm)	0,10	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30	0,40	0,70	0,80	1,00
hm (m)	0,0010	0,0020	0,0020	0,0020	0,0030	0,0030	0,0040	0,0070	0,0080	0,0100
hf1 (cm)	0,10	0,20	0,20	0,20	0,30	0,50	0,30	0,80	0,90	1,00
hf2 (cm)	0,00	0,10	0,20	0,30	0,30	0,20	0,70	0,80	0,90	1,20
hf (m)	0,0010	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0070	0,0100	0,0160	0,0180	0,0220
f	0,0273	0,0230	0,0224	0,0224	0,0215	0,0210	0,0208	0,0201	0,0201	0,0199
ks	3,33E-05	5,00E-06	1,18E-05	2,87E-05	1,54E-05	1,35E-05	2,88E-05	3,44E-05	4,00E-05	4,19E-05
km	0,6935	0,3903	0,2850	0,2275	0,2731	0,2292	0,2117	0,2240	0,2278	0,2302
ks/d	3,05E-04	4,58E-05	1,08E-04	2,63E-04	1,41E-04	1,24E-04	2,63E-04	3,15E-04	3,66E-04	3,84E-04

VERTEDERO No 3 (CCP)

Ho= 12,19 Q = 0.008*H^{2.541}

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	1,04E-06

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	23,25	25,02	26,13	27,00	27,67	28,27	28,77	29,20	29,57	30,10
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	62,90	64,90	66,40	67,70	68,30	69,00	69,40	70,20	70,80	71,20
10	62,80	64,70	66,10	67,30	67,80	68,40	68,70	69,40	69,90	70,20
Q(l/s)	3,59	5,24	6,47	7,54	8,44	9,30	10,05	10,72	11,33	12,22
Q(m3/s)	0,0036	0,0052	0,0065	0,0075	0,0084	0,0093	0,0100	0,0107	0,0113	0,0122
v(m/s)	0,25	0,37	0,45	0,53	0,59	0,65	0,70	0,75	0,79	0,85
Re	32690	47669	58858	68646	76814	84607	91453	97601	103086	111262
hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
hf (m)	0,0010	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0070	0,0080	0,0090	0,0100
f	0,0266	0,0250	0,0246	0,0242	0,0241	0,0239	0,0238	0,0239	0,0241	0,0230
ks	1,97E-04	1,81E-04	1,91E-04	1,86E-04	1,96E-04	1,94E-04	1,99E-04	2,08E-04	2,22E-04	1,78E-04
ks/d	1,46E-03	1,34E-03	1,41E-03	1,38E-03	1,45E-03	1,43E-03	1,47E-03	1,54E-03	1,65E-03	1,32E-03

PRUEBAS DE PIEZÓMETROS

FECHA 05-may-09
PRUEBA DIA No 82
PRUEBAS REALIZADAS 10
T°C 17,9

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)

Ho= 11,96 $Q = 0.0115 \cdot H^{2.4109}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	1,06E-06

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	20,98	21,60	22,12	22,53	22,96	23,87	24,80	25,55	25,80	26,03
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	61,20	61,90	62,50	63,20	64,00	64,90	66,20	67,40	68,00	68,20
2	61,10	61,70	62,20	62,90	63,60	64,30	65,40	66,50	66,90	67,10
3	60,90	61,50	62,00	62,60	63,30	63,90	64,80	65,60	66,00	66,10
Q(l/s)	2,31	2,71	3,08	3,39	3,73	4,51	5,41	6,21	6,48	6,75
Q(m ³ /s)	0,0023	0,0027	0,0031	0,0034	0,0037	0,0045	0,0054	0,0062	0,0065	0,0067
v(m/s)	0,31	0,37	0,42	0,46	0,51	0,61	0,73	0,84	0,88	0,92
Re	28652	33633	38174	41995	46232	55997	67126	76972	80430	83690
hf1 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,30	0,40	0,60	0,80	0,90	1,10	1,10
hf2 (cm)	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30	0,40	0,60	0,90	0,90	1,00
hf (m)	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0070	0,0100	0,0140	0,0180	0,0200	0,0210
f	0,0242	0,0235	0,0228	0,0226	0,0217	0,0211	0,0206	0,0201	0,0205	0,0199
ks	1,92E-05	2,07E-05	1,81E-05	2,61E-05	1,36E-05	2,07E-05	2,48E-05	2,56E-05	3,77E-05	2,61E-05
ks/d	1,98E-04	2,14E-04	1,87E-04	2,70E-04	1,40E-04	2,13E-04	2,56E-04	2,64E-04	3,89E-04	2,69E-04

VERTEDERO No 2 (PVC)

Ho= 11,77 $Q = 0.011 \cdot H^{2.398}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	1,06E-06

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,12	22,00	22,76	23,84	24,27	24,64	25,01	25,87	26,58	26,97
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	61,90	63,10	64,30	65,70	66,70	67,50	67,80	70,10	71,80	72,00
5	61,70	62,90	64,10	65,40	66,40	67,10	67,40	69,60	71,20	71,30
6	61,60	62,70	63,80	65,10	66,10	66,60	67,00	69,00	70,50	70,50
7	61,50	62,60	63,70	64,80	65,70	66,30	66,50	68,40	69,70	69,60
Q(l/s)	2,34	2,90	3,45	4,32	4,70	5,04	5,39	6,27	7,05	7,51
Q(m ³ /s)	0,0023	0,0029	0,0034	0,0043	0,0047	0,0050	0,0054	0,0063	0,0071	0,0075
v(m/s)	0,25	0,31	0,37	0,46	0,50	0,54	0,57	0,67	0,75	0,80
Re	25734	31928	37915	47471	51628	55369	59263	68916	77533	82520
hm (cm)	0,20	0,20	0,30	0,30	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60	0,70
hm (m)	0,0020	0,0020	0,0020	0,0030	0,0030	0,0040	0,0040	0,0050	0,0060	0,0070
hf1 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,30	0,30	0,50	0,40	0,60	0,70	0,80
hf2 (cm)	0,10	0,10	0,10	0,30	0,40	0,30	0,50	0,60	0,80	0,90
hf (m)	0,0020	0,0030	0,0040	0,0060	0,0070	0,0080	0,0090	0,0120	0,0150	0,0170
f	0,0247	0,0241	0,0228	0,0218	0,0215	0,0214	0,0210	0,0207	0,0204	0,0204
ks	1,80E-05	3,95E-05	2,06E-05	2,22E-05	2,42E-05	2,89E-05	2,54E-05	3,33E-05	3,74E-05	4,32E-05
km	0,6294	0,4089	0,2900	0,2775	0,2346	0,2719	0,2374	0,2194	0,2080	0,2142
ks/d	1,65E-04	3,61E-04	1,88E-04	2,03E-04	2,21E-04	2,64E-04	2,32E-04	3,05E-04	3,43E-04	3,96E-04

VERTEDERO No 3 (CCP)

Ho= 12,19 $Q = 0.008 \cdot H^{2.541}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	1,06E-06

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	23,30	24,98	26,10	26,88	27,64	28,22	28,75	29,18	29,61	30,02
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	63,00	64,80	66,40	67,50	68,20	69,00	69,40	69,70	70,90	71,20
10	62,90	64,60	66,10	67,10	67,70	68,40	68,70	68,90	70,00	70,20
Q(l/s)	3,63	5,20	6,43	7,39	8,40	9,22	10,02	10,69	11,39	12,09
Q(m ³ /s)	0,0036	0,0052	0,0064	0,0074	0,0084	0,0092	0,0100	0,0107	0,0114	0,0121
v(m/s)	0,25	0,36	0,45	0,52	0,59	0,64	0,70	0,75	0,80	0,84
Re	32321	46225	57216	65724	74712	82046	89115	95113	101350	107522
hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
hf (m)	0,0010	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0070	0,0080	0,0090	0,0100
f	0,0260	0,0254	0,0249	0,0252	0,0244	0,0242	0,0240	0,0240	0,0238	0,0235
ks	1,58E-04	1,97E-04	2,01E-04	2,33E-04	2,05E-04	2,09E-04	2,04E-04	2,13E-04	2,08E-04	1,98E-04
ks/d	1,17E-03	1,46E-03	1,49E-03	1,72E-03	1,52E-03	1,55E-03	1,51E-03	1,58E-03	1,54E-03	1,47E-03

PRUEBAS DE PIEZÓMETROS

FECHA 06-may-09
 PRUEBA DIA No 83
 PRUEBAS REALIZADAS 10
 T°C 21,9

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)

Ho= 11,96 Q = 0.0115*H^2.4109

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	9,65E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,06	22,09	22,18	22,59	22,96	23,30	23,90	24,60	25,18	26,02
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	61,20	62,30	62,70	63,20	64,00	64,40	65,00	66,00	66,70	68,20
2	61,10	62,00	62,50	62,80	63,60	63,90	64,40	65,40	66,00	67,10
3	60,90	61,80	62,20	62,60	63,30	63,60	64,00	64,70	65,10	66,10
Q(l/s)	2,36	3,06	3,12	3,43	3,73	4,01	4,54	5,21	5,81	6,74
Q(m ³ /s)	0,0024	0,0031	0,0031	0,0034	0,0037	0,0040	0,0045	0,0052	0,0058	0,0067
v(m/s)	0,32	0,41	0,42	0,47	0,51	0,54	0,62	0,71	0,79	0,91
Re	32149	41634	42531	46762	50783	54650	61883	70994	79104	91770
hf1 (cm)	0,10	0,30	0,20	0,40	0,40	0,50	0,60	0,60	0,70	1,10
hf2 (cm)	0,20	0,20	0,30	0,20	0,30	0,30	0,40	0,70	0,90	1,00
hf (m)	0,0030	0,0050	0,0050	0,0060	0,0070	0,0080	0,0100	0,0130	0,0160	0,0210
f	0,0232	0,0231	0,0221	0,0220	0,0217	0,0214	0,0209	0,0206	0,0205	0,0200
ks	4,82E-06	4,17E-05	1,41E-05	2,20E-05	2,54E-05	2,58E-05	2,44E-05	3,07E-05	3,53E-05	3,43E-05
ks/d	4,98E-05	4,30E-04	1,45E-04	2,27E-04	2,62E-04	2,66E-04	2,52E-04	3,17E-04	3,64E-04	3,54E-04

VERTEDERO No 2 (PVC)

Ho= 11,77 Q = 0.0111*H2.398

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	9,65E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	19,74	22,05	22,78	23,36	23,90	24,58	25,00	25,60	26,63	27,00
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	60,50	63,10	64,40	65,10	65,80	67,40	67,80	69,40	71,80	72,00
5	60,40	62,90	64,20	64,90	65,60	67,10	67,40	69,00	71,20	71,30
6	60,40	62,70	64,00	64,70	65,30	66,60	67,00	68,40	70,40	70,40
7	60,30	62,60	63,80	64,40	65,00	66,30	66,50	67,90	69,70	69,60
Q(l/s)	1,60	2,94	3,46	3,92	4,37	4,98	5,38	5,99	7,11	7,54
Q(m ³ /s)	0,0016	0,0029	0,0035	0,0039	0,0044	0,0050	0,0054	0,0060	0,0071	0,0075
v(m/s)	0,17	0,31	0,37	0,42	0,47	0,53	0,57	0,64	0,76	0,80
Re	19274	35483	41828	47308	52767	60141	64978	72270	85855	91071
hm (cm)	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,30	0,40	0,40	0,60	0,70
hm (m)	0,0010	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0030	0,0040	0,0040	0,0060	0,0070
hf1 (cm)	0,00	0,20	0,20	0,20	0,30	0,50	0,40	0,60	0,80	0,90
hf2 (cm)	0,10	0,10	0,20	0,30	0,30	0,30	0,50	0,50	0,70	0,80
hf (m)	0,0010	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0080	0,0090	0,0110	0,0150	0,0170
f	0,0266	0,0235	0,0226	0,0221	0,0213	0,0219	0,0211	0,0208	0,0201	0,0203
ks	2,62E-05	3,74E-05	2,99E-05	3,07E-05	2,03E-05	5,42E-05	3,80E-05	4,14E-05	3,75E-05	4,61E-05
km	0,6769	0,3994	0,2874	0,2247	0,1806	0,2086	0,2382	0,1926	0,2047	0,2122
ks/d	2,40E-04	3,42E-04	2,74E-04	2,81E-04	1,85E-04	4,96E-04	3,48E-04	3,79E-04	3,43E-04	4,22E-04

VERTEDERO No 3 (CCP)

Ho= 12,19 Q = 0.008*H2.541

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	9,65E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	23,29	23,33	25,00	26,12	26,93	27,61	28,24	28,67	29,15	29,56
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	62,90	62,90	64,90	66,50	67,70	68,60	69,00	69,40	69,60	70,80
10	62,80	62,80	64,70	66,20	67,30	68,10	68,40	68,70	68,80	69,90
Q(l/s)	3,62	3,66	5,22	6,45	7,45	8,36	9,25	9,89	10,64	11,31
Q(m ³ /s)	0,0036	0,0037	0,0052	0,0065	0,0075	0,0084	0,0093	0,0099	0,0106	0,0113
v(m/s)	0,25	0,26	0,36	0,45	0,52	0,58	0,65	0,69	0,74	0,79
Re	35421	35746	50977	63077	72818	81660	90407	96689	104006	110515
hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0,10	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
hf (m)	0,0010	0,0010	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0070	0,0080	0,0090
f	0,0261	0,0257	0,0252	0,0247	0,0247	0,0246	0,0241	0,0246	0,0243	0,0242
ks	1,86E-04	1,60E-04	2,02E-04	2,05E-04	2,22E-04	2,26E-04	2,10E-04	2,40E-04	2,31E-04	2,31E-04
ks/d	1,38E-03	1,19E-03	1,50E-03	1,52E-03	1,64E-03	1,68E-03	1,56E-03	1,78E-03	1,71E-03	1,71E-03

PRUEBAS DE PIEZÓMETROS

FECHA 12-may-09
PRUEBA DIA No 89
PRUEBAS REALIZADAS 10
T°C 25,2

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)

Ho= 11,96 Q = 0.0115*H²*2.4109

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	9,00E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,00	22,17	22,21	22,60	22,91	23,33	23,89	24,43	25,03	26,22
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	61,20	62,40	62,70	63,40	64,00	64,40	64,90	65,70	66,50	68,40
2	61,00	62,10	62,50	63,10	63,60	63,90	64,30	65,10	65,80	67,20
3	60,90	61,90	62,20	62,80	63,30	63,60	63,90	64,50	65,00	66,20
Q(l/s)	2,32	3,11	3,14	3,44	3,69	4,04	4,53	5,04	5,65	6,97
Q(m ³ /s)	0,0023	0,0031	0,0031	0,0034	0,0037	0,0040	0,0045	0,0050	0,0056	0,0070
v(m/s)	0,32	0,42	0,43	0,47	0,50	0,55	0,62	0,68	0,77	0,95
Re	33916	45482	45912	50238	53839	58953	66199	73655	82491	101775
hf1 (cm)	0,20	0,30	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,60	0,70	1,20
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,30	0,30	0,30	0,40	0,60	0,80	1,00
hf (m)	0,0030	0,0050	0,0050	0,0060	0,0070	0,0080	0,0100	0,0120	0,0150	0,0220
f	0,0240	0,0222	0,0218	0,0219	0,0222	0,0212	0,0210	0,0203	0,0203	0,0195
ks	4,09E-05	2,64E-05	1,52E-05	2,81E-05	4,63E-05	2,65E-05	3,31E-05	2,64E-05	3,39E-05	3,17E-05
ks/d	4,22E-04	2,73E-04	1,57E-04	2,90E-04	4,78E-04	2,74E-04	3,42E-04	2,73E-04	3,50E-04	3,27E-04

VERTEDERO No 2 (PVC)

