

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

Centro de Investigación en Acueductos y
Alcantarillados
CIACUA



CÁTEDRA PAVCO

**Determinación Experimental de la Rugosidad
Absoluta k_s en Tuberías de Agua Potable Unión
Platino de 2" y 2 ½"**

Informe Final

Bogotá, Junio de 2008

Tabla de Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	ANTECEDENTES.....	1
1.2	OBJETIVOS.....	1
1.3	CONTENIDO DEL INFORME.....	2
1.4	EQUIPO DE TRABAJO.....	2
1.4.1	<i>PAVCO S.A.</i>	3
1.4.2	<i>Universidad de los Andes</i>	3
2	DESCRIPCIÓN DEL MODELO.....	4
3	DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS.....	8
3.1	RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	8
3.2	CALIBRACIÓN DE LOS VERTEDEROS.....	8
3.3	METODOLOGÍA GENERAL.....	10
4	DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD ABSOLUTA.....	11
4.1	METODOLOGÍA DE CÁLCULO.....	11
4.2	RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	13
4.2.1	<i>Tubería Unión Platino 2"</i>	13
4.2.2	<i>Tubería Unión Platino 2 1/2"</i>	14
4.2.3	<i>Resultados coeficiente de rugosidad absoluta tubería 2"</i>	16
4.2.4	<i>Resultados coeficiente de rugosidad absoluta tubería 2 1/2"</i>	19
4.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	21
4.3.1	<i>Significado del diagrama de Moody</i>	21
4.3.2	<i>Flujo hidráulicamente liso</i>	22
4.3.3	<i>Límites del coeficiente de rugosidad absoluta para los dos materiales</i>	24
5	CONCLUSIONES.....	26
5.1	MONTAJE.....	26
5.2	DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR FRICCIÓN.....	26
6	RECOMENDACIONES.....	27
7	REFERENCIAS.....	27

Índice de Figuras

FIGURA 2-1. ESQUEMA DEL MONTAJE VISTA EN PLANTA	4
FIGURA 2-2. ESQUEMA DEL MONTAJE VISTA LATERAL	4
FIGURA 2-3. VISTA GENERAL DEL MONTAJE	5
FIGURA 2-4. VÁLVULAS PARA LA REGULACIÓN DE CAUDALES	6
FIGURA 2-5. PIEZÓMETROS (A) INSTALACIÓN. (B) TABLERO DE PIEZÓMETROS	6
FIGURA 2-6. VERTEDEROS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDAL	7
FIGURA 3-1. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA EL DESARROLLO DE LAS PRUEBAS	10

Índice de Tablas

TABLA 3-1. ECUACIONES DE CALIBRACIÓN DE LOS VERTEDEROS	8
TABLA 4-1 TRAMOS DE TUBERÍAS DEL MONTAJE	11
TABLA 4-2 LÍMITES DEL FLUJO HIDRÁULICAMENTE LISO PARA LAS PRUEBAS DE TODOS LOS TRAMOS	24

1 Introducción

Para el diseño de redes de distribución de agua potable es indispensable contar con herramientas que permitan calcular las pérdidas de energía esperadas a lo largo de la red. Normalmente las pérdidas más importantes son las debidas al rozamiento y se generan gracias a la resistencia continua que ejercen las paredes de las tuberías al flujo. Cuando la tubería es de gran longitud, las pérdidas por fricción llegan a ser tan grandes que a veces pueden despreciarse las demás pérdidas por ser muy pequeñas comparadas con ella.

Las pérdidas por fricción en las tuberías se expresan como una función del número de Reynolds, que depende de la velocidad del flujo, y de la rugosidad absoluta del material k_s . Parece razonable deducir que la reducción de la capacidad de conducir se deba enteramente al aumento de la rugosidad.

Mediante esta investigación se pretende determinar la rugosidad absoluta de las tuberías de PVC unión platino de 2" y 2 1/2", para así contar con las herramientas necesarias para realizar un diseño confiable de una red construida con el material seleccionado.

1.1 Antecedentes

Como parte de las investigaciones que se realizan en el Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados – CIACUA – de la Universidad de los Andes a través de la Cátedra PAVCO, se encuentran la determinación de pérdidas menores y la rugosidad absoluta de las tuberías tanto plásticas como de otros materiales.

En este tema se han desarrollado diferentes proyectos de grado a lo largo de los últimos 10 años que han tratado de determinar tanto la rugosidad absoluta (k_s) como el coeficiente de pérdidas menores (k_m) de tuberías plásticas de PVC y Polietileno.

El resultado principal de estas investigaciones en cuanto a la determinación de la rugosidad absoluta fue que las tuberías plásticas operan bajo condiciones de flujo turbulento hidráulicamente liso y por lo tanto su rugosidad no afecta a las pérdidas de energía. Estas investigaciones se limitaron a determinar un valor límite, por debajo del cual se encuentra el valor de la rugosidad, sin tener herramientas para cuantificarla.

1.2 Objetivos

- Diseñar un montaje de laboratorio en las instalaciones de la Universidad de los Andes, con el objetivo de obtener la información requerida sobre el material y analizar el flujo de agua a presión.
- Determinar la rugosidad absoluta (k_s) del material de las tuberías de PVC Unión Platino de 2" y 2 1/2" de diámetro nominal, mediante el montaje diseñado.

- Analizar los valores encontrados tanto de rugosidad absoluta para el material estudiado, y compararlos con valores teóricos o valores encontrados en la literatura.

1.3 Contenido del Informe

El presente informe contiene los resultados del proyecto *Determinación Experimental de la Rugosidad Absoluta k_s en Tuberías de Agua Potable Unión Platino de 2" y 2 ½"*, realizado por la Universidad de los Andes y PAVCO S.A. En este numeral se describe el contenido particular de cada uno de los capítulos que conforman el informe final de la investigación.

Cada capítulo se dedica a explicar en forma detallada tanto la metodología como el manejo informático y tecnológico que cada uno de los pasos involucra.

- En el Capítulo 1 se realiza una descripción general del contenido del informe, los antecedentes, y los objetivos de la investigación, así como el personal involucrado durante la misma.
- En el Capítulo 2 se realiza una descripción completa del modelo físico construido en las instalaciones del laboratorio de hidráulica de la Universidad de los Andes. Se describe su funcionamiento y se presentan las fotografías que detallan todos aspectos importantes del mismo.
- En el Capítulo 3 se hace la descripción de las pruebas, donde se explica detalladamente el procedimiento seguido para la medición de caudales y presiones. Además, se muestran las ecuaciones de calibración de los vertederos triangulares de cresta delgada y la metodología general seguida para la obtención de datos en cada una de las pruebas realizadas.
- En el Capítulo 4 se muestra la metodología de cálculo seguida para la determinación de la rugosidad absoluta de los tramos de tubería Unión Platino de 2" y 2 ½" probados en el laboratorio, donde se exponen las ecuaciones físicamente basadas utilizadas para los cálculos, los resultados experimentales y su correspondiente análisis.
- En el Capítulo 5 se exhiben las conclusiones encontradas durante el desarrollo del proyecto.
- En el Capítulo 6 se presentan las recomendaciones propuestas para futuras investigaciones relacionadas con este tema.

1.4 Equipo de Trabajo

El equipo de trabajo del proyecto *Determinación Experimental de la Rugosidad Absoluta k_s en Tuberías de Agua Potable Unión Platino de 2" y 2 ½"* estuvo conformado por personal de PAVCO S.A. y un equipo de trabajo de la Universidad de los Andes. Las personas vinculadas al proyecto se mencionan a continuación.

1.4.1 PAVCO S.A.

Gerente General Tubosistemas Amanco Colombia

Carlos M. González Vega

Director Comercial y de Mercadeo

Ernesto Guerrero Molina.

Gerente Técnico Infraestructura

Enrique Gonzáles.

Gerente de Producto

Inés Elvira Wills.

Asistente de Mercadeo

Zoraida Castro.

1.4.2 Universidad de los Andes

El equipo de trabajo conformado por parte de la Universidad de los Andes estuvo conformado por Ingenieros Civiles, Asistentes Graduados (Ingenieros Estudiantes de Maestría en Ingeniería Civil) y monitores de investigación (estudiantes de pregrado en Ingeniería Civil y en Ingeniería Ambiental).

Director del Proyecto

Ing. Juan G. Saldarriaga.

Investigadores

Ing. Fabio E. Amador Berrío.

Asistentes Graduados

Ing. Julián D. Arbeláez Salazar.

Ing. Ángela M. Donoso Rojas.

Monitores de Investigación

Juan Camilo Rueda

Asistente de Laboratorio

Edwin Javier Cano

2 Descripción del Modelo

Las pruebas para la determinación de la rugosidad absoluta de las dos tuberías de unión platino se realizaron en un montaje construido en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de los Andes, como parte de la Cátedra PAVCO.

El montaje fue construido en tuberías Unión Platino de 2" y 2 ½" de 6 metros de longitud, siguiendo con la configuración que se muestra en la Figura 2-1 y en la Figura 2-2. Las tuberías se encuentran alimentadas por un tanque de cabeza constante de 2.5 m de altura y 2.4 m³ de capacidad, el caudal es regulado mediante válvulas de compuerta instaladas a la salida del tanque.

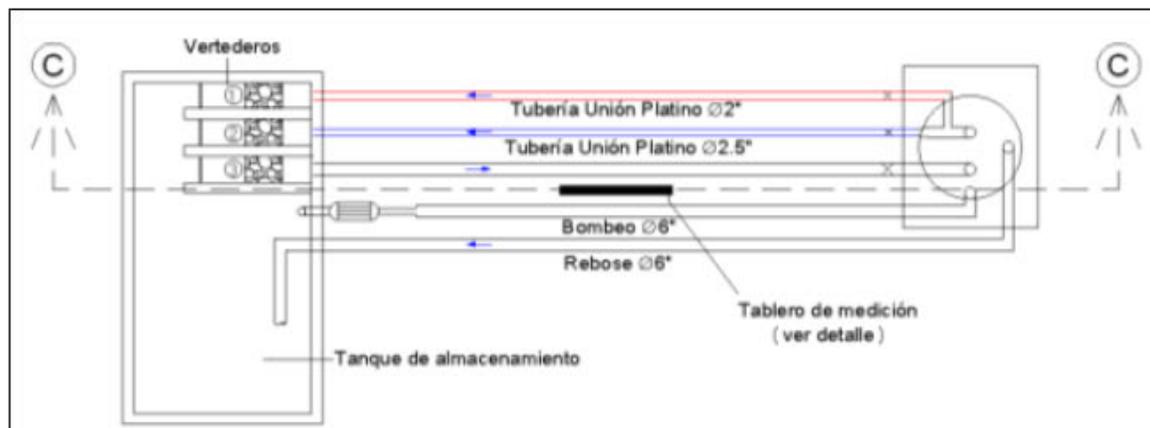


Figura 2-1. Esquema del Montaje Vista en Planta

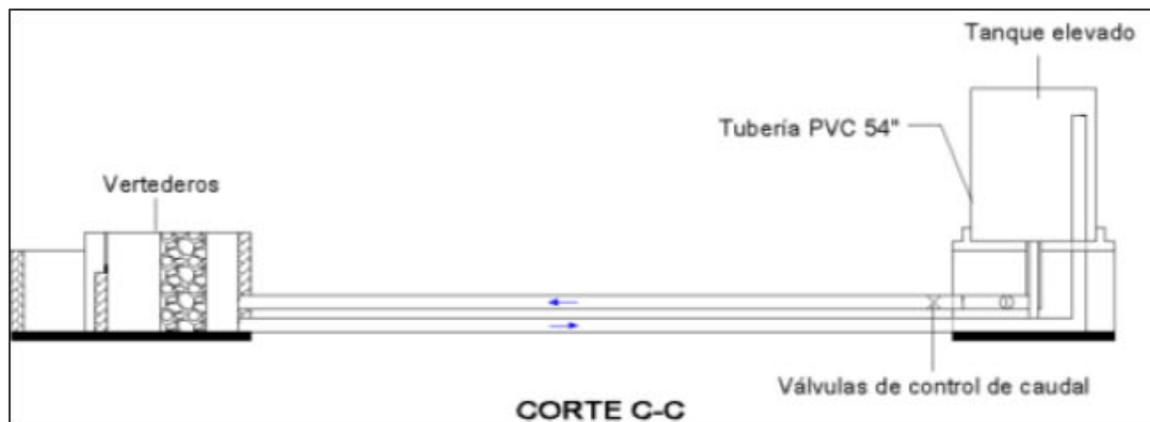


Figura 2-2. Esquema del Montaje Vista Lateral

El agua es bombeada al tanque elevado de cabeza constante desde un tanque de almacenamiento con capacidad de 3.75 m^3 mediante una bomba de 25 HP de potencia. Luego de pasar a través de las tuberías ensayadas, el agua retorna al tanque de almacenamiento por medio de canales individuales, en cada uno de estos canales se encuentra una estructura para la disipación de la turbulencia generada por el flujo al ingreso y vertederos triangulares de pared delgada de 60° para la medición de los caudales en cada prueba. En la Figura 2-3 se observa una vista general del montaje y en la Figura 2-4 se presentan las válvulas de cortina utilizadas para la regulación de los caudales de ingreso al sistema.



Figura 2-3. Vista general del montaje.



Figura 2-4. Válvulas para la regulación de caudales.

Para medir altura de presión en cada punto, se usaron líneas de piezómetros fabricados a partir de manguera transparente de 4.7 mm de diámetro; colocados al principio y al final de cada tubería. Cada tramo de tubería contaba con dos piezómetros de entrada y dos de salida; esto se hizo con el fin de incrementar la precisión de los resultados (ver Figura 2-5a). Las lecturas se registraron en el tablero ubicado al lado del montaje como se puede ver en la Figura 2-5b.



Figura 2-5. Piezómetros (a) Instalación. (b) Tablero de Piezómetros

El procedimiento rutinario para establecer el caudal, fue medir la altura de la lámina de agua sobre los vertederos triangulares de cresta delgada con la ayuda de agujas limnimétricas de precisión de $\pm 0.1\text{mm}$. Estos vertederos fueron calibrados previamente mediante aforos volumétricos.

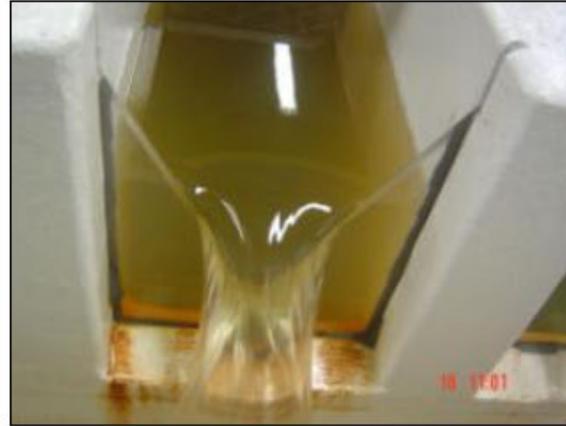


Figura 2-6. Vertederos para la medición de caudal.

3 Descripción de las Pruebas

3.1 Resultados Experimentales

Para evaluar la rugosidad absoluta de las tuberías de Unión Platino se realizaron pruebas durante un (1) mes, es decir, en el período comprendido entre el 14 de Abril y el 13 de Mayo de 2008. Se realizaron 10 pruebas, en las cuales se analizaron aproximadamente 20 caudales diferentes por prueba, que cubrieron el rango posible de caudales de manera uniforme. Los caudales que fue posible analizar, oscilaron entre 2 y 11 L/s, que corresponde a números de Reynolds entre $Re = 20000$ y $Re = 200000$.

3.2 CALIBRACIÓN DE LOS VERTEDEROS

Cada uno de los vertederos se calibró previamente mediante aforos volumétricos, llegando a ecuaciones que relacionan el caudal que pasa por el vertedero con la altura de la lámina de agua. Esta última se mide mediante el uso de una aguja limnimétrica.

