

**DISEÑO CONCEPTUAL PARA LA INSTALACION DE SISTEMAS DE TOMA  
MUESTRAS CERRADOS PARA PRODUCTOS LIQUIDOS BLANCOS Y ACPM  
EN LAS ÁREAS DE TOPPING, FONDOS Y CRACKING I DE LA REFINERIA DE  
BARRANCABERMEJA**

**LINA DEL ROCIO PARRA GALVIS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2009**

**DISEÑO CONCEPTUAL PARA LA INSTALACION DE SISTEMAS DE TOMA  
MUESTRAS CERRADOS PARA PRODUCTOS LIQUIDOS BLANCOS Y ACPM  
EN LAS ÁREAS DE TOPPING, FONDOS Y CRACKING I DE LA REFINERIA DE  
BARRANCABERMEJA**

**LINA DEL ROCIO PARRA GALVIS**

**Trabajo de grado en modalidad de practica industrial, presentado para optar  
al título de Ingeniero Químico**

**Director**

**EDER GIOVANI BAQUERO**

**Ingeniero Químico,**

**Ingeniero Apoyo Técnico Refinación -GRB**

**Lector**

**CRISOSTOMO BARAJAS FERREIRA**

**Ingeniero Químico, Msc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2009**

*A Dios, por las situaciones difíciles y por darme la fortaleza necesaria  
para superarlas.*

*A mi querida madre quien se atrevió a soñar conmigo, su ejemplo ha sido  
la inspiración para seguir adelante, su apoyo y confianza son la luz que  
acompaña mi camino.*

*A mis amigas, por su cariño y comprensión, por estar a mi lado y  
compartir tantas experiencias de vida de esa manera tan especial.*

*A Juan Felipe, quien con su llegada ha llenado nuestras vidas de alegría y  
esperanza.*

**LINIX**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Ecopetrol S.A y la coordinación ingeniería de proceso de la Gerencia Refinería Barrancabermeja por darme la oportunidad de vivir esta experiencia tan enriquecedora y formativa.

A la Universidad Industrial de Santander y la escuela de Ingeniería Química, por la formación recibida.

Al Dr. Crisóstomo Barajas Ferreira por su colaboración.

A todas la personas que siempre han creído en mí, y las que han estado a mi lado apoyándome.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	1
1. CONCEPTOS TEÓRICOS	3
1.1 MUESTREO	3
1.2 CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE SISTEMAS DE MUESTREO	3
1.2.1 Homogeneidad del contenido de la Tubería	4
1.2.2 Utilización de sondas para la extracción de las Muestras	4
1.2.3 Minimización de los tiempos muertos de transporte y de proceso	6
1.2.4 Eliminación de los drenajes de Productos hacia el medio ambiente	6
1.2.5 Diferencial de presión entre el punto de toma y retorno de la muestra hacia la tubería	6
1.2.6 Condiciones de la muestra	6
1.2.7 Localización de los sistemas en un sitio seguro, accesible y que disminuya el costo total	6

2. METODOLOGÍA	8
2.1 EVALUACIÓN CUALITATIVA DEL ESTADO ACTUAL DE LOS PUNTOS DE MUESTREO	9
2.2 VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LAS CANTIDADES DE PRODUCTOS PERDIDOS POR LOS DRENAJES DE LAS FACILIDADES	9
2.3 DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE EXTRACCIÓN DE LAS MUESTRAS DE ACUERDO A LA NORMATIVA INTERNACIONAL	10
2.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE FLUJO DE LOS PRODUCTOS EN LOS PUNTOS SELECCIONADOS	11
2.5 CÁLCULO DEL RÉGIMEN DE FLUJO Y LAS CONDICIONES DE MEZCLADO DE LOS PRODUCTOS PARA VERIFICAR LA CONVENIENCIA DE LOS PUNTOS SELECCIONADOS	11
2.6 SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE MUESTREO Y DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA LA INSTALACIÓN	14
2.7 REALIZACIÓN DE LOS DIAGRAMAS ISOMÉTRICOS CON LA PROPUESTA DE INTERCONEXIÓN	14
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	16
3.1 EVALUACIÓN CUALITATIVA DEL ESTADO ACTUAL DE LOS PUNTOS DE MUESTREO	16

3.1.1 Puntos de muestreo seleccionados para la instalación de sistemas cerrados	18
3.2 VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LOS FLUJOS DE PRODUCTOS PERDIDOS POR LOS DRENAJES DE LAS FACILIDADES	19
3.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE FLUJO DE LOS PRODUCTOS EN LOS PUNTOS DE TOMA SELECCIONADOS	22
3.4 CÁLCULO DEL RÉGIMEN DE FLUJO Y DE LAS CONDICIONES DE MEZCLADO DE LOS PRODUCTOS.	23
3.4.1 Calculo de las condiciones de mezclado para productos en tuberías en flujo horizontal	25
3.5 REALIZACIÓN DE LOS DIAGRAMAS ISOMÉTRICOS CON LA PROPUESTA DE INTERCONEXIÓN Y RECOMENDACIONES TÉCNICAS ESPECÍFICAS PARA CADA UNO DE LOS SISTEMAS	25
CONCLUSIONES	28
RECOMENDACIONES	29
BIBLIOGRAFÍA	30
ANEXOS	31

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Distribución de fases en tuberías horizontales	4
<b>Figura 2.</b> Área recomendada para ubicar la boquilla de muestreo.	5
<b>Figura 3a.</b> Diseño típico de sondas- Probeta con punta cerrada y dando cara aguas arriba.	5
<b>Figura 3b.</b> Diseño típico de sondas-Tubo doblado bordeado en el extremo.	5
<b>Figura 3c.</b> Diseño típico de sondas- Tubo biselado 45°.	6
<b>Figura 4.</b> Metodología utilizada en el desarrollo del proyecto	8
<b>Figura 5.</b> Fotografía del estado actual del punto de muestreo de Nafta virgen T-204	17
<b>Figura 6.</b> Fotografía del estado actual del punto de muestreo de ACPM/ DMO T-2653	17
<b>Figura 7.</b> Fotografía del estado actual del punto de muestreo de nafta pesada T-150	17
<b>Figura 8.</b> Fotografía del estado actual del sistema de enfriamiento de nafta pesada T-150	17
<b>Figura 9.</b> Flujos de acuerdo al tipo de producto, enviados a los drenajes	22
<b>Figura 10.</b> Grafica de Flujo contra tiempo para el JET-A T-204	23
<b>Figura 11.</b> Grafica de Flujo contra tiempo para Nafta virgen T-2000	23
<b>Figura 12.</b> Esquema de conexión del nuevo toma muestra de JET'T204.	26
<b>Figura 13.</b> Esquema de conexión del nuevo toma muestra de ACPM T150.	26

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Listado de símbolos utilizados en este capítulo	<b>8</b>
<b>Tabla 2-</b> Puntos de muestreo seleccionados para las tres áreas	<b>18</b>
<b>Tabla 3-</b> Flujo de productos perdidos en los drenajes U-250	<b>19</b>
<b>Tabla 4.</b> Flujo de productos perdidos en los drenajes U-2100	<b>20</b>
<b>Tabla 5-</b> Flujo de productos perdidos en los drenajes U-150	<b>20</b>
<b>Tabla 6-</b> Flujo de productos perdidos en los drenajes U-200	<b>20</b>
<b>Tabla 7-</b> Flujo de productos perdidos en los drenajes U-2000	<b>21</b>
<b>Tabla 8-</b> Flujo de productos perdidos en los drenajes U-2000	<b>21</b>
<b>Tabla 9-</b> . Velocidades y Regímenes de Flujo para los puntos seleccionados	<b>24</b>