Ho= 11,77 Q = 0.011*H²*2.398

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	9,00E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,20	22,10	22,78	23,36	23,82	24,26	24,70	25,35	26,15	26,80
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	62,00	63,10	64,60	65,20	65,80	66,70	67,50	68,90	70,80	71,90
5	61,80	62,90	64,40	65,00	65,60	66,40	67,20	68,50	70,30	71,30
6	61,80	62,70	64,30	64,90	65,40	66,10	66,80	68,00	69,70	70,50
7	61,60	62,60	64,00	64,50	65,00	65,70	66,40	67,50	69,00	69,70
Q(l/s)	2,39	2,97	3,46	3,92	4,30	4,69	5,09	5,73	6,57	7,31
Q(m ³ /s)	0,0024	0,0030	0,0035	0,0039	0,0043	0,0047	0,0051	0,0057	0,0066	0,0073
v(m/s)	0,25	0,32	0,37	0,42	0,46	0,50	0,54	0,61	0,70	0,78
Re	30924	38480	44836	50710	55671	60670	65922	74150	85060	94573
hm (cm)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30	0,40	0,50	0,60
hm (m)	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0030	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060
hf1 (cm)	0,00	0,20	0,10	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80
hf2 (cm)	0,20	0,10	0,30	0,40	0,40	0,40	0,40	0,50	0,70	0,80
hf (m)	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0070	0,0080	0,0100	0,0130	0,0160
f	0,0237	0,0230	0,0226	0,0221	0,0220	0,0216	0,0209	0,0207	0,0204	0,0203
ks	1,81E-05	3,11E-05	4,07E-05	4,03E-05	4,91E-05	4,67E-05	3,47E-05	3,93E-05	4,45E-05	5,05E-05
km	0,6042	0,3903	0,2874	0,2247	0,1864	0,2355	0,1994	0,2102	0,1997	0,1938
ks/d	1,66E-04	2,85E-04	3,73E-04	3,69E-04	4,49E-04	4,27E-04	3,17E-04	3,59E-04	4,07E-04	4,62E-04

VERTEDERO No 3 (CCP)

Ho= 12,19 Q = 0.008*H²*2.541

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	9,00E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	24,96	26,08	26,98	27,58	28,15	28,65	29,13	29,60	30,00	30,32
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	64,90	66,40	67,70	68,20	68,90	69,30	69,60	70,90	71,20	71,40
10	64,70	66,10	67,30	67,70	68,30	68,60	68,80	70,00	70,20	70,30
Q(l/s)	5,18	6,41	7,52	8,32	9,12	9,86	10,61	11,38	12,05	12,61
Q(m ³ /s)	0,0052	0,0064	0,0075	0,0083	0,0091	0,0099	0,0106	0,0114	0,0121	0,0126
v(m/s)	0,36	0,45	0,53	0,58	0,64	0,69	0,74	0,79	0,84	0,88
Re	54210	67120	78729	87100	95532	103322	111151	119155	126235	132079
hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10
hf (m)	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0070	0,0080	0,0090	0,0100	0,0110
f	0,0256	0,0251	0,0243	0,0248	0,0248	0,0247	0,0244	0,0239	0,0237	0,0238
ks	2,33E-04	2,31E-04	2,09E-04	2,45E-04	2,50E-04	2,53E-04	2,43E-04	2,23E-04	2,16E-04	2,24E-04
ks/d	1,73E-03	1,71E-03	1,55E-03	1,81E-03	1,85E-03	1,87E-03	1,80E-03	1,65E-03	1,60E-03	1,66E-03

PRUEBAS DE PIEZÓMETROS

FECHA 18-may-09
PRUEBA DIA No 95
PRUEBAS REALIZADAS 10
T°C 22,4

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)

Ho= 11,96 $Q = 0.0115 * H^{2.4109}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	9,56E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,00	22,15	22,53	22,85	23,29	23,85	24,61	25,02	25,39	25,96
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	61,20	62,40	63,20	63,90	64,30	64,90	65,90	66,50	67,10	68,20
2	61,00	62,00	62,90	63,50	63,90	64,50	65,10	65,70	66,20	67,20
3	60,90	61,90	62,60	63,20	63,50	63,90	64,60	65,00	65,40	66,10
Q(l/s)	2,32	3,10	3,39	3,64	4,00	4,50	5,22	5,64	6,03	6,67
Q(m ³ /s)	0,0023	0,0031	0,0034	0,0036	0,0040	0,0045	0,0052	0,0056	0,0060	0,0067
v(m/s)	0,32	0,42	0,46	0,49	0,54	0,61	0,71	0,77	0,82	0,91
Re	31956	42651	46587	50060	55076	61870	71838	77580	82985	91732
hf1 (cm)	0,20	0,40	0,30	0,40	0,40	0,40	0,80	0,80	0,90	1,00
hf2 (cm)	0,10	0,10	0,30	0,30	0,40	0,60	0,50	0,70	0,80	1,10
hf (m)	0,0030	0,0050	0,0060	0,0070	0,0080	0,0100	0,0130	0,0150	0,0170	0,0210
f	0,0240	0,0224	0,0226	0,0228	0,0215	0,0213	0,0206	0,0203	0,0201	0,0204
ks	3,04E-05	2,42E-05	4,01E-05	5,64E-05	2,92E-05	3,58E-05	2,98E-05	3,08E-05	3,15E-05	4,40E-05
ks/d	3,14E-04	2,50E-04	4,14E-04	5,82E-04	3,01E-04	3,69E-04	3,07E-04	3,19E-04	3,26E-04	4,54E-04

VERTEDERO No 2 (PVC)

Ho= 11,77 $Q = 0.011 * H^{2.398}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	9,56E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,09	22,75	23,82	24,31	24,71	24,98	25,85	26,59	26,78	27,90
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	61,80	64,50	65,80	66,90	67,50	67,80	70,10	71,80	71,90	72,40
5	61,60	64,30	65,60	66,70	67,20	67,50	69,60	71,20	71,30	71,50
6	61,50	64,10	65,50	66,40	66,80	67,00	68,90	70,40	70,40	70,50
7	61,40	63,90	65,00	66,00	66,40	66,60	68,40	69,70	69,70	69,30
Q(l/s)	2,32	3,44	4,30	4,73	5,10	5,36	6,25	7,06	7,28	8,66
Q(m ³ /s)	0,0023	0,0034	0,0043	0,0047	0,0051	0,0054	0,0062	0,0071	0,0073	0,0087
v(m/s)	0,25	0,37	0,46	0,50	0,54	0,57	0,67	0,75	0,78	0,92
Re	28329	41969	52453	57714	62228	65387	76193	86151	88823	105554
hm (cm)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30	0,50	0,60	0,60	0,90
hm (m)	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0030	0,0030	0,0050	0,0060	0,0060	0,0090
hf1 (cm)	0,10	0,20	0,10	0,30	0,40	0,50	0,70	0,80	0,90	1,00
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,50	0,40	0,40	0,40	0,50	0,70	0,70	1,20
hf (m)	0,0020	0,0040	0,0060	0,0070	0,0080	0,0090	0,0120	0,0150	0,0160	0,0220
f	0,0251	0,0229	0,0220	0,0212	0,0208	0,0212	0,0208	0,0204	0,0204	0,0199
ks	5,81E-05	4,13E-05	4,16E-05	2,81E-05	2,61E-05	4,33E-05	4,71E-05	4,48E-05	4,92E-05	4,77E-05
km	0,6392	0,2912	0,1864	0,1540	0,1987	0,1800	0,2209	0,2073	0,1951	0,2072
ks/d	5,32E-04	3,78E-04	3,81E-04	2,57E-04	2,39E-04	3,96E-04	4,31E-04	4,10E-04	4,50E-04	4,36E-04

VERTEDERO No 3 (CCP)

Ho= 12,19 $Q = 0.008 * H^{2.541}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	9,56E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	23,27	24,98	26,08	26,92	27,55	28,20	28,60	29,12	29,93	30,93
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	62,90	64,50	66,40	67,40	68,10	69,00	69,30	69,80	71,20	71,90
10	62,80	64,30	66,10	67,00	67,60	68,40	68,60	69,00	70,20	70,60
Q(l/s)	3,61	5,20	6,41	7,44	8,27	9,19	9,79	10,60	11,93	13,72
Q(m ³ /s)	0,0036	0,0052	0,0064	0,0074	0,0083	0,0092	0,0098	0,0106	0,0119	0,0137
v(m/s)	0,25	0,36	0,45	0,52	0,58	0,64	0,68	0,74	0,83	0,96
Re	35610	51280	63241	73417	81660	90730	96601	104570	117756	135363
hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	1,00	1,30
hf (m)	0,0010	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0070	0,0080	0,0100	0,0130
f	0,0264	0,0254	0,0251	0,0248	0,0251	0,0244	0,0251	0,0245	0,0241	0,0237
ks	2,01E-04	2,14E-04	2,24E-04	2,27E-04	2,52E-04	2,26E-04	2,67E-04	2,42E-04	2,33E-04	2,24E-04
ks/d	1,49E-03	1,58E-03	1,66E-03	1,68E-03	1,86E-03	1,67E-03	1,98E-03	1,79E-03	1,73E-03	1,66E-03

PRUEBAS DE PIEZÓMETROS

FECHA 22-may-09
PRUEBA DIA No 99
PRUEBAS REALIZADAS 10
T°C 22,9

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)

Ho= 11,96 $Q = 0.0115 * H^{2.4109}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	9,45E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	20,95	21,66	22,55	23,50	24,32	25,01	26,33	26,41	26,90	27,11
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	61,20	61,80	63,20	64,70	65,60	66,50	68,60	68,70	69,30	69,50
2	61,10	61,60	63,00	64,20	65,00	65,80	67,50	68,10	68,10	68,10
3	60,90	61,40	62,60	63,80	64,40	65,00	66,30	66,30	66,50	66,50
Q(l/s)	2,29	2,75	3,40	4,18	4,94	5,63	7,10	7,19	7,80	8,06
Q(m ³ /s)	0,0023	0,0028	0,0034	0,0042	0,0049	0,0056	0,0071	0,0072	0,0078	0,0081
v(m/s)	0,31	0,37	0,46	0,57	0,67	0,76	0,96	0,98	1,06	1,10
Re	31877	38288	47312	58200	68675	78285	98757	100087	108467	112179
hf1 (cm)	0,10	0,20	0,20	0,50	0,60	0,70	1,10	1,00	1,20	1,40
hf2 (cm)	0,20	0,20	0,40	0,40	0,60	0,80	1,20	1,40	1,60	1,60
hf (m)	0,0030	0,0040	0,0060	0,0090	0,0120	0,0150	0,0230	0,0240	0,0280	0,0300
f	0,0246	0,0228	0,0224	0,0222	0,0212	0,0204	0,0197	0,0200	0,0199	0,0199
ks	5,44E-05	1,87E-05	3,57E-05	5,35E-05	4,29E-05	3,34E-05	3,29E-05	4,08E-05	4,27E-05	4,54E-05
ks/d	5,61E-04	1,93E-04	3,69E-04	5,53E-04	4,44E-04	3,45E-04	3,40E-04	4,21E-04	4,41E-04	4,69E-04

VERTEDERO No 2 (PVC)

Ho= 11,77 $Q = 0.011 * H^{2.398}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	9,45E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,15	22,07	23,33	23,80	23,89	24,29	24,67	25,00	25,83	26,56
PIEZÓMETRO	1	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	61,90	63,10	65,20	65,80	65,90	66,80	67,00	67,80	70,10	71,90
5	61,80	62,90	65,00	65,60	65,70	66,50	66,70	67,50	69,60	71,30
6	61,80	62,70	64,80	65,30	65,30	66,50	66,70	66,80	68,60	70,10
7	61,60	62,60	64,50	65,00	65,10	65,80	65,90	66,60	68,40	69,80
Q(l/s)	2,36	2,95	3,89	4,28	4,36	4,71	5,07	5,38	6,23	7,03
Q(m ³ /s)	0,0024	0,0030	0,0039	0,0043	0,0044	0,0047	0,0051	0,0054	0,0062	0,0070
v(m/s)	0,25	0,31	0,42	0,46	0,47	0,50	0,54	0,57	0,66	0,75
Re	29083	36398	48003	52817	53770	58124	62444	66343	76766	86672
hm (cm)	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30	0,30	0,50	0,60
hm (m)	0,0010	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0030	0,0030	0,0030	0,0050	0,0060
hf1 (cm)	0,00	0,20	0,20	0,30	0,40	0,00	0,00	0,70	1,00	1,20
hf2 (cm)	0,20	0,10	0,30	0,30	0,20	0,70	0,80	0,20	0,20	0,30
hf (m)	0,0020	0,0030	0,0050	0,0060	0,0060	0,0070	0,0080	0,0090	0,0120	0,0150
f	0,0244	0,0233	0,0224	0,0222	0,0214	0,0213	0,0211	0,0211	0,0210	0,0206
ks	3,04E-05	3,36E-05	4,22E-05	4,84E-05	2,53E-05	3,39E-05	3,58E-05	4,02E-05	5,19E-05	5,07E-05
km	0,3099	0,3957	0,2275	0,1879	0,1813	0,2328	0,2017	0,1787	0,2224	0,2094
ks/d	2,78E-04	3,07E-04	3,87E-04	4,43E-04	2,32E-04	3,11E-04	3,27E-04	3,68E-04	4,75E-04	4,64E-04

VERTEDERO No 3 (CCP)

Ho= 12,19 $Q = 0.008 * H^{2.541}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	9,45E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	23,30	24,96	26,05	26,94	27,53	28,16	28,58	29,04	29,90	30,67
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	62,90	64,90	66,40	67,50	68,00	68,90	69,40	69,60	71,10	71,60
10	62,80	64,70	66,10	67,10	67,50	68,30	68,70	68,80	70,10	70,40
Q(l/s)	3,63	5,18	6,37	7,46	8,25	9,13	9,76	10,47	11,88	13,24
Q(m ³ /s)	0,0036	0,0052	0,0064	0,0075	0,0082	0,0091	0,0098	0,0105	0,0119	0,0132
v(m/s)	0,25	0,36	0,45	0,52	0,58	0,64	0,68	0,73	0,83	0,92
Re	36248	51636	63583	74477	82282	91142	97357	104451	118535	132072
hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	1,00	1,20
hf (m)	0,0010	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0070	0,0080	0,0100	0,0120
f	0,0260	0,0256	0,0254	0,0247	0,0253	0,0247	0,0253	0,0251	0,0243	0,0235
ks	1,84E-04	2,26E-04	2,40E-04	2,20E-04	2,61E-04	2,42E-04	2,76E-04	2,72E-04	2,44E-04	2,13E-04
ks/d	1,36E-03	1,68E-03	1,77E-03	1,63E-03	1,93E-03	1,79E-03	2,04E-03	2,01E-03	1,81E-03	1,58E-03

PRUEBAS DE PIEZÓMETROS

FECHA 27-may-09
PRUEBA DIA No 104
PRUEBAS REALIZADAS 10
T°C 20,7

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)

Ho= 11,96 $Q = 0.0115 \cdot H^{2.4109}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	9,91E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,00	22,09	22,14	22,81	23,18	23,81	24,10	24,78	25,52	25,80
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	61,20	62,40	62,50	63,80	64,20	65,00	65,30	66,10	67,50	67,90
2	61,00	62,20	62,30	63,50	63,80	64,60	64,90	65,40	66,60	66,90
3	60,90	61,90	62,00	63,10	63,40	64,00	64,20	64,70	65,70	65,90
Q(l/s)	2,32	3,06	3,09	3,61	3,91	4,46	4,73	5,39	6,17	6,48
Q(m ³ /s)	0,0023	0,0031	0,0031	0,0036	0,0039	0,0045	0,0047	0,0054	0,0062	0,0065
v(m/s)	0,32	0,41	0,42	0,49	0,53	0,61	0,64	0,73	0,84	0,88
Re	30801	40528	41012	47825	51852	59151	62701	71506	81865	86000
hf1 (cm)	0,20	0,20	0,20	0,30	0,40	0,40	0,40	0,70	0,90	1,00
hf2 (cm)	0,10	0,30	0,30	0,40	0,40	0,60	0,70	0,70	0,90	1,00
hf (m)	0,0030	0,0050	0,0050	0,0070	0,0080	0,0100	0,0110	0,0140	0,0180	0,0200
f	0,0240	0,0231	0,0225	0,0232	0,0226	0,0217	0,0212	0,0208	0,0204	0,0205
ks	2,37E-05	3,78E-05	2,20E-05	6,41E-05	5,30E-05	4,09E-05	3,42E-05	3,44E-05	3,57E-05	4,27E-05
ks/d	2,44E-04	3,90E-04	2,27E-04	6,62E-04	5,48E-04	4,23E-04	3,53E-04	3,56E-04	3,68E-04	4,41E-04