Con la aguja se lee el nivel del agua cuando el sistema no está operando, es decir, la lectura cuando el nivel del agua se encuentra en el vértice del vertedero, altura que se denomina H_0 . Luego, con el sistema en funcionamiento se lee el nivel del agua H . La diferencia entre H y H_0 corresponde a la altura de la lámina de agua. En la Tabla 3-1 se muestran las curvas de calibración resultantes:

Tabla 3-1. Ecuaciones de Calibración de los vertederos

Vertedero	Ecuación de calibración
1	$Q=0.0115 \cdot H^{2.4109}$
2	$Q=0.0110 \cdot H^{2.398}$

En la Figura 3-1 y en la Figura 3-2; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran las curvas de calibración de los vertederos 1 y 2. El vertedero 1 corresponde a la tubería de unión platino de 2", mientras que el vertedero 2 corresponde a la tubería de unión platino de 2 ½". Cada uno de los vertederos puede medir más de 11 L/s que es el caudal máximo que puede circular por las tuberías debido a las condiciones de cabeza del tanque y diámetro de las tuberías.

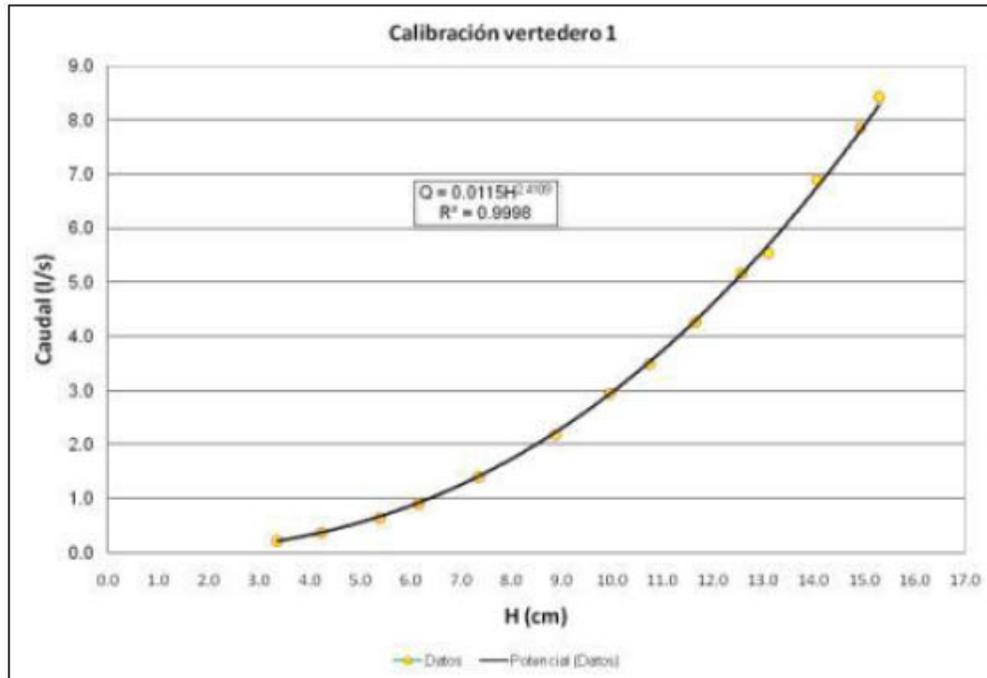


Figura 3-1. Curva de Calibración. Vertedero 1.

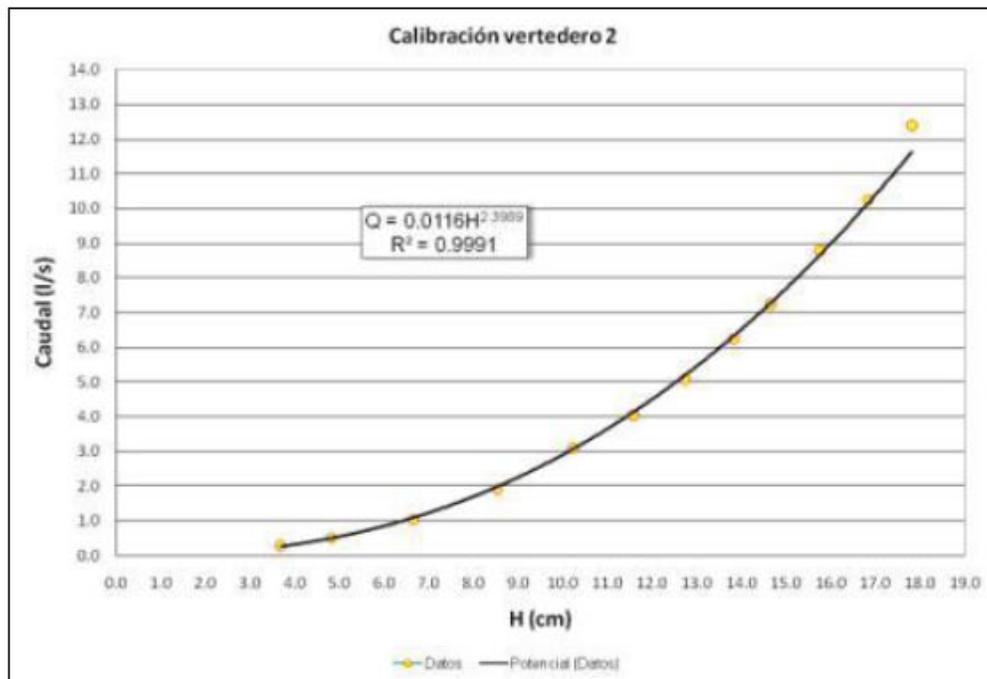


Figura 3-2. Curva de calibración. Vertedero 2.

3.3 Metodología General

Cada una de las pruebas de laboratorio se realizó siguiendo la siguiente metodología experimental:



Figura 3-1. Metodología experimental para el desarrollo de las pruebas.

4 Determinación de la Rugosidad Absoluta

4.1 Metodología de Cálculo

Las pérdidas de energía por fricción son calculadas a partir de la ecuación de Bernoulli:

$$p_1^* + \frac{v_1^2}{2g} = p_2^* + \frac{v_2^2}{2g} + h_f \quad \text{Ecuación 4.1}$$

En el caso particular de un tramo de tubería, los términos de la cabeza de velocidad de la Ecuación 4.1 son iguales y por lo tanto pueden ser cancelados, dando lugar a la Ecuación 4.2, en donde las pérdidas de energía son calculadas simplemente a partir de la lectura de los piezómetros al inicio y al final de cada tramo de tubería.

$$h_f = p_i^* - p_{i+1}^* \quad \text{Ecuación 4.2}$$

En la Tabla 4-1 se presenta un resumen de los tramos de tuberías analizados para determinar la rugosidad absoluta, y los piezómetros inicial y final que lo describen. La ubicación de cada uno de los tramos y sus piezómetros asociados.

Tabla 4-1 Tramos de tuberías del montaje

Tramo	Material	Longitud (m)	Piezómetro Inicial	Piezómetro Final
1	Unión Platino 2"	5.757	1-2	3-4
2	Unión Platino 2 1/2"	5.59	5-6	7-8

Una vez conocidas las pérdidas de energía en cada tramo, calculadas a partir de la Ecuación 4.2, se puede calcular la rugosidad absoluta de las tuberías mediante el uso de la ecuación de Darcy – Weisbach en conjunto con la ecuación de Colebrook – White. La ecuación de Darcy – Weisbach permite calcular el factor de fricción f a partir de datos geométricos de la tubería (longitud y diámetro), y de las condiciones del flujo representadas por la velocidad del agua y las pérdidas de energía en el tramo analizado. La forma de calcular el factor de fricción f se muestra en la Ecuación 4.3.

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

$$\Delta H = p_i^* - p_{i+1}^* = f \frac{l v^2}{d 2g}$$

Ecuación 4.3

$$f = \frac{p_i^* - p_{i+1}^*}{\frac{l v^2}{d 2g}}$$

Teniendo el factor de fricción y calculando el número de Reynolds, se puede realizar una gráfica que relacione el f con el Re para todas las pruebas realizadas. Al superponer esta gráfica en un diagrama de Moody, es posible asignar un valor del coeficiente de rugosidad absoluta k_s para cada diámetro de tubería utilizado. Mediante la ecuación de Colebrook – White se puede determinar dicho valor de la rugosidad absoluta para cada una de las pruebas realizadas.

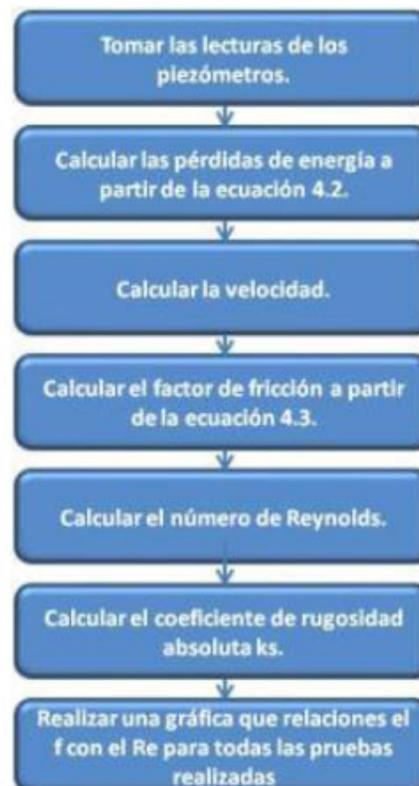


Figura 4-1. Metodología de cálculo para la determinación de la rugosidad absoluta.

4.2 Resultados Experimentales

Para la determinación del coeficiente de rugosidad absoluta se grafica el factor de fricción de cada una de las pruebas con respecto al número de Reynolds para las dos tuberías de unión platino. En un diagrama de Moody, cada una de las líneas que relacionan el factor de fricción f con el número de Reynolds corresponde a un k_s/d determinado. De esta forma, si los datos experimentales se ubican cerca a una de las líneas mencionadas, la rugosidad absoluta del material será el k_s correspondiente. A medida que el k_s se va haciendo más pequeño, las líneas del diagrama de Moody se van acercando hasta llegar a un punto en el cual, independientemente del valor de rugosidad tomado, la línea pasará exactamente sobre el mismo sitio. Moody determinó que este valor asintótico del diagrama corresponde a las tuberías lisas. A continuación se presentan las gráficas experimentales junto con el diagrama de Moody para los tramos escogidos de cada uno de los dos materiales:

4.2.1 Tubería Unión Platino 2"

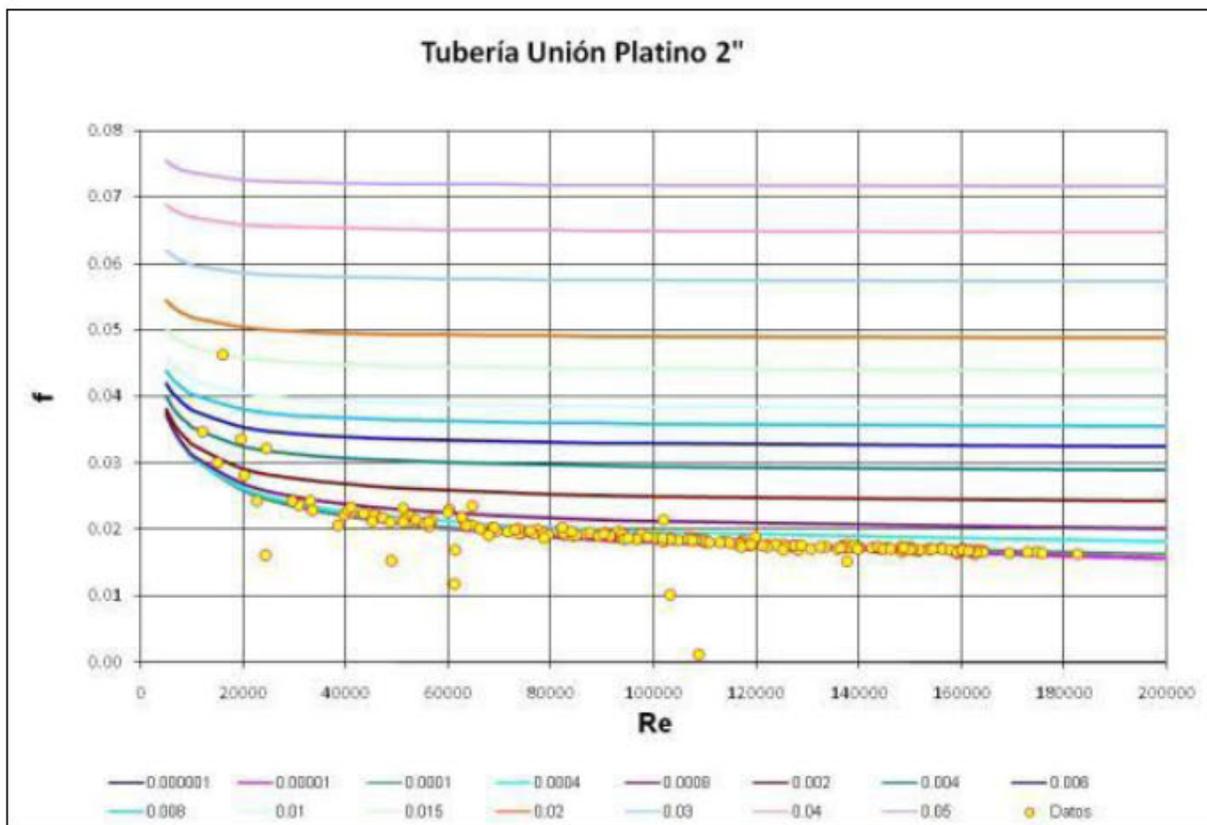


Figura 4-2. Resultados experimentales tubería Unión Platino 2"

En la Figura 4-2 se muestra la gráfica correspondiente a la tubería de Unión Platino de 2". Se observa que la mayoría de los datos experimentales se encuentran por encima de la línea

asintótica del diagrama de Moody, con valores de k_s/d comprendidos entre $3.75 \times 10^{-4} m$ y $1 \times 10^{-6} m$. Se observa que la tendencia decreciente de f con respecto al número de Reynolds es consistente con las líneas del diagrama.

Los datos que se encuentran por encima de los demás, los cuales indican una mayor rugosidad absoluta, pueden deberse a un aumento de la rugosidad del material causado por sedimentos o algún otro agente externo. En la Figura 4-3 se presenta un detalle de los resultados obtenidos para la tubería de 2" de diámetro.

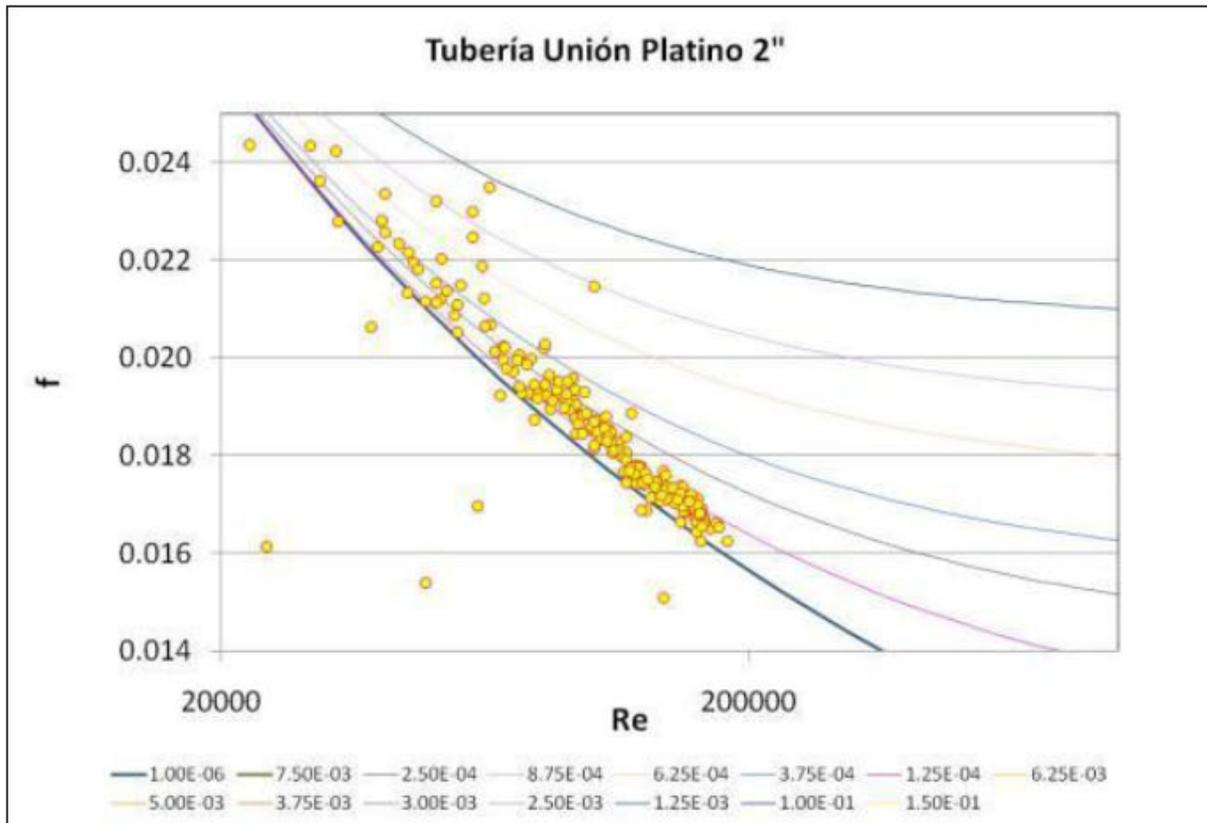


Figura 4-3. Detalle resultados experimentales tubería Unión Platino 2".