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO A</b> Diagramas isométricos y recomendaciones técnicas específicas para cada sistema.	<b>31</b>
<b>ANEXO B.</b> Graficas de flujos históricos de productos.	<b>52</b>
<b>ANEXO C.</b> Práctica estándar para el muestreo manual de petróleo y productos derivados del petróleo. (ASTM D-4052)	<b>46</b>
<b>ANEXO D.</b> Práctica estándar para el muestreo automático de petróleo y productos derivados del petróleo (API MPMS capítulo 8, sección 2 Apéndice B cálculos teóricos para seleccionar la ubicación de la sonda de muestreo.)	<b>48</b>
<b>ANEXO E.</b> Peligro por exposición a los productos muestreados.	<b>61</b>
<b>ANEXO F.</b> Ejemplo de un cálculo realizado utilizando la macro elaborada	<b>63</b>

## RESUMEN

**TITULO:** DISEÑO CONCEPTUAL PARA LA INSTALACION DE SISTEMAS DE MUESTREO CERRADOS PARA PRODUCTOS LIQUIDOS BLANCOS Y ACPM EN LAS AREAS DE TOPPING, FONDOS Y CRACKING I DE LA REFINERIA DE BARRANCABERMEJA\*

**AUTOR:** Lina Del Rocío Parra Galvis\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Sistemas de muestreo cerrados, muestra representativa, sondas de extracción.

**DESCRIPCION:** Para Ecopetrol S.A. y la gerencia refinera de Barrancabermeja es de gran importancia que sus procesos se encuentren dentro de los lineamientos y estrategias que tiene la compañía de responsabilidad con el medio ambiente y el favorecimiento de un sitio de trabajo seguro.

Los sistemas de muestreo cerrados eliminan los drenajes de líquidos hacia aguas aceitosas, lo cual contribuye a disminuir las cantidades de residuos aceitosos generados diariamente por la refinera, además se disminuyen los riesgos para la salud del personal de operaciones por la exposición continua a los diferentes productos durante los procedimientos de muestreo.

El objetivo de este trabajo consistió en la revisión de las características de funcionamiento de los puntos de muestreo adaptados en las diferentes unidades en las áreas de topping, fondos y cracking I, con el fin de determinar sus falencias y necesidades de mejora, así como una evaluación del impacto ambiental y económico y los riesgos de exposición del personal por la utilización de los actuales sistemas abiertos.

Se emitieron las recomendaciones técnicas generales y específicas para cada uno de los puntos de muestreo seleccionados y se elaboraron los diagramas isométricos en los cuales se representa la propuesta de interconexión y ubicación de los sistemas, se hizo una cuidadosa revisión de los estándares y normativas internacionales que gobiernan el muestreo de productos en líneas de proceso, lo cual contribuyó a la determinación los requerimientos para la instalación de los nuevos sistemas cerrados.

---

\*Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director Ecopetrol: Ing. Eder Giovanni Baquero, Lector UIS: Crisóstomo Barajas Ferreira, Msc.

## ABSTRACT

**TITLE:** CONCEPTUAL DESIGN FOR INSTALLATION OF CLOSED LOOP SAMPLING SYSTEMS FOR WHITE LIQUID PRODUCTS AND DIESEL AT THE TOPPING, BOTTOMS AND CRACKING I AREAS OF THE BARRANCABERMEJA REFINERY\*

**AUTOR:** Lina Del Rocío Parra Galvis\*\*

**KEY WORDS:** Closed loop sampling systems, representative sample, extraction probes for sampling.

**DESCRIPTION:** It is very important for Ecopetrol S.A and the Barrancabermeja Refinery that the processes carried out follow the environmental responsibility and safety policies of the company.

Closed loop sampling systems avoid draining liquids on oily water, which decreases the amount of slop oil daily generated at the refinery. Besides, operating personnel health risk due to continuous exposure to different products during the sampling procedures also decreases.

The goal of this work consisted of an inspection of the operating characteristics of the current sampling points adapted to different units in the topping, bottoms and cracking I areas of the refinery, in order to determine their weaknesses and improvement requirements and assess the environmental and economical impacts as well as the exposure risk for personnel due to the utilization of open sampling systems.

Technical specific and general recommendations were emitted for each of the selected sampling points and isometric diagrams were made in which the proposed interconnection and location of the systems are shown. International standards for online liquid sampling were carefully reviewed, which contributed with the determination of installation requirements of the new closed loop sampling systems.

---

\*Degree Work

\*\* Physical-Chemical Faculty. Chemical Engineering Department. Advisor: Eng. Eder Giovanni Baquero, Text reader: Crisóstomo Barajas Ferreira, Msc.

## INTRODUCCION

Los procesos industriales requieren que los resultados de los análisis de muestras en sus diferentes etapas sean lo más acertados posible, ya que estos permiten hacer seguimiento y control de los mismos para asegurar la calidad de los productos y así obtener una correcta determinación de propiedades físicas y químicas, las cuales son usadas para establecer los volúmenes estándar, precios y cumplir con las especificaciones comerciales y regulatorias. De ahí que el muestreo de productos en tuberías de proceso resulta ser una de las actividades que requiere mayor atención ya que se debe asegurar su representatividad, evitar las emisiones de productos al medio ambiente y evitar los riesgos de exposición de los operadores a las diferentes sustancias muestreadas durante la realización de estos procedimientos.

Actualmente, la forma como se obtienen las muestras en las distintas plantas de la Refinería de Barrancabermeja está lejos de cumplir con los lineamientos y normas internacionales para estos procedimientos. Los sistemas que se utilizan para hacer el muestreo de corrientes y productos en los diferentes procesos son en su mayoría facilidades adaptadas de tubería con válvulas (Indicadores de Presión, venteos de bombas, drenajes de líneas, etc.), a las cuales se les acondiciona una tubería que sirve como drenaje y se lleva hasta una caja o colector en sistema abierto. Este tipo de configuraciones conlleva grandes riesgos tanto en la parte ambiental como de salud ocupacional. En el aspecto ambiental, existe el problema de contaminación debido a los grandes volúmenes de drenajes de productos, necesarios cada vez que se toman las muestras mediante las facilidades adaptadas, esta situación que tiene un gran impacto en las cantidades de residuos aceitosos (**Slop**) generados diariamente por la refinería, cuya meta es de máximo 400 BPD según lo recomendado por **Shell**.

En el aspecto de salud ocupacional, se tienen riesgos constantes para la salud de los operadores por la exposición a los distintos productos, lo cual va en contra de las premisas de seguridad industrial que tiene la compañía y que buscan eliminar los riesgos de afectación del personal, favoreciendo un sitio de trabajo seguro. Existen además otros problemas asociados, como representatividad de las muestras ya que estos puntos y los procedimientos utilizados no cumplen con las condiciones necesarias para asegurar la extracción de volúmenes de la corriente principal que conserven sus mismas características.

El objetivo de este trabajo consistió en la revisión de las características de funcionamiento de los puntos de muestreo adaptados en las diferentes unidades en las áreas de **topping**, fondos y **cracking I**, con el fin de determinar sus falencias y necesidades de mejora, así como una evaluación del impacto ambiental y económico y los riesgos de exposición del personal por la utilización de estos sistemas abiertos. Para emitir las recomendaciones técnicas generales y específicas para cada uno de los puntos de muestreo seleccionados, se hizo una cuidadosa revisión de los estándares y normativas internacionales que gobiernan el muestreo de productos en líneas de proceso. Se determinaron los requerimientos necesarios y los puntos adecuados de extracción de las muestras. Finalmente se hizo la representación de la propuesta en diagramas isométricos para cada uno de los casos.