VERTEDERO No 2 (PVC)

Ho= 11,77 $Q = 0.011 \cdot H^{2.398}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	9,91E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,13	22,02	22,70	23,26	23,77	24,23	24,60	25,50	26,04	26,70
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	61,90	63,10	64,10	65,10	65,60	66,80	67,40	69,30	70,30	71,90
5	61,70	62,90	63,90	64,90	65,40	66,50	67,10	68,90	69,80	71,30
6	61,60	62,70	63,70	64,60	65,10	66,20	66,70	68,30	69,00	70,50
7	61,50	62,60	63,50	64,40	64,80	65,80	66,30	67,80	68,50	69,70
Q(l/s)	2,35	2,92	3,40	3,84	4,26	4,66	5,00	5,88	6,45	7,19
Q(m ³ /s)	0,0023	0,0029	0,0034	0,0038	0,0043	0,0047	0,0050	0,0059	0,0065	0,0072
v(m/s)	0,25	0,31	0,36	0,41	0,45	0,50	0,53	0,63	0,69	0,77
Re	27587	34300	40012	45105	50056	54781	58763	69137	75838	84523
hm (cm)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30	0,40	0,50	0,60
hm (m)	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0030	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060
hf1 (cm)	0,10	0,20	0,20	0,30	0,30	0,30	0,40	0,60	0,80	0,80
hf2 (cm)	0,10	0,10	0,20	0,20	0,30	0,40	0,40	0,50	0,50	0,80
hf (m)	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0070	0,0080	0,0110	0,0130	0,0160
f	0,0246	0,0239	0,0234	0,0230	0,0224	0,0218	0,0217	0,0216	0,0212	0,0210
ks	2,92E-05	4,44E-05	5,26E-05	5,69E-05	5,05E-05	4,26E-05	4,62E-05	5,92E-05	5,63E-05	6,01E-05
km	0,6262	0,4051	0,2977	0,2342	0,1902	0,2382	0,2070	0,1994	0,2072	0,2001
ks/d	2,68E-04	4,06E-04	4,82E-04	5,21E-04	4,62E-04	3,90E-04	4,23E-04	5,42E-04	5,16E-04	5,50E-04

VERTEDERO No 3 (CCP)

Ho= 12,19 $Q = 0.008 \cdot H^{2.541}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	9,91E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	24,92	26,01	27,61	28,10	28,66	29,40	29,82	30,19	30,88	30,94
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	64,80	66,50	68,10	69,00	69,40	70,60	71,10	71,30	71,70	71,90
10	64,60	66,20	67,60	68,40	68,70	69,70	70,10	70,20	70,40	70,60
Q(l/s)	5,13	6,33	8,36	9,05	9,88	11,05	11,74	12,38	13,62	13,73
Q(m ³ /s)	0,0051	0,0063	0,0084	0,0090	0,0099	0,0110	0,0117	0,0124	0,0136	0,0137
v(m/s)	0,36	0,44	0,58	0,63	0,69	0,77	0,82	0,86	0,95	0,96
Re	48840	60178	79492	86069	93977	105081	111720	117774	129587	130647
hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0,20	0,30	0,50	0,60	0,70	0,90	1,00	1,10	1,30	1,30
hf (m)	0,0020	0,0030	0,0050	0,0060	0,0070	0,0090	0,0100	0,0110	0,0130	0,0130
f	0,0261	0,0257	0,0246	0,0252	0,0246	0,0253	0,0249	0,0246	0,0241	0,0237
ks	2,41E-04	2,53E-04	2,24E-04	2,61E-04	2,41E-04	2,86E-04	2,68E-04	2,59E-04	2,37E-04	2,19E-04
ks/d	1,78E-03	1,88E-03	1,66E-03	1,93E-03	1,79E-03	2,12E-03	1,99E-03	1,92E-03	1,75E-03	1,62E-03

PRUEBAS DE PIEZÓMETROS

FECHA 02-jun-09
PRUEBA DIA No 110
PRUEBAS REALIZADAS 10
T°C 23,7

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)

Ho= 11,96 $Q = 0.0115 \cdot H^{2.4109}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	9,29E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,02	22,09	22,55	22,91	23,21	23,76	24,30	24,85	25,46	25,73
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	61,30	62,50	63,30	63,80	64,40	64,90	65,40	66,10	67,30	68,00
2	61,10	62,30	63,00	63,50	64,00	64,60	64,80	65,30	66,40	67,00
3	61,00	62,00	62,70	63,10	63,60	63,90	64,20	64,60	65,50	66,00
Q(l/s)	2,33	3,06	3,40	3,69	3,93	4,41	4,92	5,46	6,11	6,41
Q(m ³ /s)	0,0023	0,0031	0,0034	0,0037	0,0039	0,0044	0,0049	0,0055	0,0061	0,0064
v(m/s)	0,32	0,41	0,46	0,50	0,53	0,60	0,67	0,74	0,83	0,87
Re	33041	43246	48133	52172	55685	62477	69594	77308	86425	90651
hf1 (cm)	0,20	0,20	0,30	0,30	0,40	0,30	0,60	0,80	0,90	1,00
hf2 (cm)	0,10	0,30	0,30	0,40	0,40	0,70	0,60	0,70	0,90	1,00
hf (m)	0,0030	0,0050	0,0060	0,0070	0,0080	0,0100	0,0120	0,0150	0,0180	0,0200
f	0,0237	0,0231	0,0224	0,0222	0,0223	0,0221	0,0214	0,0217	0,0208	0,0210
ks	2,72E-05	4,70E-05	3,79E-05	4,27E-05	5,22E-05	5,93E-05	4,86E-05	6,50E-05	5,05E-05	5,91E-05
ks/d	2,81E-04	4,85E-04	3,91E-04	4,41E-04	5,39E-04	6,12E-04	5,02E-04	6,71E-04	5,22E-04	6,11E-04

VERTEDERO No 2 (PVC)

Ho= 11,77 $Q = 0.011 \cdot H^{2.398}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	9,29E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,14	22,03	22,75	23,29	23,82	24,23	24,62	25,53	26,10	26,51
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	62,00	63,10	63,70	65,20	65,80	66,70	67,40	69,40	70,30	71,60
5	61,80	63,00	63,50	65,00	65,50	66,50	67,10	69,00	69,80	71,10
6	61,70	62,80	63,30	64,70	65,20	66,20	66,70	68,40	69,10	70,30
7	61,60	62,70	63,10	64,50	64,90	65,80	66,30	67,90	68,50	69,60
Q(l/s)	2,35	2,92	3,44	3,86	4,30	4,66	5,02	5,91	6,52	6,97
Q(m ³ /s)	0,0024	0,0029	0,0034	0,0039	0,0043	0,0047	0,0050	0,0059	0,0065	0,0070
v(m/s)	0,25	0,31	0,37	0,41	0,46	0,50	0,54	0,63	0,70	0,74
Re	29512	36685	43164	48431	53947	58454	62938	74160	81741	87462
hm (cm)	0,20	0,10	0,20	0,20	0,30	0,20	0,30	0,40	0,50	0,50
hm (m)	0,0020	0,0010	0,0020	0,0020	0,0030	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0050
hf1 (cm)	0,10	0,20	0,20	0,30	0,30	0,30	0,40	0,60	0,70	0,80
hf2 (cm)	0,10	0,10	0,20	0,20	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60	0,70
hf (m)	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0070	0,0080	0,0110	0,0130	0,0150
f	0,0245	0,0238	0,0229	0,0227	0,0220	0,0218	0,0215	0,0213	0,0207	0,0209
ks	3,90E-05	5,23E-05	4,57E-05	5,67E-05	4,52E-05	5,04E-05	4,89E-05	5,91E-05	5,07E-05	6,10E-05
km	0,6230	0,2016	0,2912	0,2313	0,2797	0,1588	0,2055	0,1973	0,2030	0,1773
ks/d	3,57E-04	4,78E-04	4,18E-04	5,19E-04	4,14E-04	4,61E-04	4,47E-04	5,40E-04	4,64E-04	5,58E-04

VERTEDERO No 3 (CCP)

Ho= 12,19 $Q = 0.008 \cdot H^{2.541}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	9,29E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	23,20	23,28	24,94	26,02	26,83	26,93	27,55	28,15	29,02	30,26
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	62,90	63,00	64,80	66,40	67,00	67,20	68,10	69,00	69,70	71,30
10	62,80	62,90	64,60	66,10	66,60	66,80	67,60	68,40	68,90	70,20
Q(l/s)	3,55	3,62	5,15	6,34	7,32	7,45	8,27	9,12	10,44	12,50
Q(m ³ /s)	0,0036	0,0036	0,0052	0,0063	0,0073	0,0075	0,0083	0,0091	0,0104	0,0125
v(m/s)	0,25	0,25	0,36	0,44	0,51	0,52	0,58	0,64	0,73	0,87
Re	36039	36708	52322	64330	74341	75638	83986	92575	105941	126916
hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0,10	0,10	0,20	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60	0,80	1,10
hf (m)	0,0010	0,0010	0,0020	0,0030	0,0040	0,0040	0,0050	0,0060	0,0080	0,0110
f	0,0272	0,0263	0,0259	0,0257	0,0256	0,0247	0,0251	0,0248	0,0252	0,0242
ks	2,57E-04	2,01E-04	2,40E-04	2,56E-04	2,70E-04	2,26E-04	2,54E-04	2,47E-04	2,81E-04	2,40E-04
ks/d	1,91E-03	1,49E-03	1,78E-03	1,90E-03	2,00E-03	1,67E-03	1,88E-03	1,83E-03	2,08E-03	1,78E-03

PRUEBAS DE PIEZÓMETROS

FECHA 08-jun-09
PRUEBA DIA No 116
PRUEBAS REALIZADAS 10
T°C 23,9

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)

Ho= 11,96 $Q = 0.0115 \cdot H^{2.4109}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	9,25E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	20,99	21,64	22,10	22,17	22,85	23,53	23,78	24,51	25,31	25,94
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	61,20	61,90	62,40	62,50	63,70	64,80	65,00	65,80	67,10	68,00
2	61,00	61,70	62,20	62,20	63,40	64,50	64,70	65,10	66,20	67,00
3	60,90	61,50	61,90	62,00	63,00	63,90	64,00	64,50	65,40	65,90
Q(l/s)	2,32	2,74	3,06	3,11	3,64	4,21	4,43	5,12	5,94	6,64
Q(m ³ /s)	0,0023	0,0027	0,0031	0,0031	0,0036	0,0042	0,0044	0,0051	0,0059	0,0066
v(m/s)	0,31	0,37	0,42	0,42	0,49	0,57	0,60	0,70	0,81	0,90
Re	32918	38923	43533	44261	51705	59835	63000	72792	84486	94421
hf1 (cm)	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30	0,30	0,30	0,70	0,90	1,00
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,20	0,40	0,60	0,70	0,60	0,80	1,10
hf (m)	0,0030	0,0040	0,0050	0,0050	0,0070	0,0090	0,0100	0,0130	0,0170	0,0210
f	0,0241	0,0230	0,0230	0,0222	0,0228	0,0219	0,0219	0,0214	0,0207	0,0205
ks	4,04E-05	2,87E-05	4,43E-05	2,28E-05	6,01E-05	4,83E-05	5,48E-05	5,17E-05	4,72E-05	4,93E-05
ks/d	4,18E-04	2,97E-04	4,57E-04	2,35E-04	6,21E-04	4,99E-04	5,66E-04	5,34E-04	4,87E-04	5,09E-04

VERTEDERO No 2 (PVC)

Ho= 11,77 $Q = 0.011 \cdot H^{2.398}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	9,25E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,12	22,05	22,72	23,31	23,78	24,58	24,94	25,50	26,73	27,34
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	61,90	63,10	64,10	64,50	64,90	65,90	66,20	67,40	69,10	69,80
5	61,70	62,90	63,90	64,30	64,70	65,60	65,90	67,00	68,50	69,10
6	61,60	62,70	63,70	64,00	64,30	65,30	65,40	66,40	67,70	68,10
7	61,50	62,60	63,50	63,80	64,10	64,80	65,00	65,90	66,90	67,20
Q(l/s)	2,34	2,94	3,42	3,88	4,27	4,98	5,32	5,88	7,23	7,95
Q(m ³ /s)	0,0023	0,0029	0,0034	0,0039	0,0043	0,0050	0,0053	0,0059	0,0072	0,0080
v(m/s)	0,25	0,31	0,36	0,41	0,46	0,53	0,57	0,63	0,77	0,85
Re	29486	37014	43065	48840	53747	62735	67046	74087	91011	100165
hm (cm)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30	0,40	0,60	0,70
hm (m)	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0030	0,0030	0,0040	0,0060	0,0070
hf1 (cm)	0,10	0,20	0,20	0,30	0,40	0,30	0,50	0,60	0,80	1,00
hf2 (cm)	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,50	0,40	0,50	0,80	0,90
hf (m)	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0080	0,0090	0,0110	0,0160	0,0190
f	0,0247	0,0235	0,0232	0,0225	0,0223	0,0219	0,0215	0,0216	0,0208	0,0204
ks	4,98E-05	4,51E-05	5,66E-05	5,12E-05	5,66E-05	5,89E-05	5,54E-05	6,59E-05	6,02E-05	5,61E-05
km	0,6294	0,3994	0,2951	0,2294	0,1894	0,2086	0,1826	0,1994	0,1982	0,1909
ks/d	4,56E-04	4,13E-04	5,18E-04	4,68E-04	5,18E-04	5,39E-04	5,07E-04	6,03E-04	5,51E-04	5,13E-04

VERTEDERO No 3 (CCP)

Ho= 12,19 $Q = 0.008 \cdot H^{2.541}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	9,25E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	24,90	25,97	26,91	27,50	28,11	28,57	29,07	29,50	29,81	30,19
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	64,80	66,30	67,50	68,00	69,00	69,20	69,90	70,80	70,90	71,30
10	64,60	66,00	67,10	67,50	68,40	68,50	69,10	69,90	69,90	70,20
Q(l/s)	5,11	6,28	7,43	8,21	9,06	9,74	10,52	11,21	11,73	12,38
Q(m ³ /s)	0,0051	0,0063	0,0074	0,0082	0,0091	0,0097	0,0105	0,0112	0,0117	0,0124
v(m/s)	0,36	0,44	0,52	0,57	0,63	0,68	0,73	0,78	0,82	0,86
Re	52127	64012	75698	83648	92378	99313	107198	114273	119546	126206
hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10
hf (m)	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0070	0,0080	0,0090	0,0100	0,0110
f	0,0263	0,0261	0,0249	0,0255	0,0251	0,0253	0,0248	0,0246	0,0250	0,0246
ks	2,63E-04	2,82E-04	2,35E-04	2,76E-04	2,63E-04	2,82E-04	2,62E-04	2,54E-04	2,76E-04	2,63E-04
ks/d	1,95E-03	2,09E-03	1,74E-03	2,05E-03	1,95E-03	2,09E-03	1,94E-03	1,88E-03	2,05E-03	1,95E-03

PRUEBAS DE PIEZÓMETROS

FECHA 17-jun-09
PRUEBA DIA No 125
PRUEBAS REALIZADAS 10
T°C 24,0

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)