4.2.2 Tubería Unión Platino 2 1/2"

En la Figura 4-4 y en la Figura 4-5 se muestran los resultados correspondientes a la tubería de Unión Platino de 2 1/2".

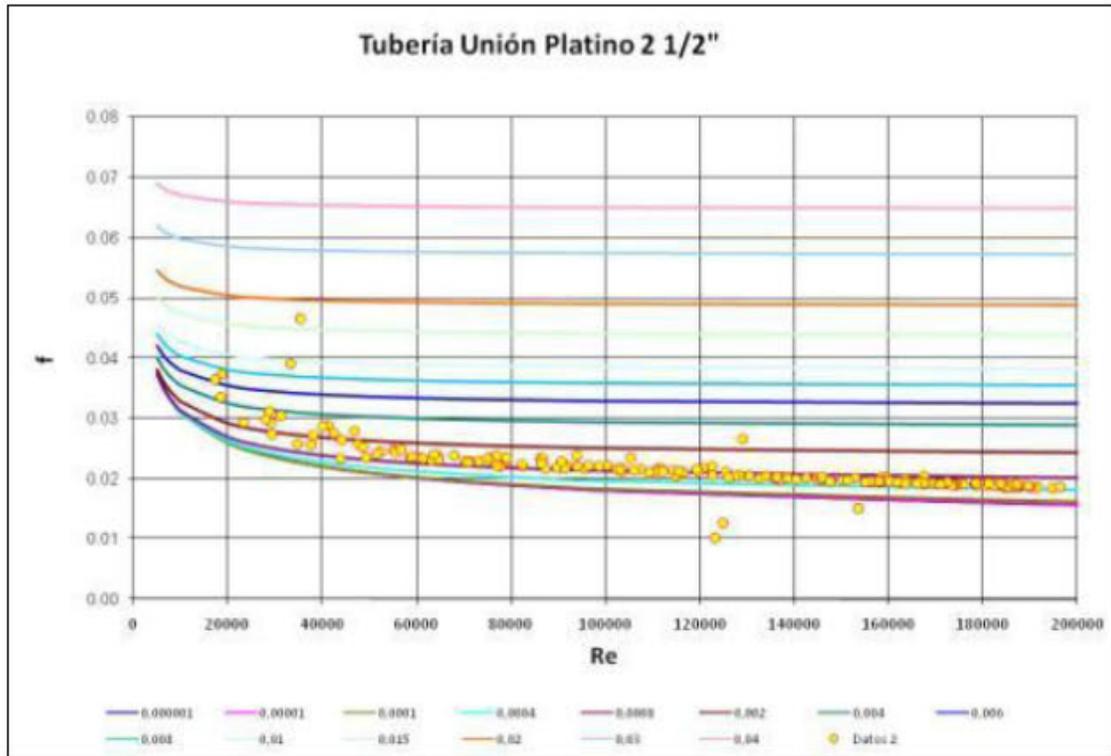


Figura 4-4. Resultados experimentales tubería Unión Platino 2 ½”.

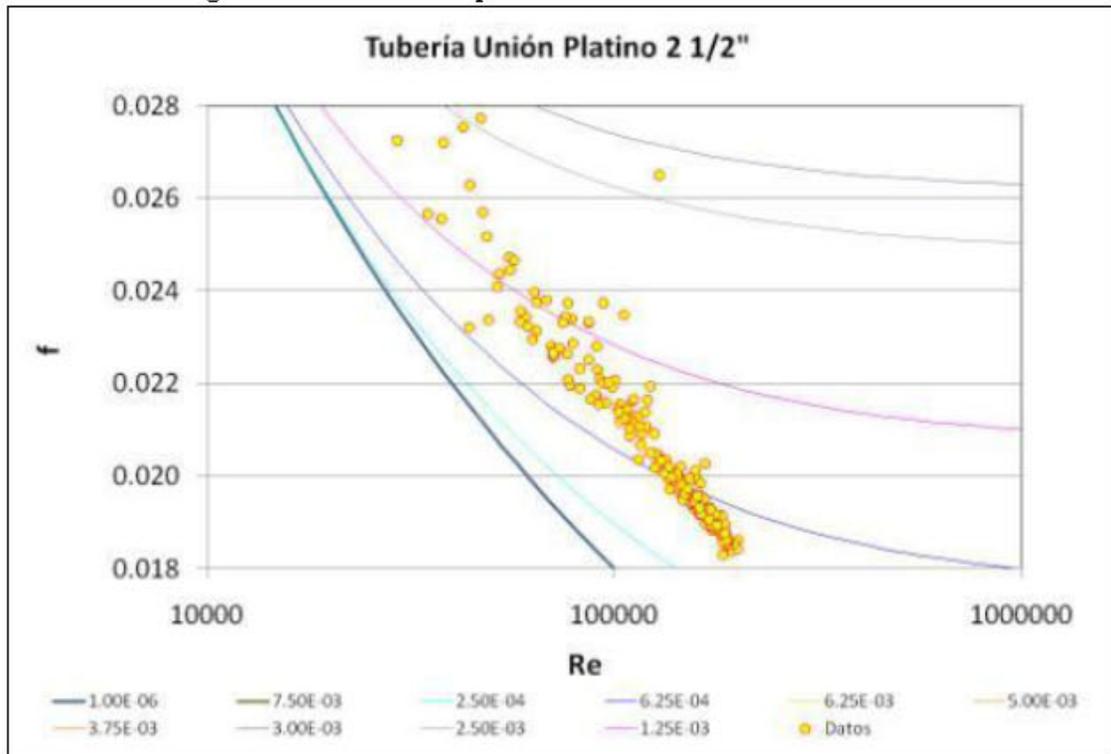


Figura 4-5. Detalle resultados experimentales tubería Unión Platino 2 ½”.

Se observa que la mayoría de los datos experimentales se encuentran por encima de la línea asintótica del diagrama de Moody, con valores de k_s/d comprendidos entre 2.5×10^{-3} m y 3.75×10^{-4} m. Se observa que la tendencia decreciente de f con respecto al número de Reynolds es consistente con las líneas del diagrama. Los valores de k_s/d obtenidos en la tubería de Unión Platino de 2 ½" son ligeramente mayores que los obtenidos en la tubería de Unión Platino de 2".

Como se estableció anteriormente, la determinación del coeficiente de rugosidad absoluta del material de las tuberías estudiadas se realiza de forma gráfica superponiendo los datos experimentales a un diagrama de Moody, y si estos se ubican cerca de alguna de las líneas que relacionan el factor de fricción f con el número de Reynolds correspondientes a un k_s/d determinado, considerando el diámetro de la tubería, se determina la rugosidad absoluta del material.

Con el objetivo de obtener resultados más finos en la determinación del coeficiente de rugosidad absoluta de las tuberías, los datos experimentales se someten a un proceso de depuración en el cual se eliminan datos extremos que se encuentran por fuera de la tendencia y que obedecen a errores de tipo experimental. Posteriormente, considerando el rango de variación presentado por los datos, se procede a la determinación del coeficiente de rugosidad absoluta que mejor describe los resultados obtenidos mediante el empleo de medidas de desempeño como lo son el error cuadrático medio (ECM) y el coeficiente de determinación (R^2). Estos indicadores de bondad de ajuste se calculan mediante la comparación del valor del factor de fricción obtenido experimentalmente y el calculado usando la ecuación de Colebrook-White fijando el número de Reynolds ocurrido en cada prueba y variando el coeficiente de rugosidad absoluta dentro del rango en que es esperado encontrarlo.

4.2.3 *Resultados coeficiente de rugosidad absoluta tubería 2".*

En la Figura 4-6 se muestran los resultados experimentales para la tubería de 2" luego de ser sometidos a la depuración de valores extremos u errados.

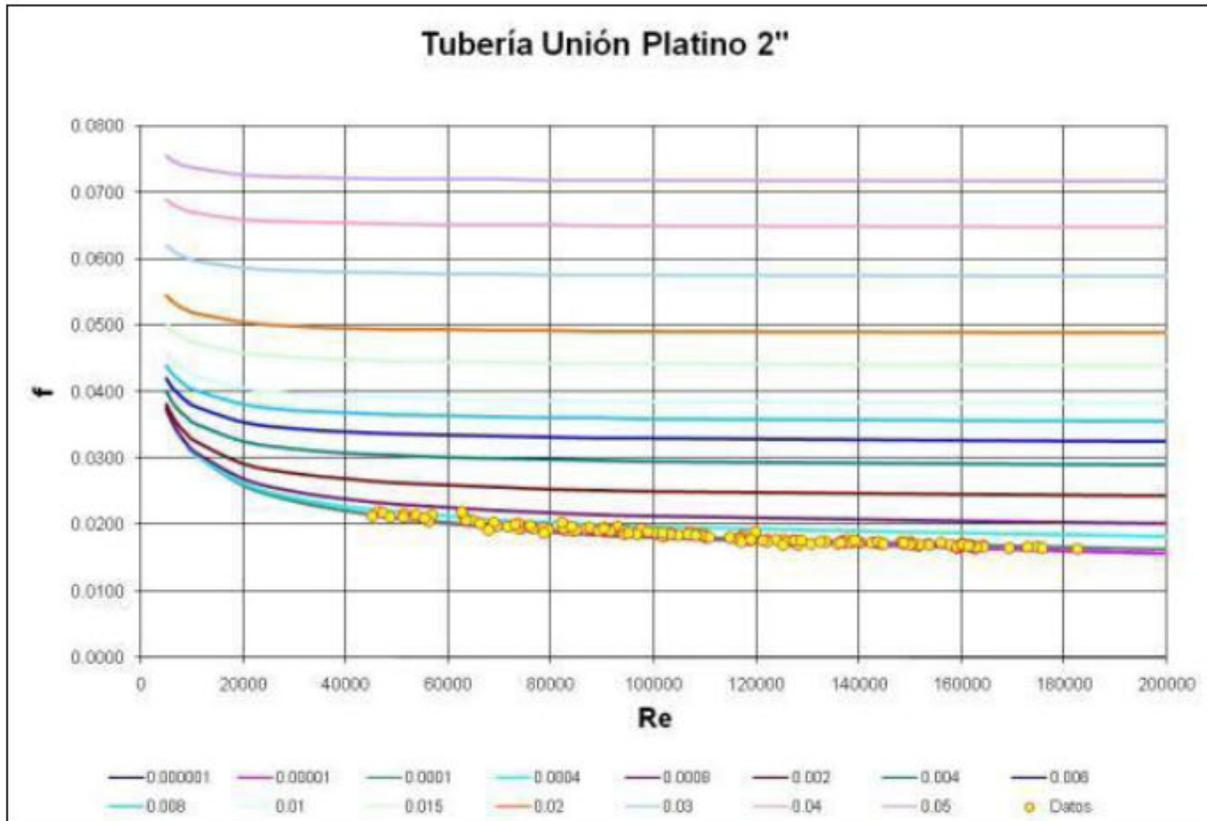


Figura 4-6. Resultados experimentales depurados tubería 2".

En la Figura 4-7 y en la Figura 4-8 se presentan los resultados del coeficiente de determinación y el error cuadrático medio para la tubería unión platino de 2". La mejor correlación se presenta para un k_s de 5×10^{-6} obteniéndose un R^2 de 0.94 y un error cuadrático medio de 1.0×10^{-7} lo cual indica que este valor representa adecuadamente los resultados obtenidos experimentalmente.

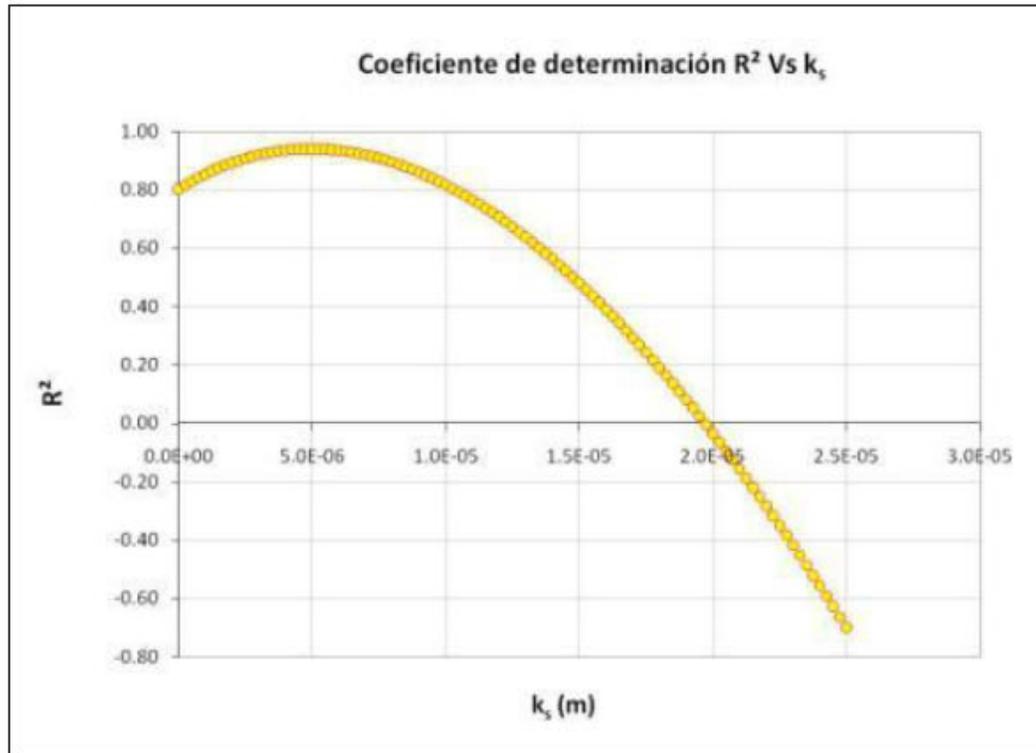


Figura 4-7. Coeficiente de determinación Vs k_s . Tubería Unión Platino 2".