## 1. CONCEPTOS TEORICOS

### 1.1 MUESTREO

El muestreo de hidrocarburos líquidos refinados en tuberías está gobernado por varios estándares internacionales: ISO 3171, IP 6.2, API 8.2, ASTM D4177, ASTM D4057. Estos estándares dictan un número de claves de diseño y consideraciones que deben ser tenidos en cuenta para el diseño de sistemas de muestreo.

Existen dos tipos de muestreo, automático y manual: El muestreo automático, utiliza un dispositivo para extraer una muestra representativa del líquido que fluye por una tubería y consta de una sonda, un extractor de muestra, un medidor de flujo, un controlador y un analizador. El muestreo manual tiene como propósito extraer muestras representativas de productos en tanques, tuberías de proceso u otros recipientes, para ser analizadas en el laboratorio.

**Muestra Representativa:** una muestra representativa es definida como aquella que contiene los constituyentes en la misma proporción que los presentes en la corriente de la cual fue extraída [2].

### 1.2 CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE SISTEMAS DE MUESTREO.

En general, se debe tomar la muestra de flujos turbulentos, nunca de un flujo laminar, alejarse unos 12 diámetros aguas abajo de cualquier perturbación de la presión, usar una sonda de extracción adecuada y asegurar suficiente energía de mezclado.

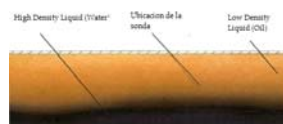
Para asegurar que un sistema cumple completamente con los requerimientos, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos [4], [5].

1.2.1 Homogeneidad del contenido de la tubería: para los productos derivados del petróleo, el agua que acompaña al fluido juega un papel preponderante ya que debido a sus propiedades fisicoquímicas estos no se mezclan. Por lo tanto es vital que en el punto de muestreo los fluidos no estén estratificados. Los estándares (Norma API MPMS 8.2 Anexo B) incluyen una fórmula para calcular el mezclado en una línea, con lo cual se puede evaluar que tan adecuada es la ubicación para el muestreo. Este cálculo debe realizarse para un escenario en el que se presenten las siguientes condiciones: Flujo mínimo, máxima viscosidad y mayor gravedad API

La concentración de agua en la parte superior de la línea (C1) debe ser 90% de la concentración de agua en el fondo (C2), es decir la relación C1/C2 debe ser al menos 0.9. Se pueden utilizar mezcladores estáticos o aprovechar el mezclado natural que es proporcionado por válvulas, codos y turbulencia natural generada por el flujo [2].

El objeto de mezclar en línea, es asegurar que las gotas de agua sean lo suficientemente pequeñas y los contaminantes están uniformemente distribuidos cuando se tome la muestra. Cuando no existe un buen mezclado se puede presentar una separación de las fases como se muestra en la figura 1.

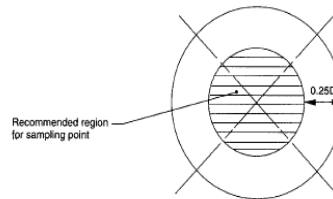
**Figura 1.** Distribución de fases en tuberías horizontales.



1.2.2 Utilización de sondas para la extracción de las muestras: se utilizan sondas para la extracción de las muestras ya que permiten tomar una muestra directa de

la corriente fluyendo y están extendidas dentro del centro del tubo, donde la velocidad es mayor, el flujo más turbulento y se elimina el efecto de la pared. En la figura 2, se muestra el área recomendada para ubicar la sonda de extracción.

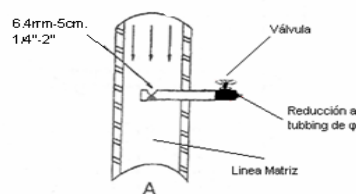
**Figura 2.** Área recomendada para ubicar la boquilla de muestreo [2].



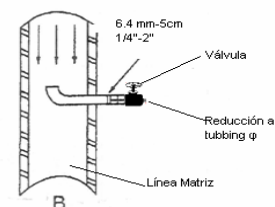
Fuente. American Petroleum Institute

La probeta se debe encontrar siempre en una posición horizontal para evitar el drenaje de cualquier parte de muestra de nuevo hacia la corriente principal. Esta debe estar localizada preferiblemente en una dirección vertical del tubo en la sección donde el flujo vaya hacia abajo, para obtener el beneficio de la alimentación. Cuando se localice en una posición horizontal, se debe asegurar que la velocidad de flujo es lo suficientemente alta para proporcionar régimen turbulento y se debe asegurar las condiciones de mezclado adecuadas. Las sondas se deben instalar en las paredes laterales o en el lomo de las tuberías, nunca en la parte inferior. En las figuras 3 a, b, c se muestran tres diseños de sondas comúnmente utilizados:[1]

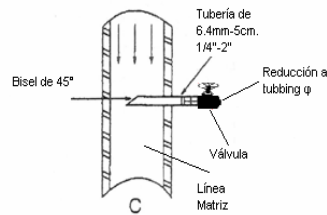
**Figura 3a.** Diseño típico de sondas- Probeta con punta cerrada y dando cara aguas arriba.



**Figura 3b.** Diseño típico de sondas-Tubo doblado bordeado en el extremo



**Figura 3c.** Diseño típico de sondas- Tubo biselado 45°.



Fuente .ASTM

1.2.3 Minimización los tiempos muertos de transporte y de proceso: las líneas de conexión de entrada al sistema de toma muestras deben estar lo más cerca posible al punto de extracción de la tubería.

1.2.4 Eliminación de los drenajes de productos hacia el medio ambiente: se deben utilizar sistemas de muestreo cerrados que permitan que el producto muestreado circule constantemente por sistema, de esta manera se evita que se tengan que realizar drenajes de productos a la atmósfera cada vez que una muestra sea requerida.

1.2.5 Diferencial de presión entre el punto de toma y retorno de la muestra hacia la tubería: se debe asegurar que haya una diferencia de presión suficiente entre el punto de toma y el punto de retorno de la muestra (2 psi), para que se permita un recirculación constante del producto en el sistema de muestreo.

1.2.6 Condiciones de la muestra: se deben evitar los sistemas de acondicionamiento complejos, siempre que sea posible hay que dejar que sea el proceso quien acondicione la muestra. Además, se deben impedir las siguientes situaciones en la muestra: reacciones químicas, separación de fases, altos contenidos de sólidos, diluciones y separación o absorción de componentes.

1.2.7 Localización de los sistemas en un sitio seguro, accesible y que disminuya el costo total: se debe ubicar el sistema en un punto accesible, si la altura es superior a 2 metros se deben instalar plataformas o escaleras fijas, asimismo debe

verificarse que hay rutas de escape en casos de emergencia y asegurarse que el usuario es consciente de los riesgos por: exposición a sustancias tóxicas, presiones altas (al quitar sondas, por ejemplo) y temperaturas altas.