Ho= 11,96 $Q = 0.0115 * H^{2.4109}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	9,23E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	20,96	21,61	22,14	22,50	23,23	23,73	24,00	24,48	25,37	26,00
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	61,20	61,90	62,70	63,20	64,50	64,90	65,10	65,70	67,20	68,20
2	61,00	61,70	62,60	63,00	64,10	64,30	64,60	65,00	66,30	67,20
3	60,90	61,50	62,20	62,60	63,70	63,90	64,00	64,40	65,50	66,10
Q(l/s)	2,30	2,72	3,09	3,36	3,95	4,39	4,63	5,09	6,01	6,71
Q(m ³ /s)	0,0023	0,0027	0,0031	0,0034	0,0040	0,0044	0,0046	0,0051	0,0060	0,0067
v(m/s)	0,31	0,37	0,42	0,46	0,54	0,60	0,63	0,69	0,82	0,91
Re	32724	38715	44042	47891	56282	62491	66003	72527	85586	95603
hfl (cm)	0,20	0,20	0,10	0,20	0,40	0,60	0,50	0,70	0,90	1,00
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,40	0,40	0,40	0,40	0,60	0,60	0,80	1,10
hf(m)	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0080	0,0100	0,0110	0,0130	0,0170	0,0210
f	0,0245	0,0233	0,0225	0,0229	0,0221	0,0224	0,0221	0,0216	0,0203	0,0201
ks	5,40E-05	3,96E-05	3,20E-05	5,35E-05	4,76E-05	6,74E-05	6,33E-05	5,82E-05	3,73E-05	4,02E-05
ks/d	5,57E-04	4,08E-04	3,30E-04	5,52E-04	4,92E-04	6,96E-04	6,53E-04	6,01E-04	3,85E-04	4,15E-04

VERTEDERO No 2 (PVC)

Ho= 11,77 $Q = 0.011 * H^{2.398}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	9,23E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,10	22,07	23,26	24,21	24,97	25,79	26,05	26,70	27,82	28,14
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	61,90	63,10	65,10	66,80	67,70	69,80	70,30	71,90	72,30	72,50
5	61,80	62,90	64,90	66,60	67,40	69,40	69,80	71,40	71,60	71,80
6	61,70	62,80	64,70	66,30	67,00	68,80	69,20	70,60	70,50	70,60
7	61,60	62,60	64,40	65,90	66,50	68,20	68,50	69,80	69,40	69,40
Q(l/s)	2,33	2,95	3,84	4,64	5,35	6,18	6,46	7,19	8,55	8,97
Q(m ³ /s)	0,0023	0,0030	0,0038	0,0046	0,0054	0,0062	0,0065	0,0072	0,0086	0,0090
v(m/s)	0,25	0,31	0,41	0,50	0,57	0,66	0,69	0,77	0,91	0,96
Re	29397	37266	48437	58601	67556	78060	81577	90766	107959	113192
hm (cm)	0,10	0,20	0,20	0,20	0,30	0,40	0,50	0,50	0,70	0,70
hm (m)	0,0010	0,0020	0,0020	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0050	0,0070	0,0070
hfl (cm)	0,10	0,10	0,20	0,30	0,40	0,60	0,60	0,80	1,10	1,20
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	1,10	1,20
hf(m)	0,0020	0,0030	0,0050	0,0070	0,0090	0,0120	0,0130	0,0160	0,0220	0,0240
f	0,0250	0,0233	0,0230	0,0220	0,0213	0,0213	0,0211	0,0210	0,0204	0,0202
ks	6,05E-05	3,78E-05	6,71E-05	5,62E-05	4,90E-05	6,19E-05	6,07E-05	6,57E-05	6,17E-05	6,06E-05
km	0,3180	0,3957	0,2342	0,1600	0,1806	0,1804	0,2065	0,1668	0,1650	0,1501
ks/d	5,54E-04	3,46E-04	6,14E-04	5,15E-04	4,49E-04	5,67E-04	5,55E-04	6,02E-04	5,65E-04	5,55E-04

VERTEDERO No 3 (CCP)

Ho= 12,19 $Q = 0.008 * H^{2.541}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	9,23E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	23,24	24,91	25,99	26,87	27,44	28,04	29,03	29,43	29,84	30,76
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	62,90	64,80	66,30	67,10	67,90	69,00	69,70	70,60	71,00	71,80
10	62,80	64,60	66,00	66,70	67,40	68,40	68,90	69,70	70,00	70,50
Q(l/s)	3,58	5,12	6,30	7,37	8,12	8,96	10,45	11,10	11,78	13,40
Q(m ³ /s)	0,0036	0,0051	0,0063	0,0074	0,0081	0,0090	0,0105	0,0111	0,0118	0,0134
v(m/s)	0,25	0,36	0,44	0,52	0,57	0,63	0,73	0,78	0,82	0,94
Re	36605	52342	64385	75336	82993	91543	106779	113343	120318	136900
hfl (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	0,90	1,00	1,30
hf(m)	0,0010	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0080	0,0090	0,0100	0,0130
f	0,0268	0,0262	0,0259	0,0253	0,0260	0,0257	0,0251	0,0251	0,0248	0,0249
ks	2,29E-04	2,58E-04	2,72E-04	2,53E-04	3,04E-04	2,93E-04	2,78E-04	2,80E-04	2,66E-04	2,79E-04
ks/d	1,70E-03	1,91E-03	2,02E-03	1,87E-03	2,25E-03	2,17E-03	2,06E-03	2,07E-03	1,97E-03	2,07E-03

PRUEBAS DE PIEZÓMETROS

FECHA 25-jun-09
PRUEBA DIA No 133
PRUEBAS REALIZADAS 10
T°C 24,1

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)

Ho= 11,96 $Q = 0.0115 \cdot H^{2.4109}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	9,20E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	20,93	21,58	22,07	22,53	23,17	24,06	24,35	24,54	25,60	26,30
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	61,20	61,80	62,40	63,30	64,10	65,20	65,60	65,90	67,50	68,40
2	61,10	61,60	62,10	63,10	63,80	64,80	65,00	65,40	66,50	67,30
3	60,90	61,40	61,90	62,70	63,30	64,10	64,40	64,60	65,60	66,00
Q(l/s)	2,28	2,70	3,04	3,39	3,90	4,69	4,97	5,15	6,26	7,06
Q(m ³ /s)	0,0023	0,0027	0,0030	0,0034	0,0039	0,0047	0,0050	0,0052	0,0063	0,0071
v(m/s)	0,31	0,37	0,41	0,46	0,53	0,64	0,67	0,70	0,85	0,96
Re	32565	38548	43453	48373	55738	67011	70949	73600	89451	100922
hf1 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,20	0,30	0,40	0,60	0,50	1,00	1,10
hf2 (cm)	0,20	0,20	0,20	0,40	0,50	0,70	0,60	0,80	0,90	1,30
hf(m)	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0080	0,0110	0,0120	0,0130	0,0190	0,0240
f	0,0249	0,0237	0,0233	0,0226	0,0227	0,0216	0,0210	0,0211	0,0209	0,0207
ks	6,84E-05	5,11E-05	5,50E-05	4,48E-05	6,41E-05	4,98E-05	3,93E-05	4,61E-05	5,52E-05	5,91E-05
ks/d	7,07E-04	5,28E-04	5,68E-04	4,63E-04	6,62E-04	5,14E-04	4,06E-04	4,76E-04	5,71E-04	6,10E-04

VERTEDERO No 2 (PVC)

Ho= 11,77 $Q = 0.011 \cdot H^{2.398}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	9,20E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,16	22,07	23,28	24,19	25,52	26,27	26,90	27,30	28,26	28,97
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	61,90	63,10	65,10	66,70	69,50	70,30	71,90	72,10	72,50	72,70
5	61,80	63,00	64,90	66,50	69,10	69,80	71,30	71,50	71,70	71,70
6	61,70	62,90	64,70	66,30	68,60	69,30	70,50	70,60	70,40	70,40
7	61,60	62,70	64,40	65,80	68,00	68,40	69,60	69,60	69,20	68,70
Q(l/s)	2,37	2,95	3,85	4,62	5,90	6,70	7,42	7,90	9,13	10,10
Q(m ³ /s)	0,0024	0,0030	0,0039	0,0046	0,0059	0,0067	0,0074	0,0079	0,0091	0,0101
v(m/s)	0,25	0,31	0,41	0,49	0,63	0,72	0,79	0,84	0,97	1,08
Re	29947	37384	48794	58561	74740	84892	94007	100077	115558	127850
hm (cm)	0,10	0,10	0,20	0,20	0,40	0,50	0,60	0,60	0,80	1,00
hm (m)	0,0010	0,0010	0,0020	0,0020	0,0040	0,0050	0,0060	0,0060	0,0080	0,0100
hf1 (cm)	0,10	0,10	0,20	0,20	0,50	0,50	0,80	0,90	1,30	1,30
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,50	0,60	0,90	0,90	1,00	1,20	1,70
hf(m)	0,0020	0,0030	0,0050	0,0070	0,0110	0,0140	0,0170	0,0190	0,0250	0,0300
f	0,0242	0,0233	0,0228	0,0222	0,0214	0,0211	0,0209	0,0206	0,0203	0,0199
ks	3,15E-05	3,84E-05	6,11E-05	6,18E-05	6,20E-05	6,45E-05	6,65E-05	6,29E-05	6,50E-05	6,06E-05
km	0,3083	0,1979	0,2323	0,1613	0,1980	0,1919	0,1878	0,1657	0,1657	0,1692
ks/d	2,89E-04	3,51E-04	5,59E-04	5,66E-04	5,68E-04	5,90E-04	6,08E-04	5,75E-04	5,95E-04	5,54E-04

VERTEDERO No 3 (CCP)

Ho= 12,19 $Q = 0.008 \cdot H^{2.541}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	9,20E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	23,18	24,85	25,95	26,95	27,53	28,99	29,40	29,78	30,50	30,85
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	62,90	64,60	66,30	67,10	68,20	69,60	70,60	71,00	71,50	71,70
10	62,80	64,40	66,00	66,70	67,70	68,80	69,70	70,00	70,30	70,40
Q(l/s)	3,53	5,06	6,26	7,48	8,25	10,39	11,05	11,68	12,93	13,57
Q(m ³ /s)	0,0035	0,0051	0,0063	0,0075	0,0082	0,0104	0,0110	0,0117	0,0129	0,0136
v(m/s)	0,25	0,35	0,44	0,52	0,58	0,73	0,77	0,82	0,90	0,95
Re	36216	51882	64115	76626	84511	106473	113200	119660	132501	139032
hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,80	0,90	1,00	1,20	1,30
hf(m)	0,0010	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0080	0,0090	0,0100	0,0120	0,0130
f	0,0275	0,0268	0,0263	0,0246	0,0253	0,0255	0,0253	0,0252	0,0247	0,0243
ks	2,75E-04	2,94E-04	2,94E-04	2,19E-04	2,64E-04	2,93E-04	2,91E-04	2,88E-04	2,67E-04	2,50E-04
ks/d	2,03E-03	2,18E-03	2,18E-03	1,62E-03	1,95E-03	2,17E-03	2,16E-03	2,13E-03	1,98E-03	1,85E-03

PRUEBAS DE PIEZÓMETROS

FECHA 03-jul-09
PRUEBA DIA No 141
PRUEBAS REALIZADAS 10
T°C 25,7

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)

Ho= 11,96 $Q = 0.0115 * H^{2.4109}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	8,90E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	20,20	21,58	22,50	22,87	23,18	23,80	24,02	24,70	25,38	26,93
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	59,90	62,60	63,70	63,80	64,20	64,90	65,10	66,00	67,00	69,30
2	59,80	62,40	63,50	63,50	63,90	64,60	64,80	65,30	66,00	68,00
3	59,70	62,20	63,10	63,10	63,40	63,90	64,00	64,60	65,20	66,40
Q(l/s)	1,86	2,70	3,36	3,65	3,91	4,45	4,65	5,31	6,02	7,84
Q(m ³ /s)	0,0019	0,0027	0,0034	0,0037	0,0039	0,0045	0,0047	0,0053	0,0060	0,0078
v(m/s)	0,25	0,37	0,46	0,50	0,53	0,60	0,63	0,72	0,82	1,06
Re	27434	39849	49664	53972	57744	65739	68722	78439	88915	115723
hf1 (cm)	0,10	0,20	0,20	0,30	0,30	0,30	0,30	0,70	1,00	1,30
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,40	0,40	0,50	0,70	0,80	0,70	0,80	1,60
hf (m)	0,0020	0,0040	0,0060	0,0070	0,0080	0,0100	0,0110	0,0140	0,0180	0,0290
f	0,0250	0,0237	0,0229	0,0226	0,0226	0,0218	0,0219	0,0214	0,0214	0,0204
ks	3,96E-05	5,60E-05	5,79E-05	5,87E-05	6,48E-05	5,37E-05	6,18E-05	5,87E-05	6,83E-05	5,81E-05
ks/d	4,09E-04	5,79E-04	5,98E-04	6,06E-04	6,69E-04	5,55E-04	6,38E-04	6,07E-04	7,05E-04	6,00E-04

VERTEDERO No 2 (PVC)

Ho= 11,77 $Q = 0.011 * H^{2.398}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	8,90E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	22,72	23,29	24,22	24,96	25,78	26,74	27,14	27,65	28,70	29,06
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	64,70	65,10	66,80	67,70	69,60	71,90	72,10	72,30	72,70	72,90
5	64,50	64,90	66,60	67,40	69,20	71,40	71,50	71,60	71,80	71,90
6	64,40	64,60	66,30	67,10	68,70	70,70	70,60	70,60	70,60	70,70
7	64,10	64,40	65,90	66,50	68,00	69,80	69,70	69,50	69,00	68,80
Q(l/s)	3,42	3,86	4,65	5,34	6,17	7,24	7,71	8,34	9,72	10,22
Q(m ³ /s)	0,0034	0,0039	0,0047	0,0053	0,0062	0,0072	0,0077	0,0083	0,0097	0,0102
v(m/s)	0,36	0,41	0,50	0,57	0,66	0,77	0,82	0,89	1,04	1,09
Re	44755	50546	60889	69931	80813	94734	100917	109134	127245	133830
hm (cm)	0,20	0,20	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,90	1,00
hm (m)	0,0020	0,0020	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0070	0,0090	0,0100
hf1 (cm)	0,10	0,30	0,30	0,30	0,50	0,70	0,90	1,00	1,20	1,20
hf2 (cm)	0,30	0,20	0,40	0,60	0,70	0,90	0,90	1,10	1,60	1,90
hf (m)	0,0040	0,0050	0,0070	0,0090	0,0120	0,0160	0,0180	0,0210	0,0280	0,0310
f	0,0232	0,0227	0,0219	0,0214	0,0213	0,0207	0,0205	0,0205	0,0201	0,0201
ks	6,24E-05	6,25E-05	5,78E-05	5,49E-05	6,72E-05	6,14E-05	6,10E-05	6,49E-05	6,38E-05	6,70E-05
km	0,2951	0,2313	0,1594	0,1813	0,1810	0,1646	0,1741	0,1737	0,1643	0,1650
ks/d	5,71E-04	5,72E-04	5,29E-04	5,02E-04	6,15E-04	5,62E-04	5,58E-04	5,94E-04	5,84E-04	6,13E-04

VERTEDERO No 3 (CCP)

Ho= 12,19 $Q = 0.008 * H^{2.541}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	8,90E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	23,20	24,90	25,94	26,83	27,65	28,49	29,00	29,40	30,15	30,53
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	63,00	64,80	66,30	67,40	67,90	69,10	69,60	70,60	71,30	71,60
10	62,90	64,60	66,00	67,00	67,40	68,40	68,80	69,70	70,20	70,40
Q(l/s)	3,55	5,11	6,24	7,32	8,41	9,62	10,41	11,05	12,31	12,98
Q(m ³ /s)	0,0036	0,0051	0,0062	0,0073	0,0084	0,0096	0,0104	0,0110	0,0123	0,0130
v(m/s)	0,25	0,36	0,44	0,51	0,59	0,67	0,73	0,77	0,86	0,91
Re	37612	54173	66157	77587	89110	101933	110234	117022	130418	137545
hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,70	0,80	0,90	1,10	1,20
hf (m)	0,0010	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0070	0,0080	0,0090	0,0110	0,0120
f	0,0272	0,0263	0,0264	0,0256	0,0243	0,0260	0,0254	0,0253	0,0249	0,0245
ks	2,66E-04	2,69E-04	3,03E-04	2,75E-04	2,19E-04	3,18E-04	2,92E-04	2,94E-04	2,80E-04	2,59E-04
ks/d	1,97E-03	1,99E-03	2,25E-03	2,04E-03	1,62E-03	2,36E-03	2,16E-03	2,18E-03	2,07E-03	1,92E-03