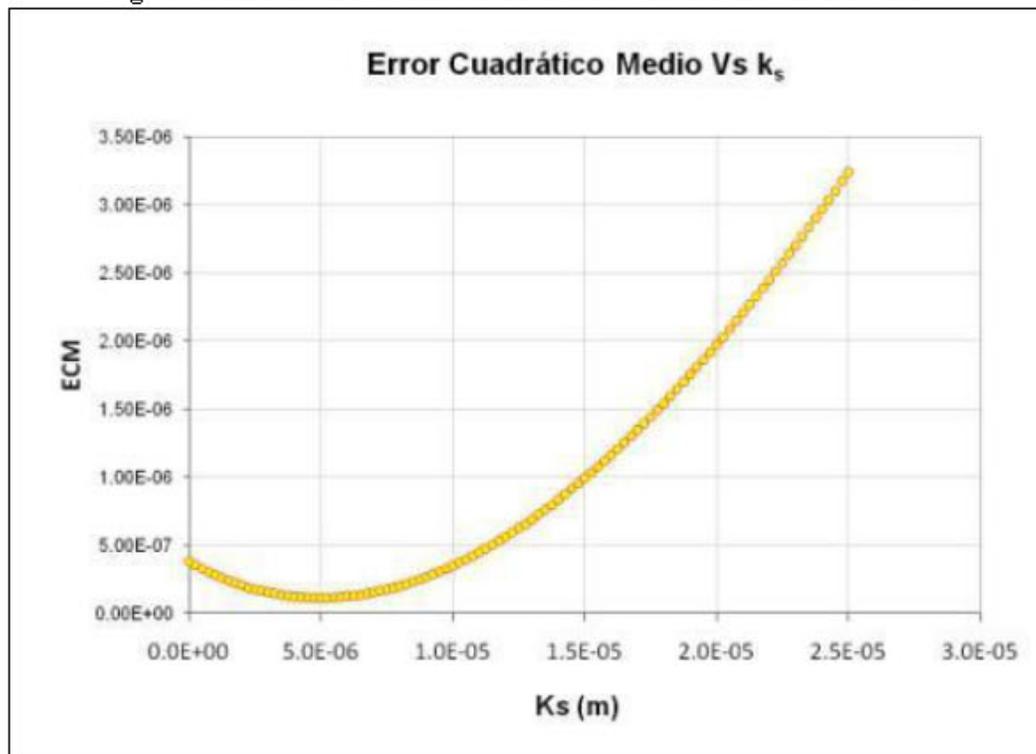


Figura 4-8. Error Cuadrático Medio Vs k_s . Tubería Unión Platino 2".

4.2.4 Resultados coeficiente de rugosidad absoluta tubería 2 1/2".

En la Figura 4-9 se muestran los resultados experimentales para la tubería de 2 1/2" luego de ser sometidos al proceso de depuración de valores extremos.

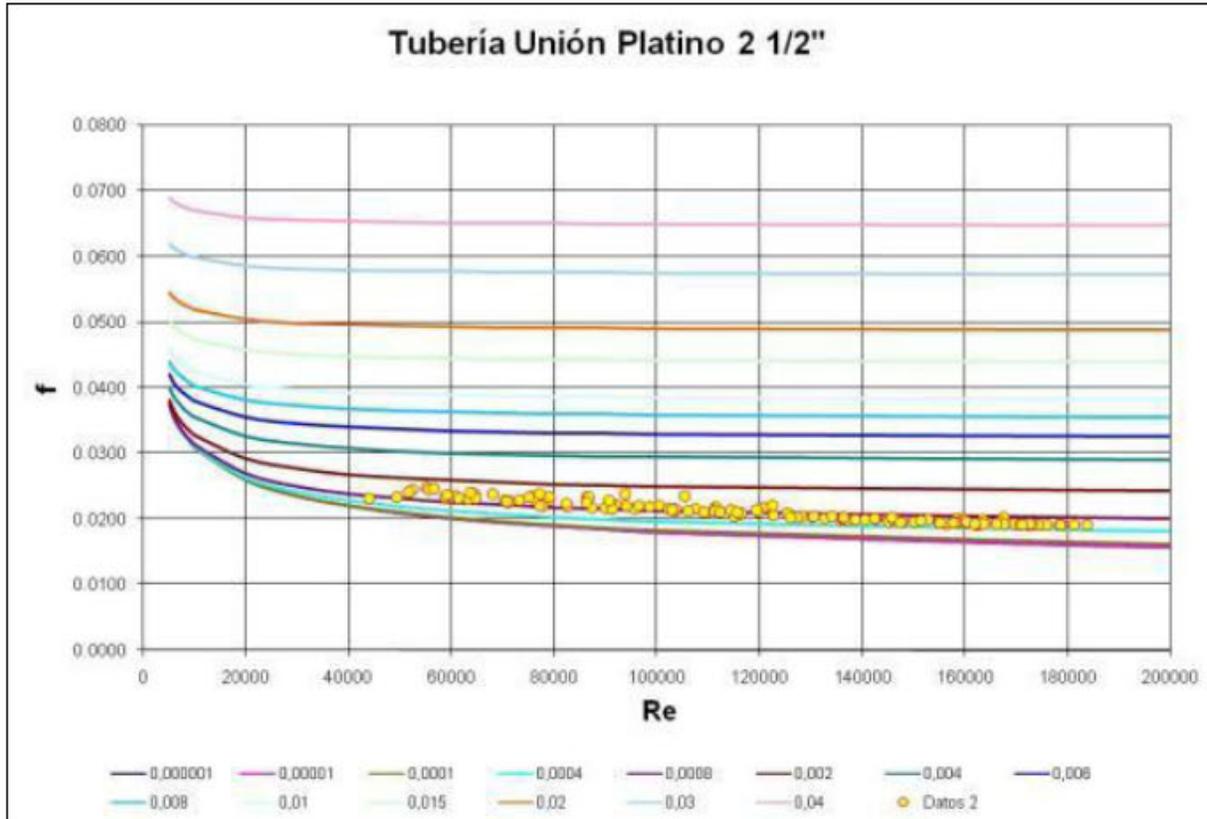


Figura 4-9. Resultados experimentales depurados tubería 2 1/2".

En la Figura 4-10 y en la Figura 4-11 se presentan los resultados del coeficiente de determinación y el error cuadrático medio para la tubería unión platino de 2 1/2". La mejor correlación se presenta para un k_s de 4.6×10^{-5} obteniéndose un R^2 de 0.72 y un error cuadrático medio de 2.9×10^{-6} lo cual indica que este valor representa aceptablemente los resultados obtenidos experimentalmente. La obtención de una correlación más baja que en la tubería de 2" de diámetro se debe a que como se observa en la Figura 4-5, aunque la mayoría de datos se encuentran próximos a la línea correspondiente al k_s/d de 6.25×10^{-4} , estos no siguen completamente su tendencia y presentan una dispersión considerable, sobre todo para números de Reynolds menores a 100000.

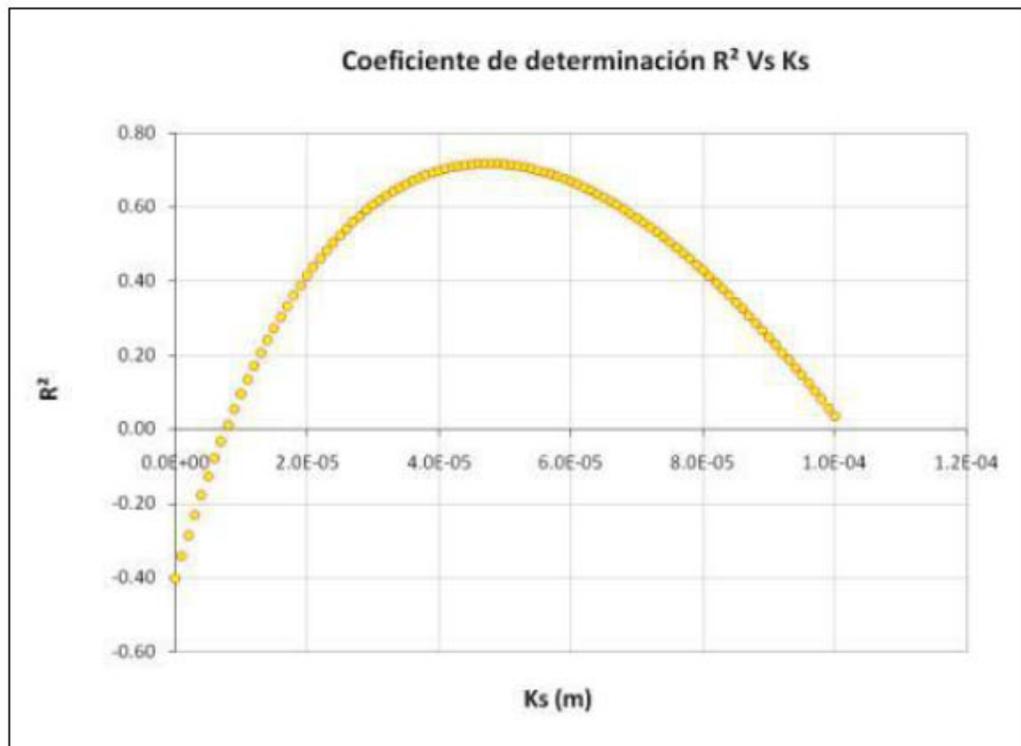


Figura 4-10. Coeficiente de determinación Vs k_s . Tubería Unión Platino 2 1/2".

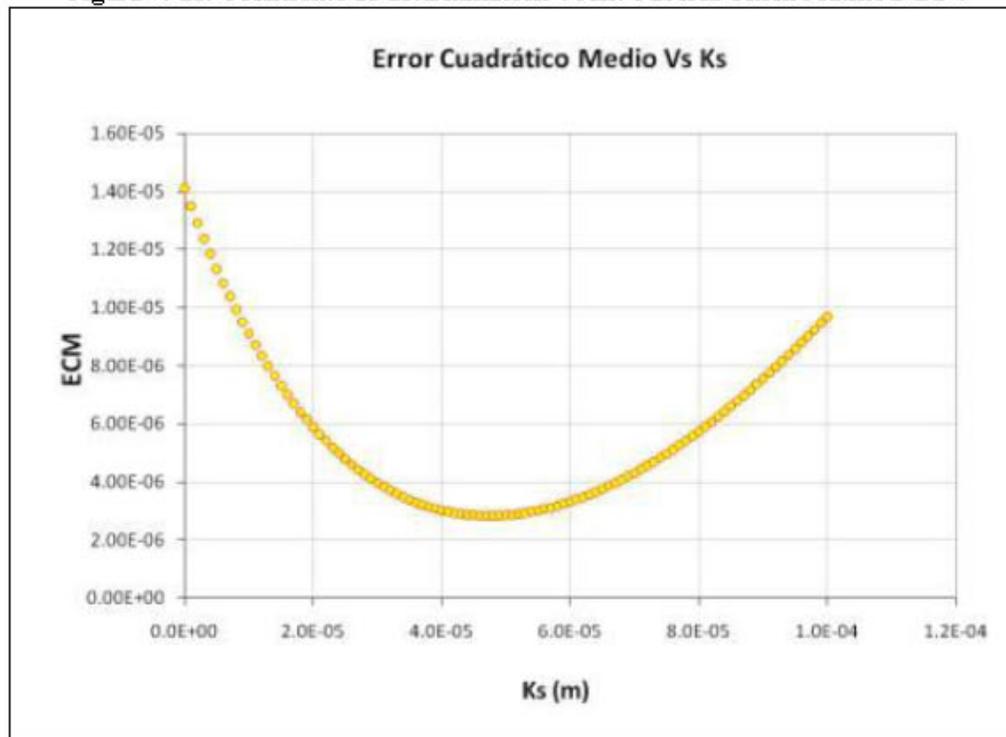


Figura 4-11. Error Cuadrático Medio Vs k_s . Tubería Unión Platino 2 1/2".

4.3 Análisis de Resultados

Una vez obtenido los datos experimentales para las tuberías de unión platino de 2 y 2 ½”, es posible determinar un valor del coeficiente de rugosidad absoluta k_s que describa su influencia en las pérdidas generadas por fricción. Sin embargo, es necesario establecer cuál es el régimen de flujo al que está sometida la tubería, y algunas otras consideraciones que se explican a continuación.

4.3.1 Significado del diagrama de Moody

La ecuación de Colebrook – White (Ecuación 4.4) permite determinar el factor de fricción f en términos de la rugosidad relativa de la tubería k/d y el número de Reynolds, y es válida para todo tipo de flujo turbulento en tuberías. Sin embargo, tiene el problema de que no es una ecuación explícita para el factor de fricción f , lo cual implica la necesidad de utilizar algún método numérico para su solución.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7d} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Este problema matemático ocasionó la aparición de ecuaciones empíricas más sencillas de utilizar, o diagramas que facilitaran su uso, como el diagrama de Moody. En la Figura 4-12 se muestra un esquema este diagrama.

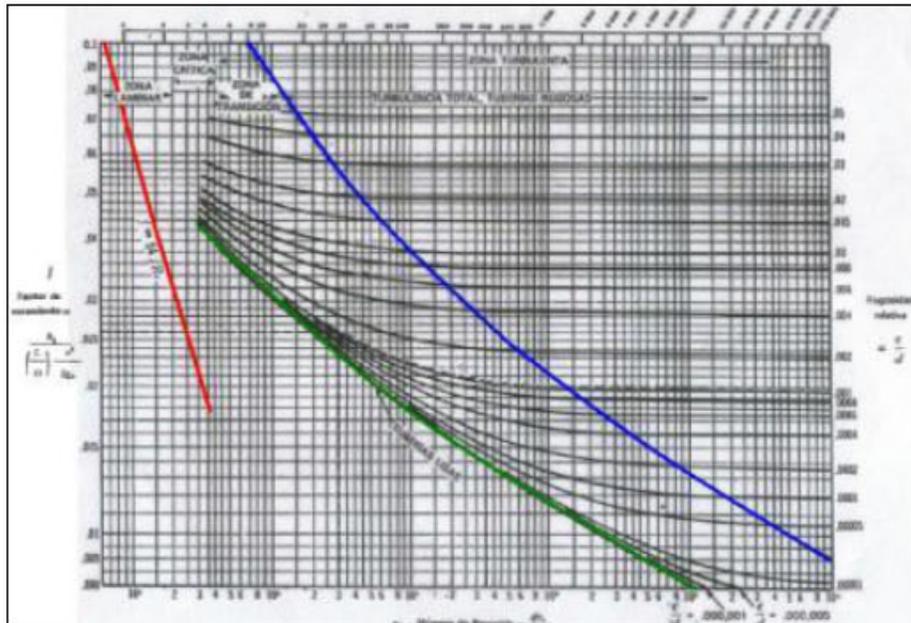


Figura 4-12. Diagrama de Moody

En el diagrama se pueden diferenciar cuatro zonas: Una primera zona que describe el flujo laminar para números de Reynolds menores a $Re = 2000$. Esta zona se encuentra delimitada por la línea diagonal de color rojo que se encuentra en la parte izquierda de la figura. El sistema analizado maneja números de Reynolds entre 20.000 y 120.000 por lo que esta primera zona no se tiene en consideración.

Las otras tres zonas describen el flujo turbulento en las tuberías: Flujo turbulento hidráulicamente liso, flujo turbulento hidráulicamente rugoso, y flujo transicional.

- La zona del diagrama que se encuentra a la derecha de la línea de color azul, corresponde a flujos altamente turbulentos en donde el factor de fricción f depende únicamente de la rugosidad relativa. Dentro de esta zona se encuentran las tuberías de materiales rugosos y con números de Reynolds muy altos.
- La zona comprendida entre la línea verde y la línea azul, corresponde a flujo transicional, en donde el factor de fricción f depende tanto de la rugosidad relativa como del número de Reynolds. Idealmente, las pruebas de laboratorio deberían encontrarse en esta zona, con el fin de determinar un valor de rugosidad para un rango determinado de caudales, o números de Reynolds.
- La línea verde corresponde a la zona de flujo hidráulicamente liso, en donde las pérdidas de energía por fricción dependen exclusivamente del número de Reynolds, ya que la tubería es tan lisa, que su rugosidad no afecta el régimen de flujo.