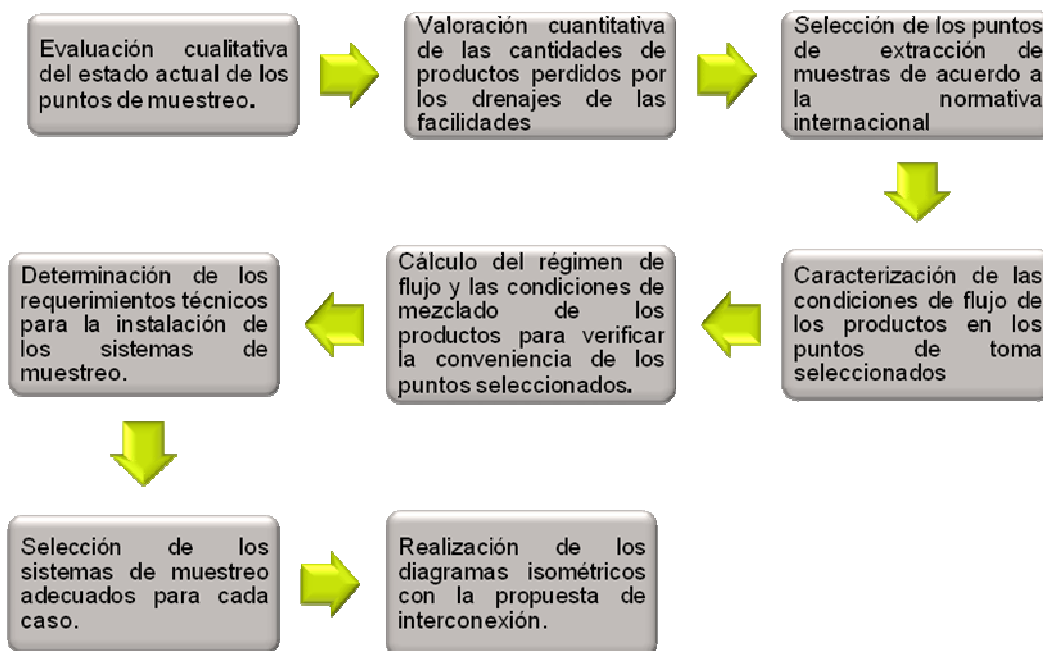
Se deben instalar de letreros y signos de alarma donde sea necesario e instrucciones permanentes para la toma de muestras.

Aunque hay que considerar el costo de la instalación, no hay que perder de vista que lo más importante -y lo más económico- es que el conjunto del sistema funcione bien. En la instalación de toma muestras existen costos asociados a modificaciones de las tuberías de proceso y elementos propios del sistema de acondicionamiento, nuevas tomas en líneas en servicio, elementos necesarios en el sitio de toma de muestra, longitud de líneas de transporte y costos de mantenimiento.

## 2. METODOLOGIA

Este capítulo presenta una descripción de la metodología utilizada durante el desarrollo de las diferentes etapas del proyecto. En la figura 4, se presenta de manera esquemática los diferentes procedimientos que permitieron la consecución de los objetivos planteados inicialmente.

**Figura 4.** Metodología utilizada en el desarrollo del proyecto



En la Tabla 1, se muestran los símbolos y unidades correspondientes utilizados en este capítulo.

**Tabla 1.** Listado de símbolos utilizados en este capítulo

Símbolo	Término	Unidades
$V_{muerto}$	Volumen muerto acumulado en la facilidad	Barriles.
$L_{facilidad}$	Longitud de la tubería adaptada para el muestreo	(m).
$D_{facilidad}$	Diámetro de la tubería adaptada para el muestreo	(mm)
$Q_{Drenado}$	Flujo volumétrico de producto enviado a drenajes	(Bl/año)
FrecuenciaMuestreo	Muestras tomadas de producto/año	#veces/año
PED	Pérdidas económicas en los drenajes	(\$/año)
$P_{pbc}$	Precio promedio barril de Crudo	(US\$/Bl)
TRM	Tasa Representativa del mercado promedio	(\$/US\$)

Re	Numero de Reynolds	Adimensional
C1/C2.	Relación de la concentración de agua entre la parte superior y el fondo de la tubería	Adimensional
W	Velocidad de asentamiento de las gotas de agua	(m/s).
$\epsilon/D$	Turbulencia característica, $\epsilon$ es la difusividad de Eddy ( $m^2/s$ ), y D el diámetro de la tubería	(m)
G	Parámetro Definido	Adimensional
V	Velocidad de flujo en la sección de tubería en que la energía es disipada	(m/s).
$\nu$	Viscosidad Cinemática	( $m^2/s$ ).
D	Diámetro de la tubería	(m).
$\Delta P$	Caída de presión por el elemento	(Pa).
$\Delta X$	Longitud característica que representa la distancia en la cual la energía ha sido disipada, un valor sustituto de $\Delta X$ que es utilizado como una aproximación es 10D Para mezcladores estáticos, este valor debe ser obtenido de los datos de diseño	(m).
$\rho$	Densidad del producto a la temperatura de la línea	( $Kg/m^3$ ).
$\rho_a$	Densidad del agua para agua salada de pozos, un valor sugerido es 1025 si el verdadero no está disponible	$kg/m^3$
K	coeficiente de Resistencia del elemento	Adimensional.
E	Velocidad de disipación de energía	(W/Kg).
$E$	Parámetro característico del elemento de mezclado	Adimensional.
$E_0$	Velocidad de disipación de energía en una tubería recta	(W/Kg).

## 2.1 .EVALUACIÓN CUALITATIVA DEL ESTADO ACTUAL DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.

La primera etapa consistió en la revisión y reconocimiento en campo de los puntos de muestreo existentes, con el fin de valorar su estado y condiciones actuales.

## 2.2 VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LAS CANTIDADES DE PRODUCTOS PERDIDOS POR LOS DRENAJES DE LAS FACILIDADES:

En esta etapa se hizo un estimativo de las cantidades de producto enviadas anualmente a los sistemas de aguas aceitosas, debido a los drenajes realizados

antes de tomar la muestra con las facilidades instaladas, así como de su equivalente en términos económicos.

Para realizar este cálculo, se utilizaron los datos encontrados en las plantas, tales como longitudes y diámetros de las líneas adaptadas, y frecuencia de muestreo. Se calculó el volumen muerto de producto acumulado y el caudal drenado mediante las ecuaciones 1 y 2, se supuso que solamente se drena esta cantidad antes de tomar las muestras.

$$V_{\text{Muerto}} = L_{\text{facilidad}} * \frac{\pi * D_{\text{facilidad}}^2}{635880} \quad (1)$$

$$Q_{\text{Drenado}} = V_{\text{Muerto}} * \text{FrecuenciaMuestreo} \quad (2)$$

Para hacer el estimativo económico de las pérdidas que se tienen por los drenajes, se utilizó el precio promedio del barril de crudo de los dos últimos años. Se debe tener en cuenta que los productos drenados tienen un costo mayor que el crudo, por lo cual este valor es válido solamente como una aproximación.

$$\text{PED} = Q_{\text{Drenado}} * P_{\text{Pbc}} * \text{TRM} \quad (3)$$

### **2.3 DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE EXTRACCIÓN DE LAS MUESTRAS DE ACUERDO A LA NORMATIVA INTERNACIONAL**

En esta etapa se realizó un seguimiento cuidadoso del recorrido de los productos en las diferentes unidades, con el fin de determinar la mejor ubicación para las sondas de extracción de las muestras, en esta elección se tuvieron en cuenta los requerimientos de los estándares internacionales. Se trató de adaptar estos requerimientos a las condiciones de operación de las plantas y a la ubicación de los diferentes equipos, de manera que las recomendaciones emitidas estén dentro de los marcos aceptables para su correcto funcionamiento.

## **2.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE FLUJO DE LOS PRODUCTOS EN LOS PUNTOS DE TOMA SELECCIONADOS**

Se buscaron datos históricos de flujos, temperaturas, viscosidades y gravedades API de los diferentes productos en los puntos seleccionados para la extracción, de acuerdo a los instrumentos de medición ubicados en las unidades, mediante los sistemas de información de Ecopetrol, RIS (Refinery Information System) -CDLAB, PI (Plant Information) y otras fuentes. Con estos datos, se realizaron los cálculos de régimen de flujo y mezclado de los productos en los puntos de muestreo, para un escenario de flujo mínimo, estos datos también fueron útiles para determinar y reconocer las necesidades de diseño e instalación de los sistemas de muestreo adecuados para cada caso específico. (Sistemas de enfriamiento, calentamiento y purgas del sistema con nitrógeno).