PRUEBAS DE PIEZÓMETROS

FECHA 09-jul-09
PRUEBA DIA No 147
PRUEBAS REALIZADAS 10
T°C 23,4

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)

Ho= 11,96 $Q = 0.0115 \cdot H^{2.4109}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	9,34E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,60	22,05	23,98	24,46	25,40	26,01	26,28	26,77	27,95	28,40
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	61,80	62,40	65,10	65,80	67,40	68,30	68,40	69,00	70,30	70,70
2	61,60	62,20	64,50	65,10	66,50	67,20	67,20	67,70	68,00	68,40
3	61,40	61,90	64,00	64,50	65,60	66,10	66,00	66,20	66,30	66,20
Q(l/s)	2,71	3,03	4,62	5,07	6,04	6,72	7,04	7,63	9,18	9,82
Q(m ³ /s)	0,0027	0,0030	0,0046	0,0051	0,0060	0,0067	0,0070	0,0076	0,0092	0,0098
v(m/s)	0,37	0,41	0,63	0,69	0,82	0,91	0,96	1,04	1,25	1,33
Re	38169	42607	64974	71407	85047	94652	99097	107471	129288	138235
hf1 (cm)	0,20	0,20	0,60	0,70	0,90	1,10	1,20	1,30	2,30	2,30
hf2 (cm)	0,20	0,30	0,50	0,60	0,90	1,10	1,20	1,50	1,70	2,20
hf(m)	0,0040	0,0050	0,0110	0,0130	0,0180	0,0220	0,0240	0,0280	0,0400	0,0450
f	0,0235	0,0235	0,0223	0,0218	0,0213	0,0210	0,0209	0,0207	0,0204	0,0201
ks	4,14E-05	5,99E-05	6,71E-05	6,16E-05	6,10E-05	6,11E-05	6,15E-05	6,22E-05	6,55E-05	6,12E-05
ks/d	4,28E-04	6,19E-04	6,92E-04	6,36E-04	6,30E-04	6,31E-04	6,35E-04	6,42E-04	6,77E-04	6,32E-04

VERTEDERO No 2 (PVC)

Ho= 11,77 $Q = 0.011 \cdot H^{2.398}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	9,34E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	21,11	22,09	23,27	23,76	24,91	25,77	26,00	26,69	27,79	28,22
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	62,00	63,20	65,20	65,80	67,70	69,80	70,20	71,90	72,30	72,50
5	61,90	63,00	65,00	65,50	67,40	69,40	69,70	71,40	71,60	71,70
6	61,80	62,80	64,70	65,20	66,90	68,80	68,90	70,50	70,60	70,70
7	61,70	62,70	64,50	64,90	66,50	68,20	68,40	69,80	69,40	69,20
Q(l/s)	2,33	2,97	3,85	4,25	5,29	6,16	6,41	7,18	8,51	9,07
Q(m ³ /s)	0,0023	0,0030	0,0038	0,0043	0,0053	0,0062	0,0064	0,0072	0,0085	0,0091
v(m/s)	0,25	0,32	0,41	0,45	0,56	0,66	0,68	0,77	0,91	0,97
Re	29130	37004	47973	53021	66044	76888	79952	89565	106224	113190
hm (cm)	0,10	0,20	0,20	0,30	0,30	0,40	0,50	0,50	0,70	0,80
hm (m)	0,0010	0,0020	0,0020	0,0030	0,0030	0,0040	0,0050	0,0050	0,0070	0,0080
hf1 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,30	0,50	0,60	0,80	0,90	1,00	1,00
hf2 (cm)	0,10	0,10	0,20	0,30	0,40	0,60	0,50	0,70	1,20	1,50
hf(m)	0,0020	0,0030	0,0050	0,0060	0,0090	0,0120	0,0130	0,0160	0,0220	0,0250
f	0,0249	0,0231	0,0229	0,0225	0,0218	0,0214	0,0215	0,0210	0,0206	0,0206
ks	5,28E-05	2,83E-05	6,22E-05	6,11E-05	6,14E-05	6,50E-05	6,97E-05	6,67E-05	6,56E-05	7,01E-05
km	0,3163	0,3921	0,2333	0,2864	0,1846	0,1816	0,2100	0,1673	0,1665	0,1676
ks/d	4,83E-04	2,59E-04	5,70E-04	5,59E-04	5,62E-04	5,95E-04	6,38E-04	6,10E-04	6,00E-04	6,42E-04

VERTEDERO No 3 (CCP)

Ho= 12,19 $Q = 0.008 \cdot H^{2.541}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	9,34E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	23,15	24,82	26,77	27,61	27,99	29,80	30,12	30,40	30,74	30,99
PIEZÓMETRO	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	63,00	64,60	67,30	67,80	68,80	71,00	71,20	71,40	71,70	71,50
10	62,90	64,40	66,90	67,30	68,20	70,00	70,10	70,20	70,40	70,10
Q(l/s)	3,51	5,03	7,25	8,36	8,89	11,71	12,26	12,75	13,36	13,83
Q(m ³ /s)	0,0035	0,0050	0,0072	0,0084	0,0089	0,0117	0,0123	0,0128	0,0134	0,0138
v(m/s)	0,25	0,35	0,51	0,58	0,62	0,82	0,86	0,89	0,93	0,97
Re	35434	50808	73177	84370	89754	118234	123770	128740	134936	139606
hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,40	0,50	0,60	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40
hf(m)	0,0010	0,0020	0,0040	0,0050	0,0060	0,0100	0,0110	0,0120	0,0130	0,0140
f	0,0279	0,0271	0,0262	0,0246	0,0261	0,0250	0,0251	0,0254	0,0250	0,0252
ks	2,95E-04	3,11E-04	2,99E-04	2,29E-04	3,14E-04	2,79E-04	2,87E-04	3,01E-04	2,85E-04	2,95E-04
ks/d	2,19E-03	2,30E-03	2,21E-03	1,70E-03	2,33E-03	2,07E-03	2,13E-03	2,23E-03	2,11E-03	2,19E-03

PRUEBAS DE PIEZÓMETROS

FECHA 16-jul-09
PRUEBA DIA No 154
PRUEBAS REALIZADAS 10
T°C 24,2

VERTEDERO No 1 (POLIETILENO)

Ho= 11,96 $Q = 0.0115 * H^{2.4109}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,0968	0,0074	9,18E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	22,49	22,83	24,91	25,60	26,02	27,00	27,20	27,74	28,00	28,30
PIEZÓMETRO H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
1	63,20	63,80	66,40	67,50	68,30	69,40	69,60	70,20	70,40	70,60
2	63,00	63,60	65,80	66,80	67,40	68,30	68,40	68,90	68,10	68,30
3	62,60	63,10	64,90	65,60	66,10	66,40	66,40	66,50	66,40	66,30
Q(l/s)	3,35	3,62	5,52	6,26	6,74	7,92	8,18	8,90	9,25	9,68
Q(m ³ /s)	0,0034	0,0036	0,0055	0,0063	0,0067	0,0079	0,0082	0,0089	0,0093	0,0097
v(m/s)	0,46	0,49	0,75	0,85	0,91	1,08	1,11	1,21	1,26	1,31
Re	48034	51859	79095	89640	96439	113450	117121	127377	132496	138550
hf1 (cm)	0,20	0,20	0,60	0,70	0,90	1,10	1,20	1,30	2,30	2,30
hf2 (cm)	0,40	0,50	0,90	1,20	1,30	1,90	2,00	2,40	1,70	2,00
hf (m)	0,0060	0,0070	0,0150	0,0190	0,0220	0,0300	0,0320	0,0370	0,0400	0,0430
f	0,0230	0,0230	0,0212	0,0209	0,0209	0,0206	0,0206	0,0202	0,0201	0,0198
ks	5,72E-05	6,70E-05	5,38E-05	5,54E-05	6,05E-05	6,26E-05	6,47E-05	5,81E-05	5,96E-05	5,41E-05
ks/d	5,91E-04	6,92E-04	5,55E-04	5,72E-04	6,24E-04	6,46E-04	6,68E-04	6,00E-04	6,16E-04	5,59E-04

VERTEDERO No 2 (PVC)

Ho= 11,77 $Q = 0.011 * H^{2.398}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1093	0,0094	9,18E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	22,08	22,76	23,80	24,60	25,76	26,49	27,14	28,58	28,84	29,46
PIEZÓMETRO H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
4	63,10	64,30	65,60	67,50	69,70	71,80	72,10	72,70	72,70	73,00
5	62,90	64,10	65,40	67,30	69,20	71,30	71,50	71,80	71,80	71,90
6	62,80	63,90	65,10	67,00	68,70	70,70	70,70	70,90	70,80	70,90
7	62,60	63,70	64,80	66,50	68,00	69,80	69,70	69,10	68,90	68,50
Q(l/s)	2,96	3,45	4,28	5,00	6,15	6,95	7,71	9,56	9,91	10,80
Q(m ³ /s)	0,0030	0,0034	0,0043	0,0050	0,0062	0,0070	0,0077	0,0096	0,0099	0,0108
v(m/s)	0,32	0,37	0,46	0,53	0,66	0,74	0,82	1,02	1,06	1,15
Re	37550	43766	54362	63438	78071	88199	97828	121264	125810	137047
hm (cm)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,50	0,50	0,60	0,90	0,90	1,10
hm (m)	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0050	0,0050	0,0060	0,0090	0,0090	0,0110
hf1 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,30	0,50	0,60	0,80	0,90	1,00	1,00
hf2 (cm)	0,20	0,20	0,30	0,50	0,70	0,90	1,00	1,80	1,90	2,40
hf (m)	0,0030	0,0040	0,0060	0,0080	0,0120	0,0150	0,0180	0,0270	0,0290	0,0340
f	0,0232	0,0228	0,0222	0,0217	0,0215	0,0210	0,0205	0,0200	0,0200	0,0198
ks	3,50E-05	4,42E-05	5,20E-05	5,48E-05	6,86E-05	6,56E-05	5,88E-05	5,99E-05	6,09E-05	5,96E-05
km	0,3939	0,2900	0,1879	0,1380	0,2278	0,1785	0,1741	0,1700	0,1579	0,1626
ks/d	3,20E-04	4,04E-04	4,76E-04	5,02E-04	6,28E-04	6,00E-04	5,38E-04	5,48E-04	5,57E-04	5,46E-04

VERTEDERO No 3 (CCP)

Ho= 12,19 $Q = 0.008 * H^{2.541}$

Diámetro (m)	Área (m ²)	γ (m ² /s)
0,1350	0,0143	9,18E-07

PRUEBA No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	23,10	24,88	26,04	28,50	29,74	30,10	30,43	31,10	31,54	31,76
PIEZÓMETRO H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	62,90	64,80	66,40	69,20	71,00	71,30	71,40	71,90	72,20	72,30
10	62,80	64,60	66,10	68,50	70,00	70,20	70,20	70,50	70,60	70,60
Q(l/s)	3,47	5,09	6,36	9,64	11,61	12,22	12,80	14,03	14,88	15,31
Q(m ³ /s)	0,0035	0,0051	0,0064	0,0096	0,0116	0,0122	0,0128	0,0140	0,0149	0,0153
v(m/s)	0,24	0,36	0,44	0,67	0,81	0,85	0,89	0,98	1,04	1,07
Re	35625	52305	65323	98967	119221	125534	131495	144118	152792	157245
hf1 (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hf2 (cm)	0,10	0,20	0,30	0,70	1,00	1,10	1,20	1,40	1,60	1,70
hf (m)	0,0010	0,0020	0,0030	0,0070	0,0100	0,0110	0,0120	0,0140	0,0160	0,0170
f	0,0285	0,0265	0,0255	0,0259	0,0255	0,0253	0,0251	0,0244	0,0248	0,0249
ks	3,41E-04	2,76E-04	2,48E-04	3,12E-04	3,03E-04	2,96E-04	2,91E-04	2,60E-04	2,83E-04	2,89E-04
ks/d	2,52E-03	2,04E-03	1,84E-03	2,31E-03	2,24E-03	2,19E-03	2,15E-03	1,92E-03	2,10E-03	2,14E-03



Universidad de los Andes

Universidad de los Andes

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados - CIACUA

Efecto de los materiales de las tuberías en la generación de biopelículas en redes de distribución de agua potable.

MIC 2009-I-5



Anexo 5. Cálculo de la subcapa laminar con base en la velocidad de recirculación; comparación con el espesor de la biopelícula