Al comparar los datos experimentales con el diagrama de Moody, se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Los datos experimentales obtenidos de las pruebas realizadas en la tubería de unión platino de 2" se encuentran en su mayoría por debajo de la línea verde del diagrama de Moody de la Figura 4-12, correspondiente a la zona de flujo hidráulicamente liso, en donde las pérdidas de energía por fricción dependen exclusivamente del número de Reynolds.
- Los datos experimentales obtenidos de las pruebas realizadas en la tubería de unión platino de 2 1/2" se encuentran en su mayoría entre la línea verde y la línea azul, correspondiente a flujo transicional, donde el factor de fricción f depende tanto de la rugosidad relativa como del número de Reynolds.

4.3.2 *Flujo hidráulicamente liso*

Cuando el flujo interactúa con la pared de la tubería, se genera una zona en donde el flujo es laminar y priman las fuerzas viscosas del fluido sobre las fuerzas inerciales. Esta zona se conoce con el nombre de subcapa laminar viscosa o δ^v . La relación existente entre δ^v y el tamaño medio de la rugosidad de las paredes de la tubería establece la diferencia entre los

flujos hidráulicamente lisos y los hidráulicamente rugosos como se muestra en la figura 4-13. Cuando el espesor de la subcapa laminar viscosa es mayor que el tamaño medio de la rugosidad, el flujo se comporta como si la rugosidad de la tubería no existiera, es decir, como flujo hidráulicamente liso.

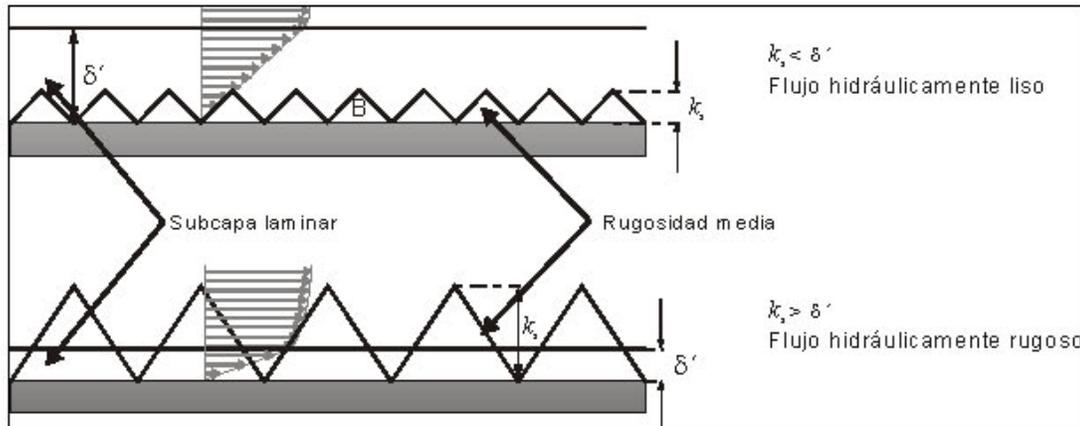


Figura 4-13. Relación entre la rugosidad relativa y la subcapa laminar viscosa¹

Entre las dos condiciones extremas mostradas en la Figura 4-13, existe una zona de transición donde el flujo deja de ser laminar para convertirse en turbulento. Bajo esta condición, tanto la rugosidad de la pared como la velocidad del flujo aportan a las pérdidas de energía que se generan, como se expresa en la ecuación de Colebrook – White: $f(k_s/d, Re)$.

Los límites que definen qué tipo de flujo se presenta en un caso particular, se encuentran definidos por los trabajos realizados por Colebrook – White. De acuerdo con sus experimentos, el flujo en transición ocurre cuando:

$$0.305 \delta' < k_s \leq 0.610 \delta' \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Esto es, cuando la rugosidad absoluta de la tubería se encuentra localizada entre el 30.5 % del espesor de la subcapa laminar viscosa y el 61% de la misma. Es de esperarse que cuando la rugosidad sea menor que el 30.5% de la subcapa laminar, el flujo sea hidráulicamente liso como se muestra en la parte superior de la Figura 4-13. Cuando la rugosidad es muy grande, como el caso de la parte inferior de la Figura 4-13, el flujo es hidráulicamente rugoso si supera el límite de 6.1 veces el espesor de la subcapa laminar viscosa, definida mediante la Ecuación 4.6.

¹ Tomado de Saldarriaga, Juan G. Hidráulica de Tuberías. Ver Referencia [1]

$$\delta' = \frac{11.6\nu}{v_*}$$

Ecuación 4.6

donde v_* es la velocidad de corte del flujo, calculada mediante la Ecuación 4.7

$$v_* = v \sqrt{\frac{f}{8}}$$

Ecuación 4.7

Con el fundamento teórico descrito anteriormente, se calcula si realmente los datos experimentales se encuentran clasificados como flujo hidráulicamente liso. En el ANEXO 1 se muestran los cálculos realizados para determinar el límite que separa este tipo de flujo del flujo en transición. Los resultados de estos cálculos para todos los tramos se muestran resumidos en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2 Límites del flujo hidráulicamente liso para las pruebas de todos los tramos

Tubería	0.305δmáx	0.305δprom	0.305δmín
Unión platino 2"	2.44E-04	4.96E-05	2.35E-05
Unión platino 2 1/2"	2.44E-04	5.26E-05	2.55E-05

De acuerdo con esta tabla, tanto para Unión Platino de 2" como para Unión Platino de 2 1/2" se requeriría una rugosidad mayor a una dimensión del orden de 10^{-5} para poder ingresar al flujo transicional.

4.3.3 Límites del coeficiente de rugosidad absoluta para los dos materiales

A medida que el número de Reynolds aumenta, el espesor de la subcapa laminar viscosa (δ') disminuye, como se observa en la Figura 4-14. De esta forma, es posible obtener un número de Reynolds tal que el límite que separa el flujo hidráulicamente liso del flujo en transición se encuentre por debajo de la verdadera rugosidad de las tuberías plásticas.

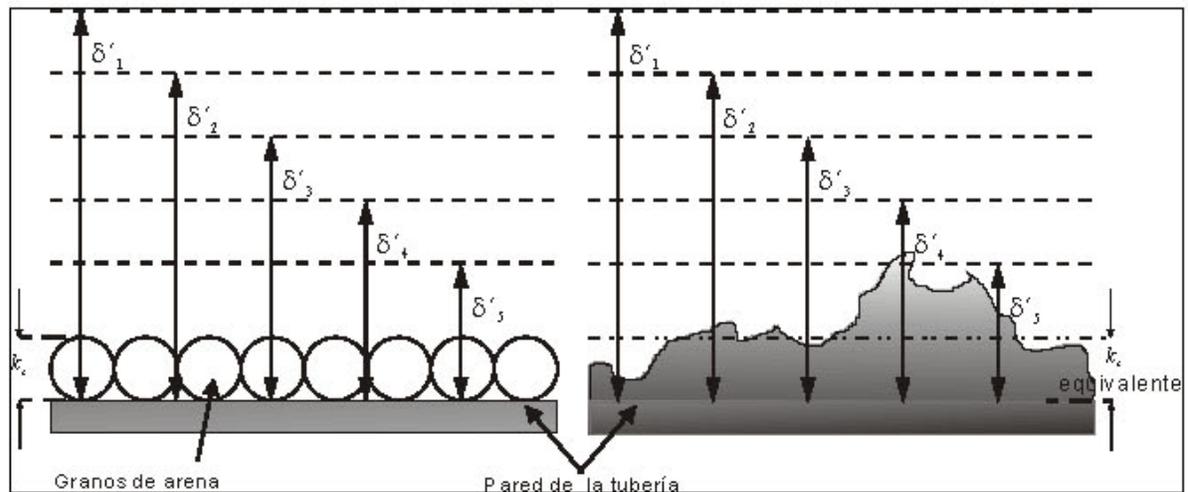


Figura 4-14. Comportamiento de la subcapa laminar con el aumento del número de Reynolds²

Sin embargo, de acuerdo con los resultados obtenidos, los límites descritos anteriormente corresponden a los números de Reynolds más altos que se pudieron generar, $Re = 200.000$.

En el ANEXO 2 se presentan los cálculos realizados para determinar el caudal necesario para que la rugosidad teórica de cada uno de los dos materiales, Unión Platino de 2" y 2 1/2", empiece a afectar las pérdidas por fricción que se generan, es decir, el caudal necesario para que la subcapa laminar viscosa disminuya hasta que las rugosidades teóricas de los materiales superen el límite de $0.305\delta'$.

² Tomado de Saldarriaga, Juan G. Hidráulica de Tuberías. Ver Referencia [1]

5 Conclusiones

5.1 Montaje

- El montaje de laboratorio se diseñó de acuerdo con los requerimientos para determinar el coeficiente de rugosidad absoluta K_s .
- Una de las restricciones del montaje fue la energía total disponible, dada por el tanque de alimentación. Debido a esto, sólo se pudo obtener un número de Reynolds máximo de 200.000.

5.2 Determinación de las Pérdidas por Fricción

- Los datos experimentales presentaron una tendencia similar a las líneas del diagrama de Moody. Para la tubería de Unión Platino de 2", se encontró que la mayoría de los datos experimentales encontrados están ubicados en la zona de flujo hidráulicamente liso, y para la tubería de Unión Platino de 2 ½", se encontró que los datos están ubicados en la zona de flujo en transición.
- En algunos casos los datos experimentales entraron al diagrama, pero a la zona de éste en donde casi cualquier valor de k/d se ajusta a éstos pues todas están convergiendo a un límite por debajo del cual se encuentran las tuberías muy lisas. Por esta razón, fue necesario determinar en qué zona del diagrama de Moody se encontraban para hallar el valor de la rugosidad absoluta de cada una de las tuberías.
- No se observó ningún cambio en la tendencia de los datos con respecto al tiempo, por lo que se puede asegurar que durante el período de pruebas no hubo un cambio significativo en la pared interna de la tubería ocasionada por crecimiento bacterial.

6 RECOMENDACIONES

- Para un mejor análisis tanto de las pérdidas menores como de las pérdidas por fricción, es necesario contar con un mayor rango de números de Reynolds, que se logra con una mayor altura en el tanque de almacenamiento. Por lo tanto, se recomienda extender esta investigación cuando se cuente con la infraestructura requerida para lograr una mayor cabeza de presión.
- La investigación realizada no permite sacar conclusiones acerca de tuberías de otros diámetros diferentes a los evaluados, por lo que se recomienda adicionalmente extender la investigación a tuberías de diferentes diámetros.

7 Referencias

- [1] Saldarriaga, Juan G. Hidráulica de Tuberías. Mc Graw Hill. 2007.
- [2] Street R, Watters G, Vennard J. Elementary Fluid Mechanics. John Wiley & Sons. Séptima Edición. 1996. Página 366
- [3] Jara J, Valenzuela A, Crisóstomo C. Hidráulica de Tuberías
<http://www.chileriego.cl/docs/015-08.doc>
- [4] Giles, Ronald. Mecánica de los fluidos e hidráulica. Mc Graw Hill.

ANEXO 1

Cálculo de la subcapa laminar viscosa y el límite de transición del flujo para cada una de las tubería analizadas

Tubería Unión Platino de 2"

Re	f	v (m/s)	v^*	d^*	$0.305d^*$	Ks/d	Tipo
169413	0.017	3.324	0.151	8.23E-05	2.51E-05	2.68E-06	FHL
153601	0.017	3.014	0.140	8.91E-05	2.72E-05	5.41E-06	FHL
149235	0.017	2.928	0.136	9.13E-05	2.79E-05	5.69E-06	FHL
137651	0.015	2.701	0.117	1.06E-04	3.23E-05	-1.29E-05	FHL
101968	0.021	2.001	0.104	1.20E-04	3.66E-05	4.40E-05	FT
46447	0.022	0.911	0.048	2.60E-04	7.94E-05	1.13E-05	FHL
40869	0.023	0.802	0.043	2.92E-04	8.89E-05	1.25E-05	FHL
32994	0.024	0.647	0.036	3.49E-04	1.06E-04	2.52E-05	FHL
24524	0.032	0.481	0.030	4.07E-04	1.24E-04	2.13E-04	FT
19475	0.034	0.382	0.025	5.01E-04	1.53E-04	2.38E-04	FT
14999	0.030	0.294	0.018	6.89E-04	2.10E-04	6.80E-05	FHL
12024	0.035	0.236	0.016	7.98E-04	2.44E-04	1.95E-04	FHL
174644	0.017	3.427	0.156	7.97E-05	2.43E-05	3.77E-06	FHL
163290	0.017	3.204	0.147	8.44E-05	2.57E-05	4.80E-06	FHL
145587	0.017	2.857	0.133	9.35E-05	2.85E-05	5.36E-06	FHL
113458	0.018	2.226	0.106	1.17E-04	3.56E-05	7.35E-06	FHL
93644	0.019	1.838	0.089	1.40E-04	4.26E-05	5.68E-06	FHL
81907	0.020	1.607	0.081	1.54E-04	4.69E-05	1.76E-05	FHL
64632	0.023	1.268	0.069	1.81E-04	5.51E-05	5.91E-05	FT
61328	0.017	1.203	0.055	2.24E-04	6.84E-05	-3.42E-05	FHL
172865	0.017	3.392	0.155	8.03E-05	2.45E-05	3.99E-06	FHL
164357	0.017	3.225	0.147	8.43E-05	2.57E-05	3.53E-06	FHL
159649	0.017	3.133	0.143	8.71E-05	2.66E-05	1.90E-06	FHL
127897	0.018	2.510	0.117	1.06E-04	3.23E-05	3.71E-06	FHL
114765	0.018	2.252	0.107	1.16E-04	3.54E-05	5.37E-06	FHL
84443	0.019	1.657	0.081	1.53E-04	4.68E-05	5.64E-06	FHL
77442	0.020	1.520	0.076	1.64E-04	4.99E-05	1.21E-05	FHL
182702	0.016	3.585	0.161	7.69E-05	2.35E-05	2.26E-06	FHL
175679	0.017	3.447	0.157	7.93E-05	2.42E-05	3.53E-06	FHL
162615	0.016	3.191	0.144	8.64E-05	2.64E-05	-3.96E-07	FHL
148268	0.017	2.909	0.136	9.16E-05	2.79E-05	6.58E-06	FHL
117384	0.018	2.303	0.110	1.13E-04	3.43E-05	9.49E-06	FHL
164230	0.017	3.223	0.147	8.46E-05	2.58E-05	2.72E-06	FHL
151658	0.017	2.976	0.137	9.10E-05	2.78E-05	2.56E-06	FHL
144775	0.017	2.841	0.131	9.46E-05	2.89E-05	3.47E-06	FHL
140255	0.017	2.752	0.128	9.74E-05	2.97E-05	3.36E-06	FHL
130628	0.017	2.563	0.119	1.05E-04	3.19E-05	9.20E-07	FHL
122049	0.018	2.395	0.113	1.10E-04	3.35E-05	5.01E-06	FHL
116171	0.018	2.280	0.107	1.16E-04	3.54E-05	2.16E-06	FHL
100971	0.019	1.981	0.095	1.30E-04	3.97E-05	5.93E-06	FHL