## **2.5 CÁLCULO DEL RÉGIMEN DE FLUJO Y LAS CONDICIONES DE MEZCLADO DE LOS PRODUCTOS PARA VERIFICAR LA CONVENIENCIA DE LOS PUNTOS SELECCIONADOS**

El régimen de flujo se calcula mediante la ecuación del Reynolds:

$$Re = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} \quad (4)$$

Si  $Re > 4000$  El régimen es turbulento

Si  $Re < 4000$  El régimen es laminar

Para determinar las condiciones de mezclado, es necesario calcular la velocidad de dispersión de energía, se debe tener en cuenta que los diferentes elementos no son aditivos en cuanto a disipación, así el elemento que se debe considerar para los cálculos debe ser el mayor disipador de energía. Se recomienda ver la Tabla 10 Anexo D, en la cual se muestra una comparación entre los diferentes elementos de mezclado que pueden existir en la tubería.

Para realizar el cálculo de las condiciones de mezclado del producto en la tubería, se elaboró un programa en Visual Basic-Excel basado en la norma API MPMS (Ver anexo F), el cual, mediante la introducción de unos pocos datos permite determinar la velocidad de disipación de energía real y requerida por el sistema. De esta manera el usuario puede obtener un resultado que le indica si en el punto seleccionado para la extracción de la muestra el producto se encuentra en las condiciones adecuadas.

Este procedimiento tiene una base teórica simple que utiliza muchas ecuaciones que no son estrictamente aplicables, por lo cual deben ser usadas con precaución cuando se usan para calcular los límites de una dispersión adecuada [2].

Como una medida de la dispersión, la relación entre la concentración de agua en la parte superior de la tubería horizontal C1 y el fondo de la tubería C2 es utilizada. Una relación C1/C2 de 0.9 indica muy buena dispersión, mientras una relación de 0.4 indica pobre dispersión, con un alto potencial de estratificación del agua.

- a) El grado de dispersión en tuberías horizontales puede estimarse mediante la ecuación 5::

$$\frac{C1}{C2} = \exp\left(\frac{-W}{\epsilon/D}\right) \quad (5)$$

- b) Una medida alternativa de la dispersión , G, puede ser definida por:

$$G = \left(\frac{\epsilon/D}{W}\right) \dots \quad (6)$$

La Tabla 10 (Ver anexo D), presenta la relación de C1/C2 con G. Se recomienda que no se de credibilidad a valores de de G menores de 3.

El procedimiento utilizado para hacer los cálculos fue el siguiente, primero se calcula la velocidad de asentamiento de las gotas de agua, utilizando la ecuación 7:

$$W = \left(\frac{\epsilon/D}{G}\right) \quad (7)$$

Según la Tabla 10, para que la relación C1/C2 sea 0.9, el valor de G debe ser 10, por lo tanto a G se le asignó este valor para los cálculos siguientes.

**Turbulencia Característica:** la turbulencia característica puede ser evaluada usando la ecuación 8 [2]:

$$\frac{\epsilon}{D} = 6.313E - 3 * V^{0.875} * D^{-0.125} * \rho^{0.125} \quad (8)$$

Con estos valores se procedió a calcular la velocidad de disipación de energía requerida para que el sistema este adecuadamente mezclado:[2]

$$Er = \frac{4630}{\rho^{2.75}} \left[ \frac{Q_d - \rho}{\phi * W} \right] \quad (9)$$

**Determinación de la Disipación de Energía:** Las ecuaciones 10 y 11, se utilizan para calcular la velocidad de disipación de energía, de acuerdo a los elementos disipadores (codos, válvulas, contracciones, etc.) que posee el sistema (30D antes del punto de extracción de la muestra). Existen dos métodos para realizar este cálculo, la diferencia entre ellos radica en los elementos disipadores presentes [2]:

#### Método A

Usando la relación: 
$$E = \frac{\Delta P * V}{\Delta X * \rho} \quad (10)$$

El  $\Delta P$  puede ser calculado mediante la ecuación 11:

$$\Delta P = \frac{K * \rho * V^2}{2} \quad (11)$$

Los valores sugeridos de K para diferentes elementos de tubería son dados en la Tabla 12 (Ver Anexo D).

#### Método B

Usando la relación:  $E = \beta * E_0$  (12)

$E_0$ , se calcula de:

$$E_0 = 0.005 * \rho^{0.25} * D^{-1.25} * V^{2.75} \quad (13)$$

Los valores sugeridos de  $\beta$  y otras relaciones tentativas para E, están dadas en las Tablas 13 y 14 (Ver Anexo D)

Para realizar los cálculos, se tomó el mínimo valor de  $\beta$  para determinado número de codos. Luego de calcular la velocidad de disipación de energía real, con la velocidad de disipación de energía requerida, se puede determinar si el sistema esta adecuadamente mezclado.

Si  $E_r > E$  Es necesario agregar un elemento que ocasione mayor cantidad de energía.

Si  $E_r < E$  El fluido en el punto de extracción de muestra se encuentra adecuadamente mezclado.

## **2.6 SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE MUESTREO Y DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA LA INSTALACIÓN.**

Dependiendo de las condiciones de los productos muestreados en las líneas de proceso, se determinaron las características especiales que deben tener los sistemas a instalar. Por ejemplo si se requiere que las muestras sean enfriadas antes de ser recogidas en las botellas o si requieren ser mantenidas a temperaturas altas, materiales a utilizar, etc.

## **2.7 REALIZACIÓN DE LOS DIAGRAMAS ISOMÉTRICOS CON LA PROPUESTA DE INTERCONEXIÓN HACIA EL TOMA MUESTRA:**

Para cada uno de los puntos seleccionados, se realizó el respectivo diagrama isométrico con la propuesta de ubicación del punto de toma y retorno de la muestra hacia la tubería, en estos no se muestra el detalle de la sonda, que es requisito indispensable de la norma ASTM D4057.

### **3. RESULTADOS Y ANALISIS**

#### **3.1 EVALUACIÓN CUALITATIVA DE ESTADO ACTUAL DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.**

De las visitas realizadas a cada una de las unidades y específicamente a los puntos que se utilizan actualmente para el muestreo de los diferentes productos, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- ✓ Los puntos de muestreo actuales, en su mayoría, son facilidades de tubería adaptadas con válvulas (Indicadores de presión, venteos de bombas, drenajes de líneas), que permiten la salida del producto hasta una caja o colector, donde los operadores toman las muestras en botellas.
- ✓ Debido a los volúmenes muertos acumulados en las facilidades, es necesario el drenaje de grandes cantidades de producto para tener una muestra representativa.
- ✓ Estos puntos no cumplen con los requerimientos exigidos estándares internacionales para el muestreo, además presentan condiciones inseguras para el personal de operaciones.

En las figuras 5, 6, 7 y 8 se muestran fotografías donde se ilustran las condiciones de algunos de los puntos de muestreo analizados: nafta virgen T-204, ACPM/DMO Hidrotratado T-2653, nafta pesada T-150 y nafta debutanizada T-2004 respectivamente. De manera general se puede decir, que ninguno de los puntos acondicionados cumple con el requisito de la instalación de sondas para extracción de la muestra, además de otras condiciones subestándar que se mencionan específicamente a continuación, por lo cual se hace necesario cambiar estos sistemas por otros en los que se asegure la representatividad de las muestras y la anulación de los drenajes de productos.