CÁLCULO SUBCAPA LAMINAR VISCOSA

$\rho=$	1000	kg/m ³
$r_0=$	0,048	m
$L=$	2,39	m

TUBERÍA No 1. POLIETILENO

DÍA	γ (m ² /s)	V (m/s)	hf (m)	τ_0	V*	δ' (m)	δ' (μm)	0.305δ' (μm)	espesor biopelícula (μm)	e bio < 0.305δ' (μm)
1	1,04E-06	0,38	0,0040	0,3974	0,0199	6,07E-04	607,23	185,21	0,0000	Si
4	1,07E-06	0,38	0,0040	0,3974	0,0199	6,21E-04	620,60	189,28	12,4900	Si
6	9,52E-07	0,39	0,0040	0,3974	0,0199	5,54E-04	554,20	169,03	18,7351	Si
8	9,89E-07	0,43	0,0050	0,4968	0,0223	5,15E-04	514,80	157,01	24,9801	Si
11	9,42E-07	0,43	0,0050	0,4968	0,0223	4,90E-04	490,34	149,55	34,3476	Si
13	1,01E-06	0,43	0,0050	0,4968	0,0223	5,28E-04	527,97	161,03	40,5926	Si
15	1,03E-06	0,43	0,0050	0,4968	0,0223	5,37E-04	536,71	163,70	46,8377	Si
18	1,04E-06	0,43	0,0050	0,4968	0,0223	5,41E-04	540,54	164,87	56,2052	Si
20	1,05E-06	0,43	0,0050	0,4968	0,0223	5,47E-04	547,05	166,85	64,1342	Si
22	1,03E-06	0,43	0,0050	0,4968	0,0223	5,37E-04	536,71	163,70	70,5476	Si
25	1,02E-06	0,43	0,0050	0,4968	0,0223	5,33E-04	532,93	162,54	80,1678	Si
27	1,00E-06	0,43	0,0050	0,4968	0,0223	5,22E-04	521,90	159,18	86,5815	Si
29	1,03E-06	0,42	0,0050	0,4968	0,0223	5,35E-04	535,44	163,31	86,0326	Si
32	9,80E-07	0,43	0,0050	0,4968	0,0223	5,10E-04	510,17	155,60	85,2094	Si
34	9,85E-07	0,43	0,0050	0,4968	0,0223	5,12E-04	512,48	156,31	84,6605	Si
36	9,34E-07	0,43	0,0050	0,4968	0,0223	4,86E-04	486,14	148,27	84,1117	Si
40	1,00E-06	0,47	0,0060	0,5962	0,0244	4,76E-04	475,88	145,14	83,0139	Si
42	1,07E-06	0,47	0,0060	0,5962	0,0244	5,06E-04	506,10	154,36	86,3283	Si
46	1,04E-06	0,46	0,0060	0,5962	0,0244	4,95E-04	494,62	150,86	92,9570	Si
48	9,83E-07	0,46	0,0060	0,5962	0,0244	4,67E-04	466,77	142,37	96,2714	Si
50	9,87E-07	0,47	0,0060	0,5962	0,0244	4,69E-04	468,88	143,01	99,5857	Si
53	9,34E-07	0,46	0,0060	0,5962	0,0244	4,44E-04	443,78	135,35	104,5573	Si
60	9,37E-07	0,47	0,0060	0,5962	0,0244	4,45E-04	445,21	135,79	108,0016	Si
61	9,13E-07	0,47	0,0060	0,5962	0,0244	4,34E-04	433,57	132,24	108,4937	Si
64	9,03E-07	0,47	0,0060	0,5962	0,0244	4,29E-04	429,08	130,87	109,9698	Si
70	8,97E-07	0,52	0,0070	0,6955	0,0264	3,94E-04	394,39	120,29	112,9222	Si
76	1,04E-06	0,51	0,0070	0,6955	0,0264	4,56E-04	455,76	139,01	117,8699	Si
77	9,36E-07	0,50	0,0070	0,6955	0,0264	4,12E-04	411,74	125,58	118,6945	Si
81	1,06E-06	0,51	0,0070	0,6955	0,0264	4,66E-04	466,28	142,21	124,3341	Si
83	9,65E-07	0,51	0,0070	0,6955	0,0264	4,24E-04	424,50	129,47	127,1539	Si
85	9,76E-07	0,50	0,0070	0,6955	0,0264	4,29E-04	429,25	130,92	129,9737	Si
88	9,00E-07	0,50	0,0070	0,6955	0,0264	3,96E-04	396,02	120,79	134,2034	No
91	1,00E-06	0,49	0,0070	0,6955	0,0264	4,40E-04	440,08	134,22	138,4331	No
95	9,56E-07	0,49	0,0070	0,6955	0,0264	4,20E-04	420,31	128,20	132,6031	No
99	9,45E-07	0,57	0,0090	0,8943	0,0299	3,67E-04	366,67	111,83	126,7743	No
104	9,91E-07	0,49	0,0070	0,6955	0,0264	4,36E-04	436,08	133,00	119,4875	Si
110	9,29E-07	0,50	0,0070	0,6955	0,0264	4,09E-04	408,68	124,65	117,3943	Si
116	9,25E-07	0,49	0,0070	0,6955	0,0264	4,07E-04	406,94	124,12	115,3010	Si
120	1,01E-06	0,48	0,0070	0,6955	0,0264	4,43E-04	443,12	135,15	114,0368	Si
127	9,48E-07	0,49	0,0070	0,6955	0,0264	4,17E-04	417,12	127,22	111,8244	Si
133	9,20E-07	0,53	0,0080	0,7949	0,0282	3,79E-04	378,65	115,49	112,0295	Si
139	9,15E-07	0,54	0,0080	0,7949	0,0282	3,76E-04	376,27	114,76	112,2346	Si
141	8,90E-07	0,53	0,0080	0,7949	0,0282	3,66E-04	366,29	111,72	112,3030	No
145	9,38E-07	0,53	0,0080	0,7949	0,0282	3,86E-04	385,98	117,72	112,0534	Si
148	9,34E-07	0,53	0,0080	0,7949	0,0282	3,84E-04	384,33	117,22	115,3662	Si
154	9,18E-07	0,53	0,0080	0,7949	0,0282	3,78E-04	377,85	115,25	116,2415	No

$\rho=$	1000	kg/m ³
$r_0=$	0,055	m
$L=$	2,78	m

TUBERÍA No 2. PVC

DÍA	γ (m ² /s)	V (m/s)	hf	τ_0	V	δ (m)	δ (μ m)	0.305 δ' (μ m)	espesor biopelícula (μ m)	e bio < 0.305 δ' (μ m)
1	1,04E-06	0,39	0,004	0,3856	0,0196	6,17E-04	616,53	188,04	0,0000	Sí
4	1,07E-06	0,39	0,004	0,3856	0,0196	6,30E-04	630,10	192,18	7,4003	Sí
6	9,52E-07	0,40	0,004	0,3856	0,0196	5,63E-04	562,68	171,62	11,1004	Sí
8	9,89E-07	0,39	0,004	0,3856	0,0196	5,84E-04	584,38	178,23	14,8006	Sí
11	9,42E-07	0,39	0,004	0,3856	0,0196	5,57E-04	556,61	169,77	20,3508	Sí
13	1,01E-06	0,40	0,004	0,3856	0,0196	5,99E-04	599,32	182,79	24,0510	Sí
15	1,03E-06	0,45	0,005	0,4819	0,0220	5,45E-04	544,92	166,20	27,7511	Sí
18	1,04E-06	0,45	0,005	0,4819	0,0220	5,49E-04	548,82	167,39	33,3013	Sí
20	1,05E-06	0,44	0,005	0,4819	0,0220	5,55E-04	555,43	169,41	39,4113	Sí
22	1,03E-06	0,46	0,005	0,4819	0,0220	5,45E-04	544,92	166,20	45,5213	Sí
25	1,02E-06	0,45	0,005	0,4819	0,0220	5,41E-04	541,09	165,03	54,6862	Sí
27	1,00E-06	0,45	0,005	0,4819	0,0220	5,30E-04	529,89	161,62	60,7962	Sí
29	1,03E-06	0,44	0,005	0,4819	0,0220	5,44E-04	543,64	165,81	58,7946	Sí
32	9,80E-07	0,44	0,005	0,4819	0,0220	5,18E-04	517,98	157,98	55,7922	Sí
34	9,85E-07	0,43	0,005	0,4819	0,0220	5,20E-04	520,32	158,70	53,7905	Sí
36	9,34E-07	0,43	0,005	0,4819	0,0220	4,94E-04	493,58	150,54	51,7889	Sí
40	1,00E-06	0,43	0,005	0,4819	0,0220	5,29E-04	529,28	161,43	47,7857	Sí
42	1,07E-06	0,42	0,005	0,4819	0,0220	5,63E-04	562,89	171,68	50,8078	Sí
46	1,04E-06	0,42	0,005	0,4819	0,0220	5,50E-04	550,13	167,79	56,8519	Sí
48	9,83E-07	0,42	0,005	0,4819	0,0220	5,19E-04	519,15	158,34	59,8740	Sí
50	1,07E-06	0,42	0,005	0,4819	0,0220	5,63E-04	562,89	171,68	62,8961	Sí
53	9,34E-07	0,43	0,005	0,4819	0,0220	4,94E-04	493,58	150,54	67,4292	Sí
60	9,37E-07	0,43	0,005	0,4819	0,0220	4,95E-04	495,17	151,03	68,8588	Sí
61	9,13E-07	0,42	0,005	0,4819	0,0220	4,82E-04	482,22	147,08	69,7106	Sí
64	9,03E-07	0,48	0,006	0,5783	0,0240	4,36E-04	435,65	132,87	72,2660	Sí
70	8,97E-07	0,47	0,006	0,5783	0,0240	4,33E-04	432,52	131,92	81,9100	Sí
76	1,04E-06	0,46	0,006	0,5783	0,0240	5,00E-04	499,81	152,44	85,0383	Sí
77	9,36E-07	0,47	0,006	0,5783	0,0240	4,52E-04	451,54	137,72	85,5597	Sí
81	1,06E-06	0,46	0,006	0,5783	0,0240	5,11E-04	511,35	155,96	87,2396	Sí
83	9,65E-07	0,47	0,006	0,5783	0,0240	4,66E-04	465,53	141,99	88,0796	Sí
85	9,76E-07	0,46	0,006	0,5783	0,0240	4,71E-04	470,74	143,57	88,9195	Sí
88	9,00E-07	0,46	0,006	0,5783	0,0240	4,34E-04	434,30	132,46	90,1795	Sí
91	1,00E-06	0,46	0,006	0,5783	0,0240	4,83E-04	482,61	147,20	91,4394	Sí
95	9,56E-07	0,46	0,006	0,5783	0,0240	4,61E-04	460,94	140,59	88,4882	Sí
99	9,45E-07	0,47	0,006	0,5783	0,0240	4,56E-04	455,95	139,06	85,5369	Sí
104	9,91E-07	0,45	0,006	0,5783	0,0240	4,78E-04	478,23	145,86	81,8479	Sí
110	9,29E-07	0,46	0,006	0,5783	0,0240	4,48E-04	448,18	136,69	83,6256	Sí
116	9,25E-07	0,46	0,006	0,5783	0,0240	4,46E-04	446,28	136,11	85,4033	Sí
120	1,01E-06	0,45	0,006	0,5783	0,0240	4,86E-04	485,96	148,22	83,6979	Sí
127	9,48E-07	0,46	0,006	0,5783	0,0240	4,57E-04	457,43	139,52	80,7136	Sí
133	9,20E-07	0,49	0,007	0,6747	0,0260	4,11E-04	410,99	125,35	78,6335	Sí
139	9,15E-07	0,50	0,007	0,6747	0,0260	4,08E-04	408,41	124,56	76,5534	Sí
141	8,90E-07	0,50	0,007	0,6747	0,0260	3,98E-04	397,57	121,26	75,8601	Sí
145	9,38E-07	0,50	0,007	0,6747	0,0260	4,19E-04	418,95	127,78	75,9393	Sí
148	9,34E-07	0,53	0,008	0,7711	0,0278	3,90E-04	390,21	119,01	75,9988	Sí
154	9,18E-07	0,53	0,008	0,7711	0,0278	3,84E-04	383,64	117,01	76,1176	Sí

$\rho=$	1000	kg/m ³
$r_0=$	0,068	m
$L=$	1,58	m

TUBERÍA No 3. CCP

DÍA	γ (m ² /s)	V (m/s)	hf	τ_0	V	δ (m)	δ (μ m)	0.305 δ' (μ m)	espesor biopelícula (μ m)	e bio < 0.305 δ' (μ m)
1	1,04E-06	0,48	0,003	0,6286	0,0251	4,83E-04	482,83	147,26	0,0000	Si
4	1,07E-06	0,48	0,003	0,6286	0,0251	4,93E-04	493,45	150,50	16,6569	Si
6	9,52E-07	0,48	0,003	0,6286	0,0251	4,41E-04	440,66	134,40	24,9854	Si
8	9,89E-07	0,48	0,003	0,6286	0,0251	4,58E-04	457,65	139,58	33,3139	Si
11	9,42E-07	0,48	0,003	0,6286	0,0251	4,36E-04	435,90	132,95	45,8066	Si
13	1,01E-06	0,47	0,003	0,6286	0,0251	4,69E-04	469,36	143,15	54,1351	Si
15	1,03E-06	0,47	0,003	0,6286	0,0251	4,77E-04	477,12	145,52	62,4635	Si
18	1,04E-06	0,47	0,003	0,6286	0,0251	4,81E-04	480,53	146,56	74,9562	Si
20	1,05E-06	0,48	0,003	0,6286	0,0251	4,86E-04	486,32	148,33	83,2847	Si
22	1,03E-06	0,47	0,003	0,6286	0,0251	4,77E-04	477,12	145,52	91,6132	Si
25	1,02E-06	0,47	0,003	0,6286	0,0251	4,74E-04	473,76	144,50	104,1059	Si
27	1,00E-06	0,47	0,003	0,6286	0,0251	4,64E-04	463,96	141,51	108,2701	Si
29	1,03E-06	0,47	0,003	0,6286	0,0251	4,76E-04	476,00	145,18	110,6532	Si
32	9,80E-07	0,47	0,003	0,6286	0,0251	4,54E-04	453,53	138,33	114,2279	Si
34	9,85E-07	0,46	0,003	0,6286	0,0251	4,56E-04	455,58	138,95	116,6110	Si
36	9,34E-07	0,47	0,003	0,6286	0,0251	4,32E-04	432,17	131,81	118,9941	Si
40	1,00E-06	0,46	0,003	0,6286	0,0251	4,63E-04	463,43	141,35	123,7603	Si
42	1,07E-06	0,46	0,003	0,6286	0,0251	4,93E-04	492,85	150,32	126,1434	Si
46	1,04E-06	0,46	0,003	0,6286	0,0251	4,82E-04	481,68	146,91	130,9096	Si
48	9,83E-07	0,47	0,003	0,6286	0,0251	4,55E-04	454,56	138,64	133,2927	Si
50	1,07E-06	0,46	0,003	0,6286	0,0251	4,93E-04	492,85	150,32	135,6758	Si
53	9,34E-07	0,46	0,003	0,6286	0,0251	4,32E-04	432,17	131,81	139,2505	No
60	9,37E-07	0,46	0,003	0,6286	0,0251	4,34E-04	433,56	132,24	141,2331	No
61	9,13E-07	0,46	0,003	0,6286	0,0251	4,22E-04	422,22	128,78	141,5163	No
64	9,03E-07	0,46	0,003	0,6286	0,0251	4,18E-04	417,85	127,44	142,3660	No
70	8,97E-07	0,46	0,003	0,6286	0,0251	4,15E-04	414,85	126,53	144,0653	No
76	1,04E-06	0,53	0,004	0,8382	0,0290	4,15E-04	415,16	126,62	145,7647	No
77	9,36E-07	0,52	0,004	0,8382	0,0290	3,75E-04	375,07	114,40	146,0479	No
81	1,06E-06	0,52	0,004	0,8382	0,0290	4,25E-04	424,75	129,55	147,1808	No
83	9,65E-07	0,52	0,004	0,8382	0,0290	3,87E-04	386,69	117,94	147,7472	No
85	9,76E-07	0,52	0,004	0,8382	0,0290	3,91E-04	391,01	119,26	148,3137	No
88	9,00E-07	0,53	0,004	0,8382	0,0290	3,61E-04	360,75	110,03	149,1634	No
91	1,00E-06	0,52	0,004	0,8382	0,0290	4,01E-04	400,88	122,27	150,0130	No
95	9,56E-07	0,52	0,004	0,8382	0,0290	3,83E-04	382,88	116,78	152,1290	No
99	9,45E-07	0,52	0,004	0,8382	0,0290	3,79E-04	378,73	115,51	154,2450	No
104	9,91E-07	0,58	0,005	1,0477	0,0324	3,55E-04	355,30	108,37	156,8900	No
110	9,29E-07	0,52	0,004	0,8382	0,0290	3,72E-04	372,28	113,54	160,0639	No
116	9,25E-07	0,52	0,004	0,8382	0,0290	3,71E-04	370,70	113,06	163,2379	No
120	1,01E-06	0,52	0,004	0,8382	0,0290	4,04E-04	403,66	123,12	161,9605	No
127	9,48E-07	0,52	0,004	0,8382	0,0290	3,80E-04	379,96	115,89	159,7250	No
133	9,20E-07	0,52	0,004	0,8382	0,0290	3,69E-04	368,74	112,47	157,8089	No
139	9,15E-07	0,59	0,005	1,0477	0,0324	3,28E-04	327,74	99,96	155,8928	No
141	8,90E-07	0,59	0,005	1,0477	0,0324	3,19E-04	319,04	97,31	155,2540	No
145	9,38E-07	0,58	0,005	1,0477	0,0324	3,36E-04	336,20	102,54	153,9766	No
148	9,34E-07	0,58	0,005	1,0477	0,0324	3,35E-04	334,76	102,10	153,0186	No
154	9,18E-07	0,58	0,005	1,0477	0,0324	3,29E-04	329,12	100,38	151,1024	No



Anexo 6. Cálculo de la subcapa laminar con base en la velocidad de recirculación; comparación con el espesor de la biopelícula y la rugosidad absoluta