Re	f	v (m/s)	v^*	d^*	$0.305d^*$	Ks/d	Tipo
158529	0.017	3.111	0.142	8.74E-05	2.66E-05	2.74E-06	FHL
149958	0.017	2.943	0.137	9.06E-05	2.76E-05	6.76E-06	FHL
143081	0.017	2.808	0.130	9.54E-05	2.91E-05	4.12E-06	FHL
116956	0.018	2.295	0.109	1.14E-04	3.48E-05	6.06E-06	FHL
100436	0.019	1.971	0.095	1.31E-04	3.99E-05	6.65E-06	FHL
92159	0.019	1.808	0.089	1.40E-04	4.28E-05	1.00E-05	FHL
78395	0.019	1.538	0.075	1.65E-04	5.03E-05	3.15E-06	FHL
71428	0.020	1.402	0.070	1.79E-04	5.45E-05	4.87E-06	FHL
62992	0.021	1.236	0.064	1.95E-04	5.95E-05	1.95E-05	FHL
52152	0.021	1.023	0.053	2.36E-04	7.20E-05	7.39E-06	FHL
45286	0.022	0.889	0.047	2.66E-04	8.10E-05	1.31E-05	FHL
161785	0.017	3.175	0.145	8.59E-05	2.62E-05	2.43E-06	FHL
150499	0.017	2.953	0.136	9.16E-05	2.80E-05	2.52E-06	FHL
142464	0.017	2.796	0.130	9.58E-05	2.92E-05	3.96E-06	FHL
135743	0.017	2.664	0.123	1.01E-04	3.08E-05	1.52E-06	FHL
127019	0.017	2.492	0.116	1.07E-04	3.26E-05	2.53E-06	FHL
118615	0.018	2.328	0.109	1.14E-04	3.47E-05	1.90E-06	FHL
110038	0.018	2.159	0.103	1.21E-04	3.69E-05	4.18E-06	FHL
101836	0.018	1.998	0.095	1.31E-04	3.98E-05	2.26E-06	FHL
93286	0.019	1.831	0.089	1.39E-04	4.23E-05	9.62E-06	FHL
160103	0.017	3.142	0.144	8.60E-05	2.62E-05	4.58E-06	FHL
153665	0.017	3.015	0.139	8.94E-05	2.73E-05	4.17E-06	FHL
136801	0.017	2.684	0.126	9.90E-05	3.02E-05	5.49E-06	FHL
125204	0.018	2.457	0.116	1.07E-04	3.27E-05	5.49E-06	FHL
114847	0.018	2.254	0.107	1.16E-04	3.55E-05	4.64E-06	FHL
108508	0.019	2.129	0.102	1.21E-04	3.70E-05	8.65E-06	FHL
103447	0.019	2.030	0.098	1.27E-04	3.86E-05	9.01E-06	FHL
93621	0.019	1.837	0.090	1.39E-04	4.23E-05	8.26E-06	FHL
79453	0.019	1.559	0.077	1.62E-04	4.95E-05	4.50E-06	FHL
64725	0.021	1.270	0.065	1.92E-04	5.87E-05	1.28E-05	FHL
51189	0.023	1.004	0.054	2.30E-04	7.01E-05	4.02E-05	FHL
43389	0.022	0.851	0.045	2.76E-04	8.42E-05	1.30E-05	FHL
162263	0.017	3.184	0.146	8.52E-05	2.60E-05	3.79E-06	FHL
151911	0.017	2.981	0.137	9.05E-05	2.76E-05	3.61E-06	FHL
137715	0.018	2.702	0.127	9.78E-05	2.98E-05	7.48E-06	FHL
123759	0.018	2.428	0.115	1.08E-04	3.31E-05	5.38E-06	FHL
109893	0.018	2.156	0.104	1.20E-04	3.66E-05	8.27E-06	FHL
92849	0.020	1.822	0.090	1.38E-04	4.20E-05	1.48E-05	FHL
82560	0.019	1.620	0.079	1.56E-04	4.77E-05	5.79E-06	FHL
68537	0.020	1.345	0.067	1.85E-04	5.64E-05	5.91E-06	FHL
159666	0.017	3.133	0.144	8.63E-05	2.63E-05	4.30E-06	FHL
148242	0.017	2.909	0.133	9.36E-05	2.86E-05	4.11E-07	FHL
123806	0.018	2.429	0.114	1.09E-04	3.31E-05	4.86E-06	FHL

Re	f	v (m/s)	v [*]	d [*]	0.305d [*]	Ks/d	Tipo
104884	0.018	2.058	0.099	1.26E-04	3.85E-05	5.20E-06	FHL
96989	0.019	1.903	0.092	1.35E-04	4.10E-05	7.75E-06	FHL
82338	0.019	1.616	0.080	1.56E-04	4.76E-05	8.37E-06	FHL
103184	0.010	2.025	0.072	1.72E-04	5.26E-05	-4.67E-05	FHL
63492	0.021	1.246	0.063	1.96E-04	5.99E-05	1.14E-05	FHL
52276	0.022	1.026	0.054	2.31E-04	7.04E-05	2.08E-05	FHL
61087	0.012	1.199	0.046	2.70E-04	8.25E-05	-7.16E-05	FHL
160305	0.017	3.146	0.145	8.54E-05	2.60E-05	6.25E-06	FHL
155899	0.017	3.059	0.142	8.76E-05	2.67E-05	6.31E-06	FHL
150397	0.017	2.951	0.136	9.12E-05	2.78E-05	4.21E-06	FHL
139865	0.017	2.745	0.128	9.72E-05	2.96E-05	4.79E-06	FHL
126985	0.018	2.492	0.117	1.06E-04	3.25E-05	4.00E-06	FHL
116903	0.018	2.294	0.108	1.15E-04	3.49E-05	4.55E-06	FHL
103192	0.018	2.025	0.097	1.28E-04	3.89E-05	6.25E-06	FHL
94135	0.019	1.847	0.090	1.38E-04	4.20E-05	9.03E-06	FHL
86754	0.019	1.702	0.084	1.48E-04	4.53E-05	9.15E-06	FHL
84238	0.019	1.653	0.080	1.54E-04	4.71E-05	3.47E-06	FHL
156270	0.017	3.066	0.142	8.78E-05	2.68E-05	5.09E-06	FHL
137246	0.017	2.693	0.125	9.95E-05	3.04E-05	2.76E-06	FHL
112993	0.018	2.217	0.106	1.18E-04	3.59E-05	5.60E-06	FHL
93698	0.019	1.839	0.090	1.37E-04	4.19E-05	1.24E-05	FHL
76481	0.019	1.501	0.074	1.69E-04	5.15E-05	2.71E-06	FHL
62601	0.022	1.228	0.064	1.93E-04	5.90E-05	2.93E-05	FHL
51236	0.022	1.005	0.052	2.38E-04	7.26E-05	1.16E-05	FHL
45116	0.021	0.885	0.046	2.72E-04	8.29E-05	-8.87E-07	FHL
159152	0.016	3.123	0.142	8.77E-05	2.68E-05	6.82E-07	FHL
133601	0.017	2.622	0.122	1.01E-04	3.09E-05	4.49E-06	FHL
109955	0.018	2.158	0.103	1.20E-04	3.67E-05	6.36E-06	FHL
101703	0.018	1.996	0.095	1.30E-04	3.98E-05	2.94E-06	FHL
94138	0.018	1.847	0.089	1.40E-04	4.27E-05	2.53E-06	FHL
87497	0.020	1.717	0.085	1.47E-04	4.47E-05	1.18E-05	FHL
75973	0.020	1.491	0.074	1.67E-04	5.10E-05	9.92E-06	FHL
69465	0.020	1.363	0.068	1.83E-04	5.59E-05	4.21E-06	FHL
56849	0.021	1.116	0.058	2.15E-04	6.56E-05	1.74E-05	FHL
157970	0.017	3.100	0.142	8.72E-05	2.66E-05	4.15E-06	FHL
122069	0.017	2.395	0.112	1.11E-04	3.39E-05	1.53E-06	FHL
97555	0.019	1.914	0.094	1.32E-04	4.03E-05	1.34E-05	FHL
159219	0.017	3.124	0.142	8.72E-05	2.66E-05	2.19E-06	FHL
148554	0.017	2.915	0.135	9.22E-05	2.81E-05	4.01E-06	FHL
144042	0.017	2.826	0.131	9.50E-05	2.90E-05	3.77E-06	FHL
138414	0.017	2.716	0.126	9.84E-05	3.00E-05	3.91E-06	FHL
132567	0.017	2.601	0.121	1.03E-04	3.13E-05	3.40E-06	FHL
125841	0.017	2.469	0.115	1.08E-04	3.29E-05	2.63E-06	FHL

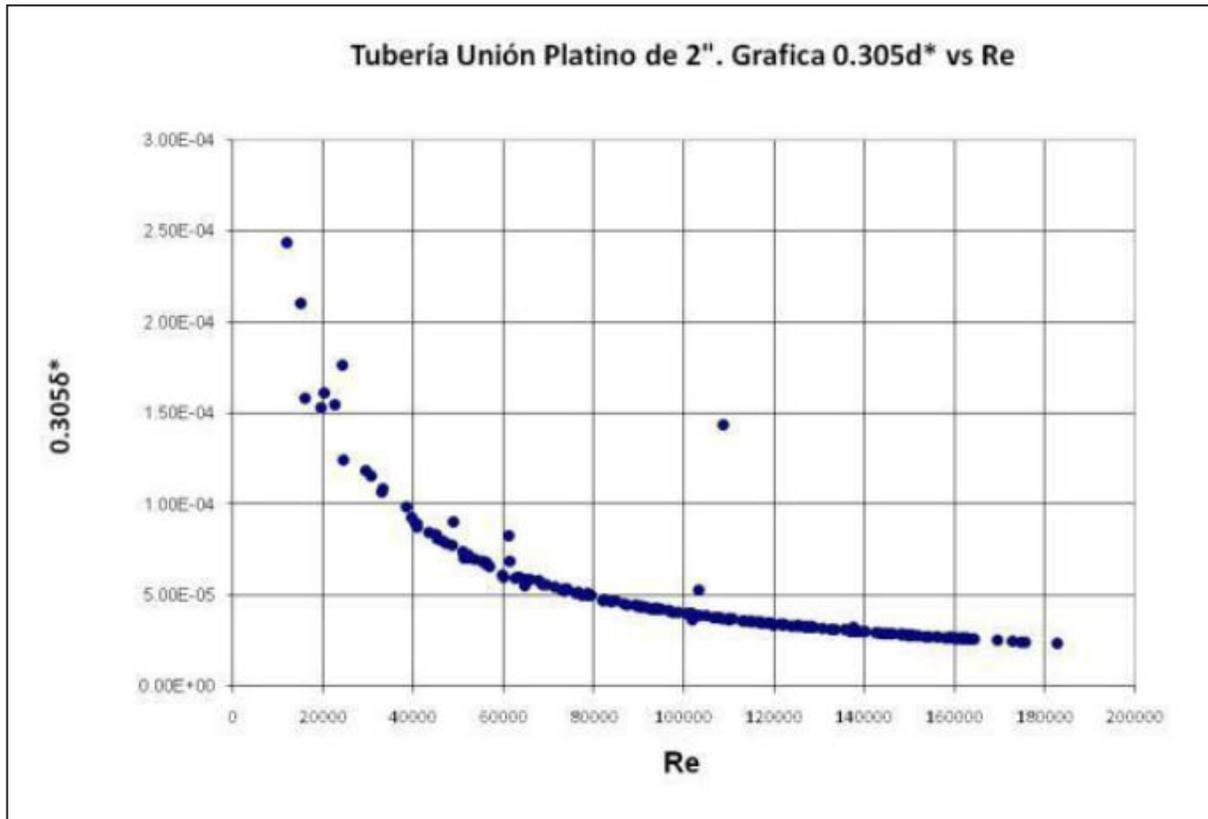
Re	f	v (m/s)	v [*]	d [*]	0.305d [*]	Ks/d	Tipo
117058	0.017	2.297	0.107	1.16E-04	3.53E-05	3.55E-07	FHL
110787	0.018	2.174	0.103	1.20E-04	3.67E-05	4.72E-06	FHL
101642	0.019	1.994	0.096	1.29E-04	3.93E-05	7.93E-06	FHL
96621	0.018	1.896	0.091	1.36E-04	4.16E-05	3.43E-06	FHL
89510	0.019	1.756	0.086	1.45E-04	4.41E-05	8.13E-06	FHL
84794	0.019	1.664	0.081	1.53E-04	4.66E-05	5.66E-06	FHL
74120	0.019	1.454	0.071	1.74E-04	5.31E-05	1.26E-06	FHL
66018	0.020	1.295	0.065	1.91E-04	5.83E-05	6.35E-06	FHL
56146	0.021	1.102	0.056	2.23E-04	6.79E-05	2.41E-06	FHL
162947	0.017	3.197	0.145	8.54E-05	2.61E-05	1.99E-06	FHL
149867	0.017	2.941	0.135	9.17E-05	2.80E-05	3.29E-06	FHL
128100	0.017	2.514	0.115	1.08E-04	3.28E-05	-1.80E-06	FHL
119243	0.018	2.340	0.110	1.13E-04	3.44E-05	3.76E-06	FHL
83902	0.020	1.646	0.082	1.52E-04	4.64E-05	1.17E-05	FHL
160150	0.017	3.143	0.144	8.63E-05	2.63E-05	3.47E-06	FHL
143689	0.017	2.820	0.131	9.46E-05	2.89E-05	5.45E-06	FHL
125192	0.017	2.457	0.113	1.10E-04	3.36E-05	-2.64E-06	FHL
98780	0.019	1.938	0.094	1.32E-04	4.03E-05	8.93E-06	FHL
78594	0.019	1.542	0.076	1.63E-04	4.98E-05	6.31E-06	FHL
53649	0.021	1.053	0.054	2.28E-04	6.96E-05	1.22E-05	FHL
47172	0.022	0.926	0.048	2.57E-04	7.84E-05	1.04E-05	FHL
39667	0.022	0.778	0.041	3.03E-04	9.23E-05	4.21E-06	FHL
30789	0.024	0.604	0.033	3.78E-04	1.15E-04	5.45E-06	FHL
24365	0.016	0.478	0.021	5.79E-04	1.76E-04	-1.40E-04	FHL
161705	0.017	3.173	0.146	8.53E-05	2.60E-05	4.25E-06	FHL
139064	0.018	2.729	0.128	9.71E-05	2.96E-05	6.82E-06	FHL
121347	0.018	2.381	0.112	1.11E-04	3.39E-05	3.04E-06	FHL
106983	0.019	2.099	0.102	1.22E-04	3.72E-05	1.09E-05	FHL
90494	0.019	1.776	0.087	1.43E-04	4.37E-05	8.29E-06	FHL
73556	0.019	1.443	0.071	1.75E-04	5.33E-05	2.42E-06	FHL
55310	0.021	1.085	0.055	2.24E-04	6.84E-05	6.39E-06	FHL
40378	0.023	0.792	0.042	2.94E-04	8.95E-05	1.58E-05	FHL
29533	0.024	0.580	0.032	3.89E-04	1.19E-04	1.61E-05	FHL
20231	0.028	0.397	0.024	5.27E-04	1.61E-04	6.34E-05	FHL
160150	0.017	3.143	0.145	8.58E-05	2.62E-05	5.16E-06	FHL
148729	0.017	2.918	0.135	9.18E-05	2.80E-05	5.28E-06	FHL
127581	0.018	2.503	0.118	1.06E-04	3.22E-05	4.76E-06	FHL
106663	0.019	2.093	0.101	1.23E-04	3.76E-05	8.20E-06	FHL
90479	0.020	1.775	0.088	1.42E-04	4.32E-05	1.31E-05	FHL
79424	0.019	1.559	0.076	1.63E-04	4.97E-05	3.25E-06	FHL
68531	0.020	1.345	0.068	1.84E-04	5.60E-05	9.60E-06	FHL
56146	0.021	1.102	0.057	2.20E-04	6.70E-05	1.06E-05	FHL
48724	0.021	0.956	0.049	2.53E-04	7.71E-05	2.31E-06	FHL