**Figura 5.** Fotografía del estado actual del punto de muestreo de Nafta virgen T-204.



**Figura 6.** Fotografía del estado actual del punto de muestreo de ACPM/ DMO T-2653.



**Figura 7.** Fotografía del estado actual del punto de muestreo de nafta pesada T-150.



**Figura 8.** Fotografía del estado actual del sistema de enfriamiento de nafta pesada T-150.



Del punto de nafta virgen T-204 se tienen las siguientes observaciones: el punto de salida de la muestra está localizado en la parte inferior de la misma, lo cual no es recomendable y adicionalmente los drenajes son enviados al piso.

Con respecto al punto de ACPM/ DMO Hidrotratado T-2653, se puede observar que las líneas de conexión son bastante largas y que acumulan grandes cantidades de volumen muerto de producto, cuando la corrida de la planta es con ACPM, se utiliza el sistema de enfriamiento que consta de un recipiente que contiene agua y un serpentín por el que circula el producto, este sistema se encuentra en muy mal estado y se le nota bastante corroído por lo cual no cumple con su función de bajar la temperatura.

El punto de muestreo de nafta pesada T-150, tiene las siguientes condiciones: la conexión de salida de muestra está en la parte inferior de la tubería, aunque las

líneas de conexión son cortas, es necesario drenar producto antes de realizar el muestreo.

Finalmente, la última figura es la fotografía del sistema de enfriamiento que se utilizaba para el muestreo de nafta debutanizada, debido a su avanzado estado de corrosión, algunas conexiones fueron deshabilitadas , por lo que se hizo necesario cambiar el sitio de toma de muestra a un punto de menor temperatura ya que este sistema no estaba cumpliendo con su propósito.

3.1.1 Puntos de muestreo seleccionados para la instalación de sistemas cerrados. De las tres áreas evaluadas, se seleccionaron 32 puntos de muestreo de productos líquidos blancos y ACPM, los cuales presentan un mayor impacto debido a las cantidades drenadas durante los procedimientos de muestreo. En la Tabla 2, se muestra una relación de los puntos seleccionados para su análisis e intervención.

**Tabla 2-**Puntos de muestreo seleccionados para análisis e intervención en las tres áreas.

REFINACIÓN (TOPPING)	REFINACIÓN DE FONDOS
<b>U-150: (5)</b> JET-A de T-151A ACPM de T-151B Nafta de D-150 Nafta liviana de T- 152 Nafta debutanizada U-170.	<b>U-2600: (2)</b> Ucarsol Rico Ucarsol Pobre
<b>U-200: (6)</b> ACPM de T-201. JET-A de T-201. ACPM de T-204. JET-A de T-204. Nafta virgen de T-201. Nafta virgen de T-204	<b>U-2650: (3)</b> ACPM/DMO Carga DMOH Producto/ ACPM Hidrotratado Mezcla ACPM/DMO Hidrotratado T-2653
<b>U-200: (6)</b> ACPM de T-201. JET-A de T-201. ACPM de T-204. JET-A de T-204. Nafta virgen de T-201. Nafta virgen de T-204	

<b>U-250:</b> JET-A de T-251, Nafta debutanizada Nafta Exceso/Nafta Virgen D-250, ACPM de T-250.	<b>(4)</b>	<b>CRACKINGI</b>
		<b>U-2850:</b> M2850-3 Nafta
<b>U-2000:</b> JET-A de T-2001A ACPM de T-2002A Nafta Virgen de T-2000 Nafta Debutanizada T-2004 Nafta liviana T-2005	<b>(5)</b>	<b>U-2750:</b> M2750-4 Nafta
<b>U-2100:</b> JET-A T-2102 ACPM T-2102 Nafta Virgen T-2102	<b>3)</b>	<b>U-2700</b> M2700-3 Nafta Pesada M2700-5 Aceite Liviano de Ciclo.

### 3.2 VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LAS CANTIDADES DE PRODUCTOS PERDIDOS POR LOS DRENAJES DE LAS FACILIDADES:

En las Tablas 3, 4, 5, 6, 7 y 8, se muestran los cálculos realizados en Excel para determinar los flujos de cada producto enviados a los drenajes durante los procedimientos de muestreo de las diferentes unidades.

Los datos de las tablas muestran las longitudes y los diámetros de las líneas utilizadas para el muestreo, determinadas en cada uno de los sistemas actuales, también incluyen la frecuencia de muestreo, de acuerdo a la programación de las plantas. Con estos datos se pudo determinar el flujo volumétrico anual enviado a los sistemas de aguas aceitosas.

**Tabla 3-**Flujo de productos perdidos en los drenajes U-250

<b>UNIDAD 250</b>			
<b>Producto</b>	<b>ACPM U-250</b>	<b>JET-A T-250</b>	<b>NAFTA VIRGEN</b>
D nominal (inch)	3/4	3/4	1/2
D interior (mm)	21	21	15,8
Longitud (m)	3,2	4	7,2
V muerto (m3)	0,001108356	0,001385446	0,001411684
V/ toma (barr)	0,006972111	0,008715139	0,008880193
Tomas/día	1	1	1
Barriles/día	0,006972111	0,008715139	0,008880193
Barriles/año	2,544820502	3,181025627	3,241270358

**Tabla4-**Flujo de productos perdidos en los drenajes U-2100.

<b>UNIDAD 2100</b>			
Producto	<b>ACPM T 2102A</b>	<b>JET-A T 2102</b>	<b>NAFTA VIRGEN T 2102</b>
D nominal (inch)	3/4	3/4	3/4
D interior (mm)	21	21	21
Longitud (m)	2,8	2,5	6,5
V muerto (m3)	0,000969812	0,000865904	0,002251349
V/ toma (barr)	0,006100597	0,005446962	0,0141621
Tomas/día	1	1	1
Barries/día	0,006100597	0,005446962	0,0141621
Barriles/año	2,226717939	1,988141017	5,169166645

En estas dos unidades el producto con mayor cantidad de drenajes es la nafta virgen, debido a la longitud y al diámetro de las líneas adaptadas.

**Tabla 5-**Flujo de productos perdidos en los drenajes U-150.

<b>UNIDAD 150</b>				
Producto	<b>ACPM</b>	<b>JET-A</b>	<b>NAFTA PESADA</b>	<b>NAFTA DEBUT</b>
D nominal (inch)	3/4	1/2	3/4	3/8
D interior (mm)	21	15,8	21	12,5
Longitud (m)	1,5	2,7	1,8	0,8
V muerto (m3)	0,000519542	0,000529382	0,000623451	0,000098175
V/ toma (barr)	0,003268177	0,003330072	0,003921812	0,000617569
Tomas/día	1	1	1	1
Barries/día	0,003268177	0,003330072	0,003921812	0,000617569
Barriles/año	1,19288461	1,215476384	1,431461532	0,225412814

En la unidad 150, la nafta pesada es el producto que tiene mayor impacto en los drenajes, el diámetro de la línea y su longitud son mayores que para los demás productos.