CÁLCULO SUBCAPA LAMINAR VISCOSA

$\rho=$	1000	kg/m ³
$r_0=$	0,048	m
$L=$	2,39	m

TUBERÍA No 1. POLIETILENO

DÍA	γ (m ² /s)	V (m/s)	hf (m)	τ_0	V*	δ' (m)	δ' (μm)	0.305 δ' (μm)	6.10 δ' (μm)	ks (m)	ks (μm)	Tipo de flujo
1	1,04E-06	0,38	0,0040	0,3974	0,0199	6,07E-04	607,23	185,21	3704	-2,2E-05	-22,02	FHL
4	1,07E-06	0,38	0,0040	0,3974	0,0199	6,21E-04	620,60	189,28	3786	-2,0E-05	-19,95	FHL
6	9,52E-07	0,39	0,0040	0,3974	0,0199	5,54E-04	554,20	169,03	3381	-2,3E-05	-23,35	FHL
8	9,89E-07	0,43	0,0050	0,4968	0,0223	5,15E-04	514,80	157,01	3140	-1,1E-05	-10,74	FHL
11	9,42E-07	0,43	0,0050	0,4968	0,0223	4,90E-04	490,34	149,55	2991	-3,8E-06	-3,85	FHL
13	1,01E-06	0,43	0,0050	0,4968	0,0223	5,28E-04	527,97	161,03	3221	-1,9E-05	-19,34	FHL
15	1,03E-06	0,43	0,0050	0,4968	0,0223	5,37E-04	536,71	163,70	3274	-1,9E-05	-19,38	FHL
18	1,04E-06	0,43	0,0050	0,4968	0,0223	5,41E-04	540,54	164,87	3297	-1,8E-05	-18,00	FHL
20	1,05E-06	0,43	0,0050	0,4968	0,0223	5,47E-04	547,05	166,85	3337	-1,7E-05	-17,34	FHL
22	1,03E-06	0,43	0,0050	0,4968	0,0223	5,37E-04	536,71	163,70	3274	-1,2E-05	-11,87	FHL
25	1,02E-06	0,43	0,0050	0,4968	0,0223	5,33E-04	532,93	162,54	3251	-5,6E-06	-5,58	FHL
27	1,00E-06	0,43	0,0050	0,4968	0,0223	5,22E-04	521,90	159,18	3184	-5,1E-06	-5,11	FHL
29	1,03E-06	0,42	0,0050	0,4968	0,0223	5,35E-04	535,44	163,31	3266	1,9E-06	1,88	FHL
32	9,80E-07	0,43	0,0050	0,4968	0,0223	5,10E-04	510,17	155,60	3112	8,3E-07	0,83	FHL
34	9,85E-07	0,43	0,0050	0,4968	0,0223	5,12E-04	512,48	156,31	3126	2,9E-06	2,86	FHL
36	9,34E-07	0,43	0,0050	0,4968	0,0223	4,86E-04	486,14	148,27	2965	2,4E-06	2,38	FHL
40	1,00E-06	0,47	0,0060	0,5962	0,0244	4,76E-04	475,88	145,14	2903	6,8E-06	6,80	FHL
42	1,07E-06	0,47	0,0060	0,5962	0,0244	5,06E-04	506,10	154,36	3087	6,0E-06	5,96	FHL
46	1,04E-06	0,46	0,0060	0,5962	0,0244	4,95E-04	494,62	150,86	3017	2,0E-05	20,04	FHL
48	9,83E-07	0,46	0,0060	0,5962	0,0244	4,67E-04	466,77	142,37	2847	2,5E-05	25,12	FHL
50	9,87E-07	0,47	0,0060	0,5962	0,0244	4,69E-04	468,88	143,01	2860	6,3E-06	6,30	FHL
53	9,34E-07	0,46	0,0060	0,5962	0,0244	4,44E-04	443,78	135,35	2707	3,4E-05	34,37	FHL
60	9,37E-07	0,47	0,0060	0,5962	0,0244	4,45E-04	445,21	135,79	2716	8,1E-06	8,14	FHL
61	9,13E-07	0,47	0,0060	0,5962	0,0244	4,34E-04	433,57	132,24	2645	1,6E-05	16,26	FHL
64	9,03E-07	0,47	0,0060	0,5962	0,0244	4,29E-04	429,08	130,87	2617	1,0E-05	10,33	FHL
70	8,97E-07	0,52	0,0070	0,6955	0,0264	3,94E-04	394,39	120,29	2406	1,3E-05	13,03	FHL
76	1,04E-06	0,51	0,0070	0,6955	0,0264	4,56E-04	455,76	139,01	2780	1,4E-05	14,09	FHL
77	9,36E-07	0,50	0,0070	0,6955	0,0264	4,12E-04	411,74	125,58	2512	4,7E-05	47,34	FHL
81	1,06E-06	0,51	0,0070	0,6955	0,0264	4,66E-04	466,28	142,21	2844	1,4E-05	13,59	FHL
83	9,65E-07	0,51	0,0070	0,6955	0,0264	4,24E-04	424,50	129,47	2589	2,5E-05	25,37	FHL
85	9,76E-07	0,50	0,0070	0,6955	0,0264	4,29E-04	429,25	130,92	2618	4,0E-05	39,66	FHL
88	9,00E-07	0,50	0,0070	0,6955	0,0264	3,96E-04	396,02	120,79	2416	4,6E-05	46,31	FHL
91	1,00E-06	0,49	0,0070	0,6955	0,0264	4,40E-04	440,08	134,22	2684	7,3E-05	72,63	FHL
95	9,56E-07	0,49	0,0070	0,6955	0,0264	4,20E-04	420,31	128,20	2564	5,6E-05	56,37	FHL
99	9,45E-07	0,57	0,0090	0,8943	0,0299	3,67E-04	366,67	111,83	2237	5,4E-05	53,54	FHL
104	9,91E-07	0,49	0,0070	0,6955	0,0264	4,36E-04	436,08	133,00	2660	6,4E-05	64,11	FHL
110	9,29E-07	0,50	0,0070	0,6955	0,0264	4,09E-04	408,68	124,65	2493	4,3E-05	42,75	FHL
116	9,25E-07	0,49	0,0070	0,6955	0,0264	4,07E-04	406,94	124,12	2482	6,0E-05	60,14	FHL
120	1,01E-06	0,48	0,0070	0,6955	0,0264	4,43E-04	443,12	135,15	2703	7,8E-05	78,45	FHL
127	9,48E-07	0,49	0,0070	0,6955	0,0264	4,17E-04	417,12	127,22	2544	6,3E-05	63,27	FHL
133	9,20E-07	0,53	0,0080	0,7949	0,0282	3,79E-04	378,65	115,49	2310	6,4E-05	64,08	FHL
139	9,15E-07	0,54	0,0080	0,7949	0,0282	3,76E-04	376,27	114,76	2295	4,4E-05	43,59	FHL
141	8,90E-07	0,53	0,0080	0,7949	0,0282	3,66E-04	366,29	111,72	2234	6,5E-05	64,78	FHL
145	9,38E-07	0,53	0,0080	0,7949	0,0282	3,86E-04	385,98	117,72	2354	5,4E-05	53,78	FHL
148	9,34E-07	0,53	0,0080	0,7949	0,0282	3,84E-04	384,33	117,22	2344	6,0E-05	59,69	FHL
154	9,18E-07	0,53	0,0080	0,7949	0,0282	3,78E-04	377,85	115,25	2305	6,7E-05	67,14	FHL

$\rho=$	1000	kg/m ³
$r_0=$	0,055	m
$L=$	2,78	m

TUBERÍA No 2. PVC

DÍA	γ (m ² /s)	V (m/s)	hf	τ_0	V	δ' (m)	δ' (μ m)	0.305 δ' (μ m)	6.10 δ' (μ m)	ks (m)	ks (μ m)	Tipo de flujo
1	1,04E-06	0,39	0,004	0,3856	0,0196	6,17E-04	616,53	188,04	3761	-5,1E-05	-51,12	FHL
4	1,07E-06	0,39	0,004	0,3856	0,0196	6,30E-04	630,10	192,18	3844	-5,9E-05	-59,11	FHL
6	9,52E-07	0,40	0,004	0,3856	0,0196	5,63E-04	562,68	171,62	3432	-5,0E-05	-49,94	FHL
8	9,89E-07	0,39	0,004	0,3856	0,0196	5,84E-04	584,38	178,23	3565	-4,8E-05	-48,25	FHL
11	9,42E-07	0,39	0,004	0,3856	0,0196	5,57E-04	556,61	169,77	3395	-4,2E-05	-42,42	FHL
13	1,01E-06	0,40	0,004	0,3856	0,0196	5,99E-04	599,32	182,79	3656	-5,8E-05	-58,37	FHL
15	1,03E-06	0,45	0,005	0,4819	0,0220	5,45E-04	544,92	166,20	3324	-6,0E-05	-60,08	FHL
18	1,04E-06	0,45	0,005	0,4819	0,0220	5,49E-04	548,82	167,39	3348	-6,0E-05	-59,59	FHL
20	1,05E-06	0,44	0,005	0,4819	0,0220	5,55E-04	555,43	169,41	3388	-3,9E-05	-38,51	FHL
22	1,03E-06	0,46	0,005	0,4819	0,0220	5,45E-04	544,92	166,20	3324	-6,6E-05	-66,16	FHL
25	1,02E-06	0,45	0,005	0,4819	0,0220	5,41E-04	541,09	165,03	3301	-4,7E-05	-47,39	FHL
27	1,00E-06	0,45	0,005	0,4819	0,0220	5,30E-04	529,89	161,62	3232	-4,8E-05	-47,68	FHL
29	1,03E-06	0,44	0,005	0,4819	0,0220	5,44E-04	543,64	165,81	3316	-2,7E-05	-27,15	FHL
32	9,80E-07	0,44	0,005	0,4819	0,0220	5,18E-04	517,98	157,98	3160	-2,0E-05	-19,92	FHL
34	9,85E-07	0,43	0,005	0,4819	0,0220	5,20E-04	520,32	158,70	3174	-3,0E-06	-2,96	FHL
36	9,34E-07	0,43	0,005	0,4819	0,0220	4,94E-04	493,58	150,54	3011	-4,5E-06	-4,50	FHL
40	1,00E-06	0,43	0,005	0,4819	0,0220	5,29E-04	529,28	161,43	3229	1,7E-06	1,69	FHL
42	1,07E-06	0,42	0,005	0,4819	0,0220	5,63E-04	562,89	171,68	3434	4,9E-06	4,91	FHL
46	1,04E-06	0,42	0,005	0,4819	0,0220	5,50E-04	550,13	167,79	3356	2,2E-05	22,18	FHL
48	9,83E-07	0,42	0,005	0,4819	0,0220	5,19E-04	519,15	158,34	3167	1,5E-05	14,62	FHL
50	1,07E-06	0,42	0,005	0,4819	0,0220	5,63E-04	562,89	171,68	3434	4,9E-06	4,91	FHL
53	9,34E-07	0,43	0,005	0,4819	0,0220	4,94E-04	493,58	150,54	3011	6,9E-06	6,93	FHL
60	9,37E-07	0,43	0,005	0,4819	0,0220	4,95E-04	495,17	151,03	3021	6,5E-06	6,48	FHL
61	9,13E-07	0,42	0,005	0,4819	0,0220	4,82E-04	482,22	147,08	2942	2,2E-05	22,46	FHL
64	9,03E-07	0,48	0,006	0,5783	0,0240	4,36E-04	435,65	132,87	2657	6,7E-06	6,69	FHL
70	8,97E-07	0,47	0,006	0,5783	0,0240	4,33E-04	432,52	131,92	2638	1,4E-05	13,84	FHL
76	1,04E-06	0,46	0,006	0,5783	0,0240	5,00E-04	499,81	152,44	3049	1,5E-05	15,40	FHL
77	9,36E-07	0,47	0,006	0,5783	0,0240	4,52E-04	451,54	137,72	2754	2,0E-05	19,55	FHL
81	1,06E-06	0,46	0,006	0,5783	0,0240	5,11E-04	511,35	155,96	3119	2,2E-05	22,16	FHL
83	9,65E-07	0,47	0,006	0,5783	0,0240	4,66E-04	465,53	141,99	2840	2,0E-05	20,26	FHL
85	9,76E-07	0,46	0,006	0,5783	0,0240	4,71E-04	470,74	143,57	2871	4,7E-05	46,96	FHL
88	9,00E-07	0,46	0,006	0,5783	0,0240	4,34E-04	434,30	132,46	2649	4,9E-05	49,10	FHL
91	1,00E-06	0,46	0,006	0,5783	0,0240	4,83E-04	482,61	147,20	2944	4,6E-05	46,40	FHL
95	9,56E-07	0,46	0,006	0,5783	0,0240	4,61E-04	460,94	140,59	2812	4,2E-05	41,59	FHL
99	9,45E-07	0,47	0,006	0,5783	0,0240	4,56E-04	455,95	139,06	2781	2,5E-05	25,35	FHL
104	9,91E-07	0,45	0,006	0,5783	0,0240	4,78E-04	478,23	145,86	2917	5,0E-05	50,46	FHL
110	9,29E-07	0,46	0,006	0,5783	0,0240	4,48E-04	448,18	136,69	2734	4,5E-05	45,19	FHL
116	9,25E-07	0,46	0,006	0,5783	0,0240	4,46E-04	446,28	136,11	2722	5,7E-05	56,64	FHL
120	1,01E-06	0,45	0,006	0,5783	0,0240	4,86E-04	485,96	148,22	2964	5,7E-05	57,00	FHL
127	9,48E-07	0,46	0,006	0,5783	0,0240	4,57E-04	457,43	139,52	2790	4,8E-05	47,96	FHL
133	9,20E-07	0,49	0,007	0,6747	0,0260	4,11E-04	410,99	125,35	2507	6,2E-05	61,83	FHL
139	9,15E-07	0,50	0,007	0,6747	0,0260	4,08E-04	408,41	124,56	2491	5,2E-05	52,24	FHL
141	8,90E-07	0,50	0,007	0,6747	0,0260	3,98E-04	397,57	121,26	2425	5,8E-05	57,82	FHL
145	9,38E-07	0,50	0,007	0,6747	0,0260	4,19E-04	418,95	127,78	2556	4,4E-05	44,32	FHL
148	9,34E-07	0,53	0,008	0,7711	0,0278	3,90E-04	390,21	119,01	2380	7,0E-05	70,46	FHL
154	9,18E-07	0,53	0,008	0,7711	0,0278	3,84E-04	383,64	117,01	2340	5,5E-05	54,83	FHL