Re	f	v (m/s)	v^*	d^*	$0.305d^*$	Ks/d	Tipo
38542	0.021	0.756	0.038	3.23E-04	9.87E-05	-2.48E-05	FHL
16033	0.046	0.315	0.024	5.19E-04	1.58E-04	8.13E-04	FT
161375	0.017	3.167	0.145	8.56E-05	2.61E-05	3.87E-06	FHL
144666	0.017	2.839	0.131	9.48E-05	2.89E-05	3.00E-06	FHL
128786	0.018	2.527	0.118	1.05E-04	3.20E-05	3.96E-06	FHL
108788	0.001	2.135	0.026	4.71E-04	1.44E-04	-1.33E-04	FHL
91403	0.019	1.794	0.087	1.42E-04	4.34E-05	6.60E-06	FHL
78650	0.019	1.543	0.075	1.66E-04	5.07E-05	-2.28E-06	FHL
68753	0.020	1.349	0.068	1.83E-04	5.59E-05	9.74E-06	FHL
60041	0.023	1.178	0.063	1.97E-04	6.00E-05	4.59E-05	FHL
48825	0.015	0.958	0.042	2.96E-04	9.02E-05	-6.49E-05	FHL
154396	0.017	3.030	0.140	8.88E-05	2.71E-05	4.79E-06	FHL
146300	0.017	2.871	0.133	9.36E-05	2.86E-05	3.77E-06	FHL
139836	0.017	2.744	0.127	9.79E-05	2.98E-05	2.80E-06	FHL
119816	0.019	2.351	0.114	1.09E-04	3.32E-05	1.53E-05	FHL
108073	0.018	2.121	0.102	1.22E-04	3.73E-05	6.74E-06	FHL
94944	0.019	1.863	0.090	1.38E-04	4.21E-05	4.78E-06	FHL
89250	0.019	1.751	0.085	1.46E-04	4.44E-05	6.04E-06	FHL
82141	0.020	1.612	0.081	1.53E-04	4.67E-05	1.89E-05	FHL
73574	0.020	1.444	0.072	1.72E-04	5.24E-05	1.09E-05	FHL
67719	0.019	1.329	0.065	1.91E-04	5.82E-05	-3.96E-06	FHL
59792	0.022	1.173	0.062	2.00E-04	6.10E-05	3.65E-05	FHL
51110	0.021	1.003	0.052	2.41E-04	7.35E-05	5.05E-06	FHL
40973	0.023	0.804	0.043	2.86E-04	8.72E-05	2.70E-05	FHL
33374	0.023	0.655	0.035	3.55E-04	1.08E-04	-2.13E-06	FHL
22604	0.024	0.444	0.024	5.08E-04	1.55E-04	-1.73E-05	FHL
136536	0.017	2.679	0.124	1.00E-04	3.05E-05	2.67E-06	FHL
118960	0.018	2.334	0.110	1.13E-04	3.45E-05	3.05E-06	FHL
107614	0.018	2.112	0.101	1.23E-04	3.75E-05	5.82E-06	FHL
90348	0.019	1.773	0.087	1.43E-04	4.36E-05	9.86E-06	FHL
73021	0.020	1.433	0.072	1.74E-04	5.30E-05	9.10E-06	FHL

Resultados del límite del flujo para todas las pruebas del tramo

	0.305d*
Máximo	2.44E-04
Mínimo	2.35E-05
Promedio	4.96E-05

Gráfica del límite del flujo vs. Número de Reynolds



Tubería Unión Platino de 2 1/2"

Los cálculos típicos son:

Re	f	v (m/s)	v [*]	d [*]	0.305d [*]	Ks/d	Tipo
169413	0.02	3.15	0.143	8.66E-05	2.64E-05	2.68E-05	FT
153601	0.02	2.79	0.129	9.60E-05	2.93E-05	3.30E-05	FT
149235	0.02	2.59	0.120	1.03E-04	3.14E-05	3.64E-05	FT
137651	0.02	2.34	0.102	1.22E-04	3.72E-05	4.07E-05	FT
101968	0.02	2.08	0.107	1.15E-04	3.52E-05	4.46E-05	FT
46447	0.02	1.80	0.094	1.31E-04	4.00E-05	5.30E-05	FT
40869	0.02	1.40	0.074	1.67E-04	5.10E-05	8.32E-05	FT
32994	0.02	1.28	0.070	1.76E-04	5.37E-05	6.96E-05	FT
24524	0.03	0.97	0.061	2.02E-04	6.16E-05	6.36E-05	FT
19475	0.03	0.76	0.049	2.52E-04	7.68E-05	1.65E-04	FT
14999	0.03	0.47	0.029	4.35E-04	1.33E-04	2.35E-04	FT
12024	0.03	0.30	0.020	6.26E-04	1.91E-04	2.74E-04	FT
174644	0.02	3.25	0.148	8.39E-05	2.56E-05	3.05E-05	FT
163290	0.02	2.98	0.137	9.04E-05	2.76E-05	3.27E-05	FT
145587	0.02	2.56	0.119	1.04E-04	3.17E-05	4.55E-05	FT
113458	0.02	1.80	0.086	1.44E-04	4.39E-05	5.98E-05	FT
93644	0.02	1.28	0.062	2.00E-04	6.11E-05	8.07E-05	FT
81907	0.02	0.89	0.045	2.76E-04	8.42E-05	9.07E-05	FT
64632	0.02	0.67	0.036	3.44E-04	1.05E-04	1.89E-04	FT
61328	0.02	0.38	0.017	7.11E-04	2.17E-04	1.37E-04	FHL
172865	0.02	3.25	0.148	8.35E-05	2.55E-05	2.83E-05	FT
164357	0.02	3.17	0.145	8.54E-05	2.60E-05	2.88E-05	FT
159649	0.02	3.10	0.141	8.78E-05	2.68E-05	2.88E-05	FT
127897	0.02	2.93	0.137	9.04E-05	2.76E-05	3.29E-05	FT
114765	0.02	2.82	0.134	9.26E-05	2.83E-05	3.25E-05	FT
84443	0.02	2.53	0.124	1.00E-04	3.06E-05	3.35E-05	FT
77442	0.02	2.27	0.114	1.09E-04	3.33E-05	3.90E-05	FT
182702	0.02	2.04	0.092	1.35E-04	4.11E-05	4.42E-05	FT
175679	0.02	1.86	0.085	1.47E-04	4.47E-05	3.89E-05	FHL
162615	0.02	1.67	0.075	1.64E-04	5.01E-05	4.89E-05	FHL
148268	0.02	1.40	0.065	1.90E-04	5.79E-05	8.37E-05	FT
117384	0.02	1.22	0.059	2.11E-04	6.44E-05	7.96E-05	FT
164230	0.02	3.08	0.140	8.84E-05	2.69E-05	2.82E-05	FT
151658	0.02	2.92	0.134	9.25E-05	2.82E-05	3.05E-05	FT
144775	0.02	2.82	0.130	9.51E-05	2.90E-05	2.97E-05	FT
140255	0.02	2.71	0.126	9.86E-05	3.01E-05	3.06E-05	FT
130628	0.02	2.63	0.121	1.02E-04	3.11E-05	3.23E-05	FT
122049	0.02	2.51	0.118	1.05E-04	3.20E-05	3.39E-05	FT

Re	f	v (m/s)	v^{\wedge}	d^{\wedge}	$0.305d^{\wedge}$	Ks/d	Tipo
116171	0.02	2.35	0.110	1.12E-04	3.42E-05	3.58E-05	FT
100971	0.02	1.98	0.095	1.30E-04	3.96E-05	4.36E-05	FT
158529	0.02	2.96	0.136	9.14E-05	2.79E-05	3.00E-05	FT
149958	0.02	2.79	0.130	9.53E-05	2.91E-05	3.61E-05	FT
143081	0.02	2.65	0.123	1.01E-04	3.07E-05	3.84E-05	FT
116956	0.02	2.36	0.112	1.11E-04	3.37E-05	3.99E-05	FT
100436	0.02	1.95	0.094	1.32E-04	4.01E-05	6.28E-05	FT
92159	0.02	1.74	0.085	1.45E-04	4.43E-05	5.54E-05	FT
78395	0.02	1.46	0.072	1.73E-04	5.28E-05	5.31E-05	FT
71428	0.02	1.26	0.062	1.98E-04	6.05E-05	4.98E-05	FHL
62992	0.02	1.02	0.053	2.35E-04	7.17E-05	5.85E-05	FHL
52152	0.02	0.77	0.040	3.13E-04	9.54E-05	1.05E-04	FT
45286	0.02	0.65	0.034	3.63E-04	1.11E-04	1.81E-04	FT
161785	0.02	3.03	0.138	8.96E-05	2.73E-05	2.84E-05	FT
150499	0.02	2.92	0.134	9.26E-05	2.82E-05	3.10E-05	FT
142464	0.02	2.84	0.132	9.40E-05	2.87E-05	3.25E-05	FT
135743	0.02	2.74	0.127	9.78E-05	2.98E-05	3.41E-05	FT
127019	0.02	2.63	0.123	1.01E-04	3.08E-05	3.41E-05	FT
118615	0.02	2.39	0.112	1.11E-04	3.37E-05	3.58E-05	FT
110038	0.02	2.11	0.100	1.24E-04	3.78E-05	4.26E-05	FT
101836	0.02	1.94	0.092	1.34E-04	4.10E-05	5.23E-05	FT
93286	0.02	1.67	0.082	1.51E-04	4.62E-05	5.58E-05	FT
160103	0.02	3.03	0.139	8.88E-05	2.71E-05	2.88E-05	FT
153665	0.02	2.89	0.133	9.29E-05	2.83E-05	3.45E-05	FT
136801	0.02	2.80	0.131	9.48E-05	2.89E-05	3.19E-05	FT
125204	0.02	2.58	0.122	1.02E-04	3.11E-05	4.28E-05	FT
114847	0.02	2.38	0.113	1.10E-04	3.36E-05	3.88E-05	FT
108508	0.02	2.03	0.098	1.27E-04	3.87E-05	5.14E-05	FT
103447	0.02	1.80	0.087	1.42E-04	4.33E-05	5.35E-05	FT
93621	0.02	1.49	0.072	1.71E-04	5.21E-05	6.12E-05	FT
79453	0.02	1.14	0.056	2.22E-04	6.78E-05	6.17E-05	FHL
64725	0.02	0.85	0.043	2.88E-04	8.78E-05	7.81E-05	FHL
51189	0.02	0.62	0.033	3.73E-04	1.14E-04	1.30E-04	FT
43389	0.02	0.47	0.025	4.95E-04	1.51E-04	1.66E-04	FT
162263	0.02	3.07	0.141	8.82E-05	2.69E-05	2.79E-05	FT
151911	0.02	2.94	0.136	9.14E-05	2.79E-05	3.23E-05	FT
137715	0.02	2.64	0.124	9.97E-05	3.04E-05	4.21E-05	FT
123759	0.02	2.23	0.105	1.18E-04	3.59E-05	3.92E-05	FT
109893	0.02	1.81	0.087	1.43E-04	4.35E-05	6.07E-05	FT
92849	0.02	1.47	0.073	1.70E-04	5.20E-05	6.42E-05	FT
82560	0.02	1.04	0.051	2.42E-04	7.40E-05	7.77E-05	FT
68537	0.02	0.84	0.042	2.97E-04	9.05E-05	7.06E-05	FHL
159666	0.02	3.02	0.139	8.93E-05	2.72E-05	2.79E-05	FT

Re	f	v (m/s)	v^*	d^*	$0.305d^*$	Ks/d	Tipo
148242	0.02	2.82	0.129	9.64E-05	2.94E-05	3.30E-05	FT
123806	0.02	2.31	0.109	1.14E-04	3.48E-05	4.03E-05	FT
104884	0.02	1.93	0.092	1.34E-04	4.09E-05	5.78E-05	FT
96989	0.02	1.71	0.083	1.50E-04	4.57E-05	9.56E-05	FT
82338	0.02	1.55	0.076	1.63E-04	4.96E-05	5.26E-05	FT
103184	0.01	1.99	0.071	1.75E-04	5.33E-05	-4.70E-05	FHL
63492	0.02	1.15	0.059	2.11E-04	6.45E-05	6.06E-05	FHL
52276	0.02	0.98	0.052	2.40E-04	7.32E-05	6.66E-05	FHL
61087	0.01	0.57	0.022	5.63E-04	1.72E-04	1.09E-03	FT
160305	0.02	3.06	0.141	8.76E-05	2.67E-05	3.05E-05	FT
155899	0.02	2.93	0.136	9.12E-05	2.78E-05	3.49E-05	FT
150397	0.02	2.88	0.133	9.31E-05	2.84E-05	3.28E-05	FT
139865	0.02	2.71	0.126	9.82E-05	3.00E-05	4.95E-05	FT
126985	0.02	2.57	0.120	1.03E-04	3.14E-05	3.77E-05	FT
116903	0.02	2.36	0.112	1.11E-04	3.39E-05	4.47E-05	FT
103192	0.02	2.48	0.119	1.04E-04	3.16E-05	-1.30E-05	FHL
94135	0.02	1.85	0.090	1.37E-04	4.19E-05	5.46E-05	FT
86754	0.02	1.62	0.080	1.55E-04	4.74E-05	6.40E-05	FT
84238	0.02	1.45	0.071	1.75E-04	5.34E-05	5.33E-05	FHL
156270	0.02	2.99	0.138	8.98E-05	2.74E-05	2.47E-05	FHL
137246	0.02	2.76	0.128	9.69E-05	2.96E-05	3.21E-05	FT
112993	0.02	2.52	0.120	1.03E-04	3.15E-05	3.54E-05	FT
93698	0.02	2.20	0.108	1.15E-04	3.50E-05	3.84E-05	FT
76481	0.02	1.77	0.087	1.43E-04	4.35E-05	4.55E-05	FT
62601	0.02	1.52	0.079	1.56E-04	4.76E-05	9.66E-05	FT
51236	0.02	1.24	0.064	1.93E-04	5.88E-05	6.28E-05	FT
45116	0.02	1.05	0.054	2.30E-04	7.00E-05	6.39E-05	FHL
159152	0.02	2.98	0.135	9.17E-05	2.80E-05	2.97E-05	FT
133601	0.02	2.80	0.131	9.48E-05	2.89E-05	3.31E-05	FT
109955	0.02	2.56	0.122	1.01E-04	3.09E-05	3.45E-05	FT
101703	0.02	2.30	0.110	1.13E-04	3.44E-05	4.16E-05	FT
94138	0.02	2.06	0.099	1.25E-04	3.82E-05	4.10E-05	FT
87497	0.02	1.80	0.089	1.40E-04	4.26E-05	5.17E-05	FT
75973	0.02	1.41	0.070	1.76E-04	5.37E-05	5.03E-05	FHL
69465	0.02	1.15	0.057	2.17E-04	6.63E-05	5.72E-05	FHL
56849	0.02	0.95	0.049	2.52E-04	7.70E-05	6.17E-05	FHL
157970	0.02	3.00	0.138	8.99E-05	2.74E-05	2.80E-05	FT
122069	0.02	2.69	0.126	9.85E-05	3.00E-05	3.78E-05	FT
97555	0.02	2.47	0.121	1.02E-04	3.11E-05	4.20E-05	FT
159219	0.02	2.97	0.135	9.15E-05	2.79E-05	3.54E-05	FT
148554	0.02	2.81	0.130	9.54E-05	2.91E-05	3.07E-05	FT
144042	0.02	2.64	0.122	1.02E-04	3.10E-05	3.51E-05	FT
138414	0.02	2.51	0.116	1.06E-04	3.24E-05	3.46E-05	FT