**Tabla 6-**Flujo de productos perdidos en los drenajes U-200.

<b>UNIDAD 200</b>						
Producto	<b>ACPM T-201</b>	<b>JET-A T-204</b>	<b>ACPM T-204</b>	<b>NAFTA VIRGEN T-204</b>	<b>JET-A T-201</b>	<b>NAFTA VIRGEN T-204</b>
D nominal (inch)	1/2	1	3/4	1/2	3/8	3/8
D interior (mm)	15,8	26,6	21	15,8	12,5	12,5
Longitud (m)	2,2	2,7	4,1	0,7	0,5	2,2
V muerto (m3)	0,000431348	0,001500438	0,001420082	0,000137247	6,13594E-05	0,000269981
V/ toma (barr)	0,002713392	0,009438495	0,008933017	0,000863352	0,000385981	0,001698316
Tomas/día	1	1	1	1	1	1
Barries/día	0,002713392	0,009438495	0,008933017	0,000863352	0,000385981	0,001698316
Barriles/año	0,990388165	4,075297765	3,260551268	0,315123507	0,140883009	0,619885238

**Tabla 7-**Flujo de productos perdidos en los drenajes U-2000.

Producto	UNIDAD 2000				
	ACPM T 2002A	JET-A T 2001	NAFTA LIVI T 2005	NAFTA DEBUT T 2004	NAFTA VIRGEN T 2000
D nominal (inch)	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4
D interior (mm)	21	21	21	21	21
Longitud (m)	4	7,8	5,2	5,2	4
V muerto (m3)	0,001385446	0,002701619	0,001801079	0,001801079	0,001385446
V/ toma (barr)	0,008715139	0,01699452	0,01132968	0,01132968	0,008715139
Tomas/día	1	1	1	1	1
Barriles/día	0,008715139	0,01699452	0,01132968	0,01132968	0,008715139
Barriles/año	3,181025627	6,202999974	4,135333316	4,135333316	3,181025627

En la unidad 200 y 2000 el producto que tiene mayor impacto es el Jet, en la U2000, el diámetro de las facilidades para todos los productos es el mismo, pero la longitud es mucho mayor, en la U200, es el diámetro de la tubería de muestreo lo que hace que los drenajes sean mayores.

**Tabla 8-**Flujo de productos perdidos en los drenajes U-2600/2650.

Producto	UNIDAD 2600		UNIDAD 2650		
	UCARSOL RICO	UCARSOL POBRE	ACPM/DMO CARGA	ACPM/DMO HIDROTR T-2653	DMOH/ACPM HIDROT
D nominal (inch)	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4
D interior (mm)	21	21	21	21	21
Longitud (m)	0,3	0,2	3,8	2,5	3,4
V muerto (m3)	0,000103908	6,92723E-05	0,001316173	0,000865904	0,001177629
V/ toma (barr)	0,000653635	0,000435757	0,008279382	0,005446962	0,007407868
Tomas/día	0	0	0	1	1
Tomas/semana	2	2	4	7	7
Barriles/día	0	0	0	0,005446962	0,007407868
barriles/semana	0,001307271	0,000871514	0,033117527	0,038128732	0,051855075
Barriles/año	0,067978082	0,045318721	1,722111408	1,988141017	2,703871783

En el área de fondos U2600/2650, el punto de muestreo con mayor impacto es el de DMOH/ACPM Hidrotratado, en la U2600, los únicos puntos de muestreo de líquidos existentes son los de UCARSOL™, sus volúmenes drenados son bastante pequeños comparados con los demás puntos del área.

Se evaluaron los drenajes de alrededor de 45 puntos de muestreo en las tres áreas mencionadas, y se obtuvo como resultado 170 Barriles/año de productos que son enviados a los sistemas de aguas aceitosas. Hay que tener presente que esto es solo una pequeña cantidad del total de puntos de muestreo existentes en

la refinera que no cuentan con sistemas cerrados. Con este resultado se puede concluir que los drenajes de los puntos de muestreo, tienen un impacto significativo en las cantidades de **slop** generado diariamente en la refinera.

Aunque el enfoque del proyecto no es econ6mico, sino ambiental, se quiso hacer un estimativo del impacto econ6mico por la p6rdida de productos en los drenajes, teniendo en cuenta solamente estos puntos mencionados, la p6rdida anual es de aproximadamente \$32.000.000, si se extrapolara este c6lculo a todos los puntos de muestreo existentes en la refinera, esta cantidad se aumentaria por lo menos en una cifra, esta cantidad no es tan significativa para una empresa tan grande como Ecopetrol, pero de todas maneras es una p6rdida que existe y podria ser anulada con el uso de sistemas cerrados.

La figura 9, presenta las cantidades de drenajes enviados a los sistemas de aguas aceitosas de los diferentes tipos de productos analizados.

**Figura 9.** Flujos de acuerdo al tipo de producto, enviados a los drenajes



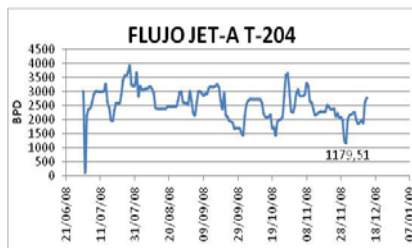
### 3.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE FLUJO DE LOS PRODUCTOS EN LOS PUNTOS DE TOMA SELECCIONADOS:

De la consulta a trav6s de los sistemas de informaci3n, se obtuvieron valores de condiciones de flujo en los puntos seleccionados para la extracci3n de las muestras en un periodo de 6 meses, con estos datos se elaboraron graficas de flujo contra tiempo, tambi6n se encontraron datos de temperaturas, grados API y viscosidades de los distintos productos. Con estos datos, se determin3 el flujo

mínimo de producto que se puede presentar en un caso dado de carga mínima a las unidades, así como viscosidad y densidad mínima para cada uno de los productos. Así se pudo determinar el régimen para la peor condición que podría reducir la turbulencia.

Las figuras 10 y 11 son de flujo contra tiempo para dos de los productos analizados, en ellas se puede observar lo valores mínimos que se obtuvieron en este periodo de tiempo, los valores cero no se tuvieron en cuenta ya que corresponden a días de apagada de planta por algún problema operacional, o algún problema con el elemento de medición.

**Figura 10.** Grafica de Flujo contra tiempo para el JET-A T-204



**Figura 11.** Grafica de Flujo contra tiempo para Nafta virgen T-2000



En el anexo B, se muestran las demás graficas de flujo contra tiempo para los productos de interés.

### 3.4 CÁLCULO DEL RÉGIMEN DE FLUJO Y DE LAS CONDICIONES DE MEZCLADO DE LOS PRODUCTOS PARA VERIFICAR LA CONVENIENCIA DE LOS PUNTOS DE EXTRACCIÓN SELECCIONADOS.

Con los datos de condiciones de flujo y diámetros de las líneas, se calculó el régimen de flujo para un escenario en que se tenga menor carga en las unidades y de esta manera asegurar que se va a tener siempre un flujo en régimen turbulento para la extracción de las muestras.

En la tabla 9, se muestra el resultado de los cálculos del número de Reynolds de acuerdo a las condiciones de cada punto.

**Tabla 9-** Velocidades y Regímenes de Flujo para los puntos seleccionados

PRODUCTO	Q (BPH)	DN (inch)	API	u (cp) @ T	Reynolds
<b>U-150</b>					
JET-A de T-151A	43,542	3	42	1,36	18831,6179
ACPM de T-151B	129,94	3	32	1,1	73730,3728
Nafta de D-150	23,333	2	65	0,32	59959,4416
Nafta liviana de T- 152	59,366	2	65	0,3	162721,93
Nafta Debutanizada U-170.	333,33	4	62	0,35	382483,345
<b>U-200</b>					
ACPM de T-201	270,83	3	30	3,5	48897,034
ACPM de T-204	125	2	30	1,5	83375,7119
JET-A de T-201	114,66	2	40	0,15	720207,72
JET-A de T-204	49,125	2	40	0,15	308560,626
Nafta virgen de T-201.	65,294	2	65	0,35	153403,172
Nafta virgen de T-204.	24,564	2	65	0,3	67329,3136
<b>U-250</b>					
JET-A de T-251,	66,667	3	40	0,4	99175,7739
ACPM pesado de T-253	75	3	28	2,8	17138,1333
Nafta debutanizada D-150	166,67	3	65	0,1	865579,909
Nafta Virgen / Nafta Exceso	41,667	2	65	0,1	342625,381
ACPM de T-250	166,67	3	30	2,5	42126,6755
<b>U-2000</b>					
JET-A de T-2001A	172,71	3	40	1,462	70294,7303
ACPM de T-2002A	375	3	30	5,32	44541,8326
Nafta Virgen de T-2000	162,6	3	65	0,354	238541,842
Nafta Debutanizada T-2004	104,17	3	65	0,225	240438,864
Nafta liviana T-2005.	83,333	3	65	0,2	216394,977
<b>U-2100</b>					
JET-A T-2102,	120,83	3	40	1,46	49248,2439
ACPM T-2102	104,17	2	30	5,32	19590,1579
Nafta Virgen T-2102	91,667	3	65	0,354	134482,754
<b>U-2600-HIDRÓGENO:</b>					
UCARSOL Rico,	291,67	8	16	0,8	96941,4414
UCARSOL Pobre.	270,83	8	15	0,7	103578,861
<b>U-2650-UNIBON:</b>					
DMO/ ACPM carga D-2652	208,33	10	29	2,2	18430,2696