$\rho=$	1000	kg/m ³
$r_0=$	0,068	m
$L=$	1,58	m

TUBERÍA No 3. CCP

DÍA	γ (m ² /s)	V (m/s)	hf	τ_0	V	δ' (m)	δ' (μ m)	0.305 δ' (μ m)	6.10 δ' (μ m)	ks (m)	ks (μ m)	Tipo de flujo
1	1,04E-06	0,48	0,003	0,6286	0,0251	4,83E-04	482,83	147,26	2945	6,4E-05	63,51	FHL
4	1,07E-06	0,48	0,003	0,6286	0,0251	4,93E-04	493,45	150,50	3010	6,3E-05	63,30	FHL
6	9,52E-07	0,48	0,003	0,6286	0,0251	4,41E-04	440,66	134,40	2688	8,4E-05	83,88	FHL
8	9,89E-07	0,48	0,003	0,6286	0,0251	4,58E-04	457,65	139,58	2792	8,8E-05	87,92	FHL
11	9,42E-07	0,48	0,003	0,6286	0,0251	4,36E-04	435,90	132,95	2659	9,7E-05	97,06	FHL
13	1,01E-06	0,47	0,003	0,6286	0,0251	4,69E-04	469,36	143,15	2863	9,7E-05	96,91	FHL
15	1,03E-06	0,47	0,003	0,6286	0,0251	4,77E-04	477,12	145,52	2910	9,2E-05	91,59	FHL
18	1,04E-06	0,47	0,003	0,6286	0,0251	4,81E-04	480,53	146,56	2931	1,0E-04	103,40	FHL
20	1,05E-06	0,48	0,003	0,6286	0,0251	4,86E-04	486,32	148,33	2967	8,0E-05	79,83	FHL
22	1,03E-06	0,47	0,003	0,6286	0,0251	4,77E-04	477,12	145,52	2910	9,2E-05	91,59	FHL
25	1,02E-06	0,47	0,003	0,6286	0,0251	4,74E-04	473,76	144,50	2890	1,1E-04	111,95	FHL
27	1,00E-06	0,47	0,003	0,6286	0,0251	4,64E-04	463,96	141,51	2830	1,0E-04	104,82	FHL
29	1,03E-06	0,47	0,003	0,6286	0,0251	4,76E-04	476,00	145,18	2904	1,2E-04	121,58	FHL
32	9,80E-07	0,47	0,003	0,6286	0,0251	4,54E-04	453,53	138,33	2767	1,3E-04	134,98	FHL
34	9,85E-07	0,46	0,003	0,6286	0,0251	4,56E-04	455,58	138,95	2779	1,5E-04	149,07	FT
36	9,34E-07	0,47	0,003	0,6286	0,0251	4,32E-04	432,17	131,81	2636	1,3E-04	130,47	FHL
40	1,00E-06	0,46	0,003	0,6286	0,0251	4,63E-04	463,43	141,35	2827	1,4E-04	135,79	FHL
42	1,07E-06	0,46	0,003	0,6286	0,0251	4,93E-04	492,85	150,32	3006	1,7E-04	166,06	FT
46	1,04E-06	0,46	0,003	0,6286	0,0251	4,82E-04	481,68	146,91	2938	1,5E-04	149,33	FT
48	9,83E-07	0,47	0,003	0,6286	0,0251	4,55E-04	454,56	138,64	2773	1,1E-04	107,47	FHL
50	1,07E-06	0,46	0,003	0,6286	0,0251	4,93E-04	492,85	150,32	3006	1,5E-04	150,05	FHL
53	9,34E-07	0,46	0,003	0,6286	0,0251	4,32E-04	432,17	131,81	2636	1,6E-04	159,45	FT
60	9,37E-07	0,46	0,003	0,6286	0,0251	4,34E-04	433,56	132,24	2645	1,7E-04	170,70	FT
61	9,13E-07	0,46	0,003	0,6286	0,0251	4,22E-04	422,22	128,78	2576	1,5E-04	154,74	FT
64	9,03E-07	0,46	0,003	0,6286	0,0251	4,18E-04	417,85	127,44	2549	1,7E-04	171,20	FT
70	8,97E-07	0,46	0,003	0,6286	0,0251	4,15E-04	414,85	126,53	2531	1,6E-04	160,56	FT
76	1,04E-06	0,53	0,004	0,8382	0,0290	4,15E-04	415,16	126,62	2532	1,9E-04	185,95	FT
77	9,36E-07	0,52	0,004	0,8382	0,0290	3,75E-04	375,07	114,40	2288	2,1E-04	213,02	FT
81	1,06E-06	0,52	0,004	0,8382	0,0290	4,25E-04	424,75	129,55	2591	2,3E-04	232,83	FT
83	9,65E-07	0,52	0,004	0,8382	0,0290	3,87E-04	386,69	117,94	2359	2,2E-04	222,06	FT
85	9,76E-07	0,52	0,004	0,8382	0,0290	3,91E-04	391,01	119,26	2385	2,1E-04	212,58	FT
88	9,00E-07	0,53	0,004	0,8382	0,0290	3,61E-04	360,75	110,03	2201	2,1E-04	209,08	FT
91	1,00E-06	0,52	0,004	0,8382	0,0290	4,01E-04	400,88	122,27	2445	2,0E-04	201,73	FT
95	9,56E-07	0,52	0,004	0,8382	0,0290	3,83E-04	382,88	116,78	2336	2,3E-04	227,33	FT
99	9,45E-07	0,52	0,004	0,8382	0,0290	3,79E-04	378,73	115,51	2310	2,2E-04	220,15	FT
104	9,91E-07	0,58	0,005	1,0477	0,0324	3,55E-04	355,30	108,37	2167	2,2E-04	223,64	FT
110	9,29E-07	0,52	0,004	0,8382	0,0290	3,72E-04	372,28	113,54	2271	2,3E-04	226,12	FT
116	9,25E-07	0,52	0,004	0,8382	0,0290	3,71E-04	370,70	113,06	2261	2,4E-04	235,02	FT
120	1,01E-06	0,52	0,004	0,8382	0,0290	4,04E-04	403,66	123,12	2462	2,4E-04	243,23	FT
127	9,48E-07	0,52	0,004	0,8382	0,0290	3,80E-04	379,96	115,89	2318	2,3E-04	232,41	FT
133	9,20E-07	0,52	0,004	0,8382	0,0290	3,69E-04	368,74	112,47	2249	2,2E-04	218,86	FT
139	9,15E-07	0,59	0,005	1,0477	0,0324	3,28E-04	327,74	99,96	1999	2,0E-04	197,86	FT
141	8,90E-07	0,59	0,005	1,0477	0,0324	3,19E-04	319,04	97,31	1946	2,2E-04	218,53	FT
145	9,38E-07	0,58	0,005	1,0477	0,0324	3,36E-04	336,20	102,54	2051	2,3E-04	225,13	FT
148	9,34E-07	0,58	0,005	1,0477	0,0324	3,35E-04	334,76	102,10	2042	2,3E-04	229,43	FT
154	9,18E-07	0,58	0,005	1,0477	0,0324	3,29E-04	329,12	100,38	2008	2,3E-04	227,12	FT



Anexo 7. Registro fotográfico

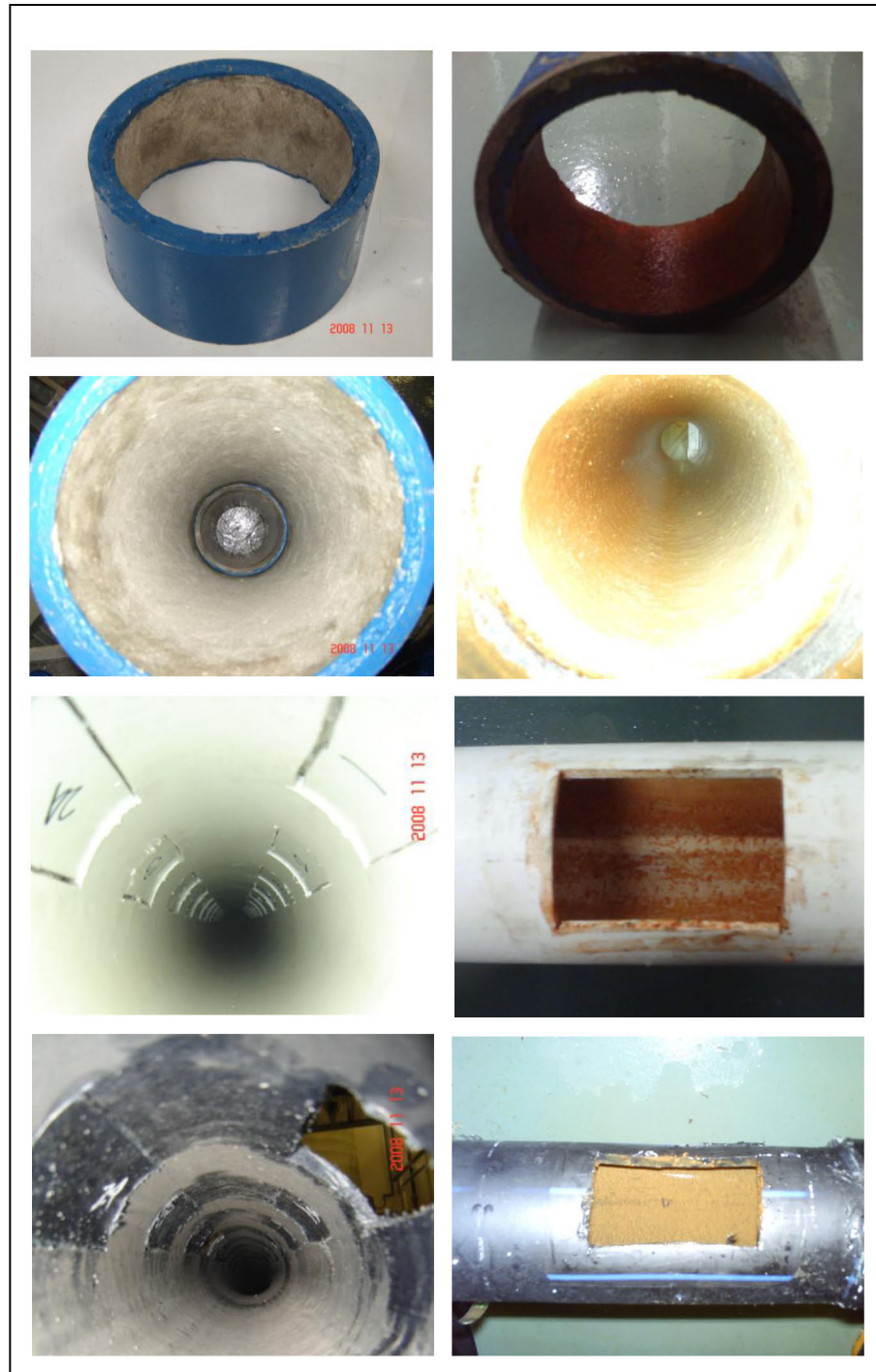


Figura 46. Resumen fotográfico crecimiento de biopelículas – día 0 vs día 89.



Figura 47. Crecimiento de biopelícula testigos de centro



Figura 48. Crecimiento de biopelícula testigos de borde

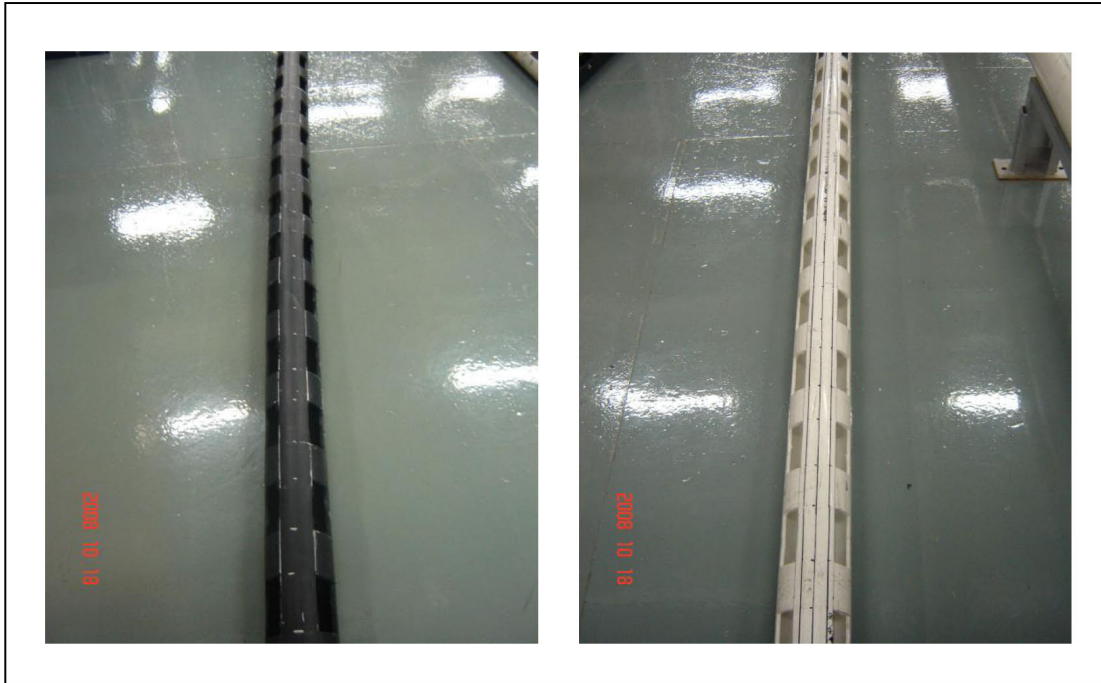


Figura 49. Construcción testigos polietileno y PVC



Figura 50. Construcción de testigos CCP



Universidad de los Andes
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados - CIACUA
Efecto de los materiales de las tuberías en la generación de biopelículas en redes de distribución de agua potable.

MIC 2009-I-5



Anexo 8. Resultados pruebas de calidad de agua



Universidad de los Andes

Universidad de los Andes

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados - CIACUA

Efecto de los materiales de las tuberías en la generación de biopelículas en redes de distribución de agua potable.

MIC 2009-I-5



Anexo 9. Resultado análisis microbiológico



Anexo 10. Cronograma



FECHA	DÍA	ACTIVIDADES					
		Recirculación diaria	Se agregaron nutrientes	Se agregó H ₂ O potable	Se determinó H _r para una v=0.5 m/s	Se realizaron pruebas de piezómetros	Se realizaron pruebas microbiológicas
12-feb-09	0	x					
13-feb-09	1	x	x		x		x
16-feb-09	4	x			x		
17-feb-09	5	x	x				
18-feb-09	6	x			x		
19-feb-09	7	x	x				
20-feb-09	8	x			x		
23-feb-09	11	x	x		x		
24-feb-09	12	x					
25-feb-09	13	x	x		x		
26-feb-09	14	x					
27-feb-09	15	x	x		x		
02-mar-09	18	x	x		x	x	x
03-mar-09	19	x					
04-mar-09	20	x			x		
05-mar-09	21	x	x				
06-mar-09	22	x			x	x	
09-mar-09	25	x	x		x	x	
10-mar-09	26	x					
11-mar-09	27	x			x		x
12-mar-09	28	x	x				
13-mar-09	29	x			x	x	
16-mar-09	32	x		x	x	x	
17-mar-09	33	x					
18-mar-09	34	x	x		x	x	
19-mar-09	35	x					
20-mar-09	36	x			x		
24-mar-09	40	x			x	x	x
25-mar-09	41	x	x				
26-mar-09	42	x			x		
27-mar-09	43	x		x		x	
30-mar-09	46	x	x		x		
31-mar-09	47	x					
01-abr-09	48	x			x		
02-abr-09	49	x	x			x	
03-abr-09	50	x			x		
06-abr-09	53	x			x		x
07-abr-09	54	x					
08-abr-09	55	x					
13-abr-09	60	x	x	x	x	x	
14-abr-09	61	x			x		
15-abr-09	62	x					
16-abr-09	63	x	x				
17-abr-09	64	x			x	x	
20-abr-09	67	x					
21-abr-09	68	x					x
22-abr-09	69	x	x				
23-abr-09	70	x			x	x	
24-abr-09	71	x					
27-abr-09	74	x					

FECHA	DÍA	ACTIVIDADES					
		Recirculación diaria	Se agregaron nutrientes	Se agregó H ₂ O potable	Se determinó H _r para una v=0.5 m/s	Se realizaron pruebas de piezómetros	Se realizaron pruebas microbiológicas
28-abr-09	75	x					
29-abr-09	76	x	x		x	x	
30-abr-09	77	x			x		x
04-may-09	81	x			x		
05-may-09	82	x	x			x	
06-may-09	83	x			x	x	
07-may-09	84	x					
08-may-09	85	x			x		
11-may-09	88	x	x	x	x		
12-may-09	89	x				x	x
13-may-09	90	x					
14-may-09	91	x	x		x		
15-may-09	92	x					
18-may-09	95	x			x	x	
19-may-09	96	x					
20-may-09	97	x					
21-may-09	98	x	x				
22-may-09	99	x			x	x	
26-may-09	103	x		x			x
27-may-09	104	x			x	x	
28-may-09	105	x					
29-may-09	106	x					
01-jun-09	109	x	x				
02-jun-09	110	x			x	x	
03-jun-09	111	x	x				
04-jun-09	112	x					
05-jun-09	113	x					x
08-jun-09	116	x	x	x	x	x	
09-jun-09	117	x					
10-jun-09	118	x					
11-jun-09	119	x					
12-jun-09	120	x	x		x		
16-jun-09	124	x					
17-jun-09	125	x				x	x
18-jun-09	126	x					
19-jun-09	127	x	x		x		
23-jun-09	131	x					
24-jun-09	132	x					
25-jun-09	133	x	x		x	x	
26-jun-09	134	x					
30-jun-09	138	x					
01-jul-09	139	x	x		x		
02-jul-09	140	x					
03-jul-09	141	x			x	x	x
06-jul-09	144	x	x				
07-jul-09	145	x			x		
08-jul-09	146	x					
09-jul-09	147	x	x			x	
10-jul-09	148	x			x		
13-jul-09	151	x					
14-jul-09	152	x	x				x
15-jul-09	153	x					
16-jul-09	154	x			x	x	
17-jul-09	155	x	x				