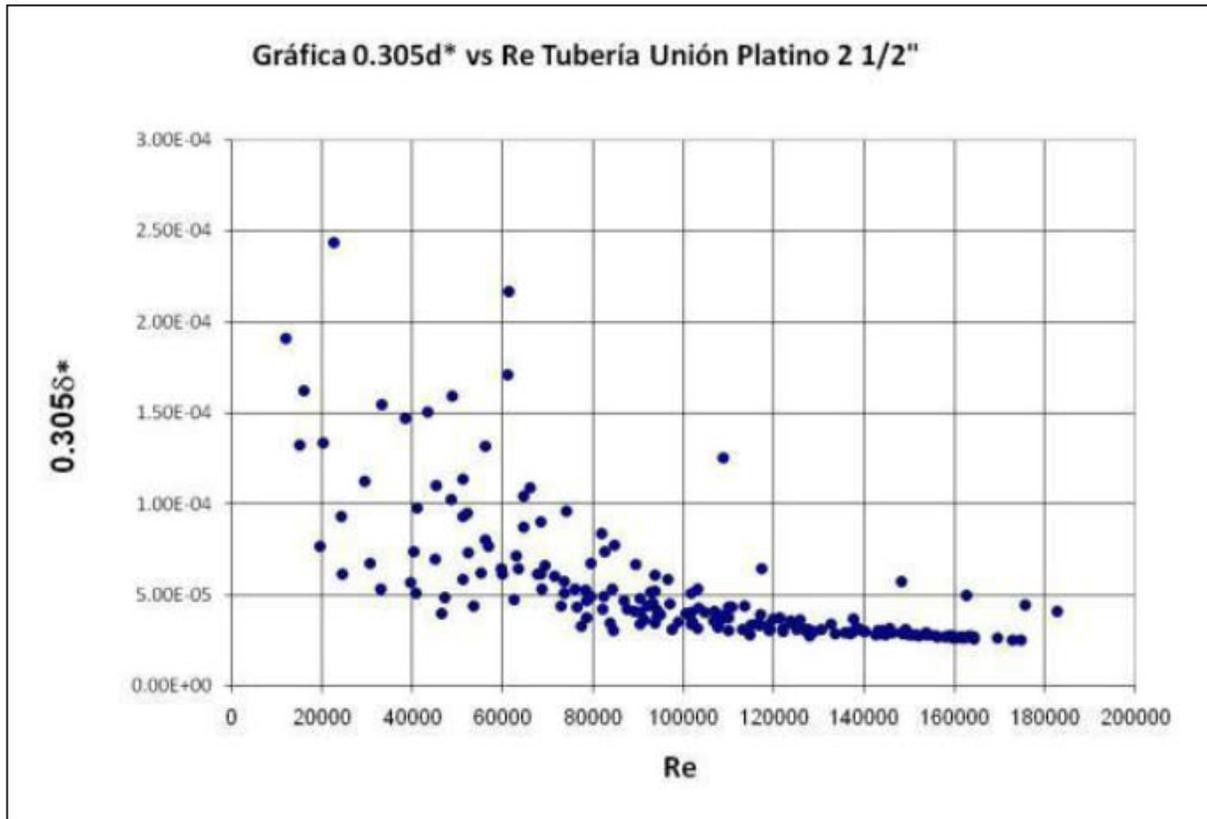
Re	f	v (m/s)	v^*	d^*	$0.305d^*$	Ks/d	Tipo
132567	0.02	2.38	0.111	1.12E-04	3.40E-05	3.41E-05	FT
125841	0.02	2.21	0.103	1.20E-04	3.65E-05	3.52E-05	FHL
117058	0.02	2.04	0.095	1.30E-04	3.97E-05	3.95E-05	FHL
110787	0.02	1.82	0.086	1.43E-04	4.38E-05	5.09E-05	FT
101642	0.02	1.52	0.073	1.69E-04	5.14E-05	5.99E-05	FT
96621	0.02	1.33	0.064	1.93E-04	5.90E-05	5.18E-05	FHL
89510	0.02	1.15	0.056	2.20E-04	6.70E-05	5.81E-05	FHL
84794	0.02	0.99	0.049	2.55E-04	7.78E-05	6.24E-05	FHL
74120	0.02	0.80	0.039	3.17E-04	9.66E-05	4.97E-05	FHL
66018	0.02	0.69	0.035	3.59E-04	1.10E-04	1.50E-04	FT
56146	0.02	0.56	0.029	4.33E-04	1.32E-04	7.52E-05	FHL
162947	0.02	3.03	0.138	8.98E-05	2.74E-05	3.01E-05	FT
149867	0.02	2.88	0.133	9.33E-05	2.85E-05	3.17E-05	FT
128100	0.02	2.71	0.124	9.96E-05	3.04E-05	3.45E-05	FT
119243	0.02	2.56	0.120	1.03E-04	3.14E-05	3.49E-05	FT
83902	0.02	2.20	0.109	1.14E-04	3.46E-05	4.04E-05	FT
160150	0.02	3.01	0.138	8.97E-05	2.74E-05	3.22E-05	FT
143689	0.02	2.81	0.131	9.48E-05	2.89E-05	3.20E-05	FT
125192	0.02	2.56	0.118	1.05E-04	3.22E-05	3.54E-05	FT
98780	0.02	2.20	0.107	1.16E-04	3.53E-05	4.16E-05	FT
78594	0.02	2.02	0.100	1.24E-04	3.79E-05	-3.54E-05	FHL
53649	0.02	1.66	0.086	1.45E-04	4.41E-05	5.33E-05	FT
47172	0.02	1.48	0.077	1.61E-04	4.90E-05	5.05E-05	FT
39667	0.02	1.25	0.066	1.88E-04	5.74E-05	8.73E-05	FT
30789	0.02	1.03	0.056	2.22E-04	6.76E-05	8.16E-05	FT
24365	0.02	0.90	0.040	3.07E-04	9.35E-05	8.44E-05	FHL
161705	0.02	3.06	0.141	8.81E-05	2.69E-05	2.92E-05	FT
139064	0.02	2.55	0.120	1.03E-04	3.16E-05	3.54E-05	FT
121347	0.02	2.15	0.101	1.23E-04	3.75E-05	3.92E-05	FT
106983	0.02	1.88	0.091	1.36E-04	4.15E-05	4.44E-05	FT
90494	0.02	1.60	0.078	1.59E-04	4.85E-05	6.03E-05	FT
73556	0.02	1.33	0.066	1.89E-04	5.76E-05	5.99E-05	FT
55310	0.02	1.18	0.060	2.05E-04	6.25E-05	6.31E-05	FT
40378	0.02	0.95	0.051	2.43E-04	7.41E-05	6.75E-05	FHL
29533	0.02	0.61	0.034	3.69E-04	1.12E-04	8.00E-05	FHL
20231	0.03	0.48	0.028	4.38E-04	1.34E-04	1.02E-04	FHL
160150	0.02	3.03	0.139	8.88E-05	2.71E-05	3.08E-05	FT
148729	0.02	2.80	0.130	9.53E-05	2.91E-05	3.11E-05	FT
127581	0.02	2.59	0.122	1.02E-04	3.11E-05	3.76E-05	FT
106663	0.02	2.17	0.104	1.19E-04	3.62E-05	4.42E-05	FT
90479	0.02	1.88	0.093	1.33E-04	4.06E-05	4.84E-05	FT
79424	0.02	1.56	0.076	1.62E-04	4.95E-05	6.17E-05	FT
68531	0.02	1.21	0.061	2.03E-04	6.19E-05	7.64E-05	FT

Re	f	v (m/s)	v^4	d^4	$0.305d^4$	Ks/d	Tipo
56146	0.02	0.92	0.047	2.63E-04	8.03E-05	9.12E-05	FT
48724	0.02	0.71	0.037	3.37E-04	1.03E-04	1.16E-04	FT
38542	0.02	0.51	0.026	4.82E-04	1.47E-04	2.20E-04	FT
16033	0.05	0.31	0.023	5.33E-04	1.63E-04	4.60E-04	FT
161375	0.02	3.03	0.139	8.93E-05	2.72E-05	3.33E-05	FT
144666	0.02	2.89	0.133	9.29E-05	2.83E-05	3.17E-05	FT
128786	0.02	2.69	0.126	9.86E-05	3.01E-05	3.36E-05	FT
108788	0.00	2.43	0.030	4.13E-04	1.26E-04	3.66E-05	FHL
91403	0.02	2.11	0.103	1.21E-04	3.68E-05	4.31E-05	FT
78650	0.02	1.67	0.081	1.54E-04	4.69E-05	5.23E-05	FT
68753	0.02	1.40	0.070	1.76E-04	5.38E-05	6.60E-05	FT
60041	0.02	1.15	0.061	2.02E-04	6.15E-05	5.88E-05	FHL
48825	0.02	0.54	0.024	5.22E-04	1.59E-04	6.22E-04	FT
154396	0.02	2.89	0.133	9.30E-05	2.84E-05	3.48E-05	FT
146300	0.02	2.79	0.129	9.61E-05	2.93E-05	3.55E-05	FT
139836	0.02	2.64	0.122	1.01E-04	3.09E-05	3.27E-05	FT
119816	0.02	2.09	0.101	1.22E-04	3.73E-05	1.78E-04	FT
108073	0.02	2.21	0.106	1.17E-04	3.57E-05	4.27E-05	FT
94944	0.02	1.98	0.096	1.30E-04	3.95E-05	6.92E-05	FT
89250	0.02	1.87	0.091	1.36E-04	4.15E-05	5.13E-05	FT
82141	0.02	1.77	0.089	1.39E-04	4.25E-05	4.82E-05	FT
73574	0.02	1.47	0.073	1.69E-04	5.15E-05	7.46E-05	FT
67719	0.02	1.25	0.061	2.02E-04	6.17E-05	5.22E-05	FHL
59792	0.02	1.10	0.058	2.13E-04	6.48E-05	8.19E-05	FT
51110	0.02	0.79	0.041	3.06E-04	9.33E-05	9.31E-05	FHL
40973	0.02	0.71	0.038	3.22E-04	9.83E-05	3.59E-05	FHL
33374	0.02	0.46	0.024	5.08E-04	1.55E-04	1.83E-04	FT
22604	0.02	0.28	0.015	8.00E-04	2.44E-04	4.02E-04	FT
136536	0.02	2.77	0.128	9.67E-05	2.95E-05	3.23E-05	FT
118960	0.02	2.62	0.123	1.01E-04	3.07E-05	3.43E-05	FT
107614	0.02	2.45	0.117	1.06E-04	3.23E-05	3.82E-05	FT
90348	0.02	2.24	0.110	1.13E-04	3.44E-05	3.94E-05	FT
73021	0.02	1.71	0.086	1.45E-04	4.41E-05	5.10E-05	FT

Resultados del límite del flujo para todas las pruebas del tramo

	0.305d⁴
Máximo	2.44E-04
Mínimo	2.55E-05
Promedio	5.26E-05

Gráfica del límite del flujo vs. Número de Reynolds



ANEXO 2

Análisis del caudal necesario para que el flujo en las tuberías Unión Platino empiece a ser transicional

Tubería Unión Platino 2"

Viscosidad Cinemática	1.14E-06
Diámetro (m)	0.05458
Ks (m)	5.00E-06

Q (l/s)	v (m/s)	Re	f calculado como FHL	f calculado como FHR	f calculado como Ftransición	V*	d' (m)	LIMITES		TIPO DE FLUJO
								FHL (ks menor que)	FHR (ks mayor que)	
1	0.43	2.05E+04	0.025738	0.011773	0.025941	0.02	5.43E-04	1.66E-04	3.31E-03	FHL
2	0.85	4.09E+04	0.021856	0.011773	0.022149	0.04	2.94E-04	8.97E-05	1.79E-03	FHL
3	1.28	6.14E+04	0.019966	0.011773	0.020332	0.06	2.05E-04	6.24E-05	1.25E-03	FHL
4	1.71	8.19E+04	0.018765	0.011773	0.019195	0.08	1.58E-04	4.82E-05	9.63E-04	FHL
5	2.14	1.02E+05	0.017904	0.011773	0.018392	0.10	1.29E-04	3.94E-05	7.87E-04	FHL
6	2.56	1.23E+05	0.017243	0.011773	0.017783	0.12	1.09E-04	3.34E-05	6.67E-04	FHL
7	2.99	1.43E+05	0.016711	0.011773	0.017300	0.14	9.50E-05	2.90E-05	5.80E-04	FHL
8	3.42	1.64E+05	0.016269	0.011773	0.016905	0.16	8.41E-05	2.57E-05	5.13E-04	FHL
9	3.85	1.84E+05	0.015893	0.011773	0.016573	0.18	7.55E-05	2.30E-05	4.61E-04	FHL
10	4.27	2.05E+05	0.015567	0.011773	0.016288	0.19	6.86E-05	2.09E-05	4.18E-04	FHL
12	5.13	2.46E+05	0.015026	0.011773	0.015825	0.23	5.80E-05	1.77E-05	3.54E-04	FHL
15	6.41	3.07E+05	0.014401	0.011773	0.015305	0.28	4.72E-05	1.44E-05	2.88E-04	FHL
20	8.55	4.09E+05	0.013648	0.011773	0.014706	0.37	3.61E-05	1.10E-05	2.20E-04	FHL
30	12.82	6.14E+05	0.012682	0.011773	0.013993	0.54	2.47E-05	7.52E-06	1.50E-04	FHL
31	13.25	6.34E+05	0.012608	0.011773	0.013942	0.55	2.39E-05	7.29E-06	1.46E-04	FHL
32	13.68	6.55E+05	0.012537	0.011773	0.013893	0.57	2.32E-05	7.08E-06	1.42E-04	FHL
33	14.10	6.75E+05	0.012469	0.011773	0.013846	0.59	2.25E-05	6.87E-06	1.37E-04	FHL
34	14.53	6.96E+05	0.012403	0.011773	0.013802	0.60	2.19E-05	6.68E-06	1.34E-04	FHL
35	14.96	7.16E+05	0.012340	0.011773	0.013760	0.62	2.13E-05	6.50E-06	1.30E-04	FHL
47	20.09	9.62E+05	0.011723	0.011773	0.013366	0.82	1.61E-05	4.91E-06	9.82E-05	Ftrans

Tubería Unión Platino 2 1/2"

Viscosidad Cinemática	1.14E-06
Diámetro (m)	0.06607
Ks (m)	4.60E-05

Q (l/s)	v (m/s)	Re	f calculado como FHL	f calculado como FHR	f calculado como Ftransición	V*	d' (m)	LIMITES		TIPO DE FLUJO
								FHL (ks menor que)	FHR (ks mayor que)	
1	0.29	1.69E+04	0.026983	0.017995	0.028332	0.02	7.62E-04	2.32E-04	4.65E-03	FHL
2	0.58	3.38E+04	0.022837	0.017995	0.024719	0.03	4.08E-04	1.24E-04	2.49E-03	FHL
3	0.88	5.07E+04	0.020826	0.017995	0.023107	0.05	2.81E-04	8.58E-05	1.72E-03	FHL
4	1.17	6.76E+04	0.019550	0.017995	0.022158	0.06	2.15E-04	6.57E-05	1.31E-03	FHL
5	1.46	8.45E+04	0.018637	0.017995	0.021521	0.08	1.75E-04	5.33E-05	1.07E-03	FHL
5.1	1.49	8.62E+04	0.018559	0.017995	0.021469	0.08	1.72E-04	5.23E-05	1.05E-03	FHL
5.2	1.52	8.79E+04	0.018483	0.017995	0.021418	0.08	1.69E-04	5.14E-05	1.03E-03	FHL
5.3	1.55	8.96E+04	0.018409	0.017995	0.021369	0.08	1.66E-04	5.05E-05	1.01E-03	FHL
5.4	1.58	9.13E+04	0.018337	0.017995	0.021321	0.08	1.63E-04	4.96E-05	9.92E-04	FHL
5.5	1.60	9.30E+04	0.018266	0.017995	0.021275	0.08	1.60E-04	4.88E-05	9.75E-04	FHL
5.6	1.63	9.47E+04	0.018197	0.017995	0.021230	0.08	1.57E-04	4.79E-05	9.59E-04	FHL
5.7	1.66	9.64E+04	0.018130	0.017995	0.021186	0.09	1.55E-04	4.71E-05	9.43E-04	FHL
5.8	1.69	9.80E+04	0.018064	0.017995	0.021143	0.09	1.52E-04	4.64E-05	9.28E-04	FHL
5.9	1.72	9.97E+04	0.018000	0.017995	0.021102	0.09	1.50E-04	4.56E-05	9.13E-04	Ftrans
6	1.75	1.01E+05	0.017937	0.017995	0.021062	0.09	1.47E-04	4.49E-05	8.98E-04	Ftrans
7	2.04	1.18E+05	0.017374	0.017995	0.020712	0.10	1.27E-04	3.88E-05	7.76E-04	Ftrans
8	2.33	1.35E+05	0.016906	0.017995	0.020437	0.12	1.12E-04	3.42E-05	6.84E-04	Ftrans
9	2.63	1.52E+05	0.016509	0.017995	0.020213	0.13	1.00E-04	3.06E-05	6.11E-04	Ftrans
10	2.92	1.69E+05	0.016165	0.017995	0.020029	0.15	9.06E-05	2.76E-05	5.53E-04	Ftrans