ACPM/DMOH T-2653,	250	8	29	1,9	32152,5967
ACPM/ DMOH T-2653.	270,83	3	29	1,8	95669,9497
U-2700					
A L C T-2701	70,833	2	21	1,8774	39976,4615
NAFTA PESADA T-2703	34,583	3	56	0,5	37645,8014

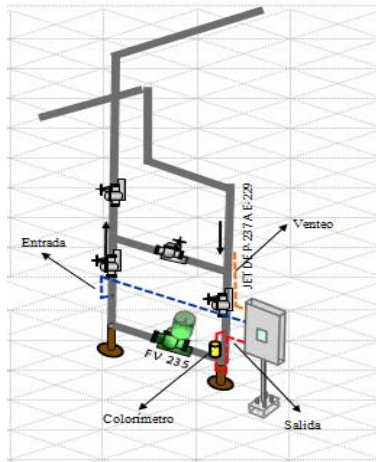
En todos los puntos seleccionados para la extracción de la muestra, el régimen de flujo es turbulento para el peor de los casos, es decir, cuando la carga a las unidades y las otras propiedades de los fluidos de interés para el cálculo del número de Reynolds, son mínimas.

3.4.1 Calculo de las condiciones de mezclado para productos en tuberías en flujo horizontal: para los productos cuyo punto de extracción de muestra se encuentra en una sección de tubería horizontal, se determinó la velocidad de disipación de energía real y requerida, para facilitar los cálculos, se elaboró una macro en Excel, la cual utiliza las ecuaciones descritas en el segundo capítulo. En el anexo F se muestra un cálculo a manera de ejemplo de cómo utilizar la macro elaborada.

### **3.5 REALIZACIÓN DE LOS DIAGRAMAS ISOMÉTRICOS CON LA PROPUESTA DE INTERCONEXIÓN Y RECOMENDACIONES TÉCNICAS ESPECÍFICAS PARA CADA UNO DE LOS SISTEMAS:**

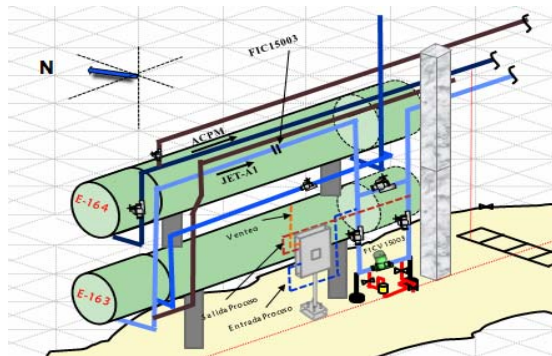
Los puntos se clasificaron en tres clases: Los que necesitan enfriamiento (Productos a altas temperaturas, que necesitan ser enfriados para tomar las muestras); Los que necesitan calentamiento (productos que tienden a solidificar a temperaturas bajas) y Los que no necesitan acondicionamiento especial, ya que la temperatura de flujo es cercana a la temperatura ambiente. Las Figuras 12 y 13, son los diagramas isométricos realizados para dos de los puntos seleccionados, en ellos se representa la propuesta de ubicación de los puntos de extracción y las conexiones de entrada y salida de las muestras por el sistema, con su respectiva descripción.

**Figura 12.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras JET T-204.



Se recomienda que el punto de toma y recirculación hacia la línea de producto esté ubicado en un sitio diferente al que se utiliza actualmente, de esta manera se puede tener un punto de toma (alta presión) y uno de retorno (baja presión). El punto de toma recomendado se encuentra en el cuadro de control donde se encuentra la FV-235. Las conexiones deben realizarse según se muestra en la figura 12. Es necesario la implementación de un sistema de enfriamiento de la muestra ya que la temperatura en este punto es alta (300F) para ser tomada directamente.

**Figura. 13** Esquema de conexión del nuevo toma muestra de ACPM T150.



El punto de toma debe ser ubicado en la línea proveniente del E164 como está indicado en la figura, en esta ubicación el régimen de flujo es turbulento. Las conexiones del colorímetro ubicado en esta misma zona, continúan de la misma

manera que se encuentran actualmente, el gabinete del toma muestra debe ser ubicado en la parte posterior al cuadro del control debido al espacio físico disponible y debe estar a una altura adecuada para que los operadores realicen el procedimiento sin dificultad.

En el anexo A se describe la propuesta para la ubicación de los puntos de extracción y de interconexiones, además se encuentran las recomendaciones generales y específicas para cada punto particular. En estos no se muestra el detalle de las sondas, pero se debe tener presente que su instalación es requisito indispensable.

## CONCLUSIONES

La implementación de sistemas de muestreo cerrados tendría un impacto significativo en la disminución de las cantidades de residuos aceitosos (**slop**) generados diariamente por la refinería (cerca del 7%), lo cual ayuda al cumplimiento de las metas de la compañía en la parte ambiental. Adicionalmente, se descongestionarían los saturados sistemas de tratamiento de aguas aceitosas, permitiendo mejorar la calidad del agua que es retornada hacia el río Magdalena, luego de haber sido utilizada en los distintos procesos.

La mayoría de los puntos de muestreo adaptados, que se utilizan actualmente para los diferentes productos no son adecuados para obtener muestras representativas, y no cumplen con las recomendaciones mínimas de las normas, como el uso de sondas de extracción de muestras y localización de los puntos de toma.

Los sistemas de muestreo cerrados reducen la exposición de los operadores a los distintos riesgos por contacto con los productos, disminuyen las emisiones al ambiente y evitan el drenaje de productos hacia el sistema de aguas aceitosas contribuyendo con uno de los aspectos más importantes actualmente en la refinería, el HSE (**Health, Safety and Environment**).

## RECOMENDACIONES

Continuar con la implementación de estos sistemas en todas las áreas de la refinería, lo cual traería grandes beneficios para el mejoramiento de los procedimientos de muestreo además de los beneficios ambientales y de seguridad para el personal de operaciones.

Se debe buscar el apoyo del ingeniero de equipo estático de cada una de las unidades, para que de su aprobación en cuanto a los trazados en las tuberías de interconexión y materiales, para la instalación de los sistemas de toma muestras.

Utilización del programa realizado para el cálculo de las condiciones de mezclado en los casos que los puntos de extracción productos estén en una sección horizontal de la tubería, y contengan agua libre y sedimentos

## BIBLIOGRAFIA

[1] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS: Standard practice for manual sampling of petroleum and petroleum products. Pennsylvania: ASTM, 2006. (ASTM D 4057)

[2] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE: Manual of petroleum measurement standards. Chapter 8, Sampling. Section 2, standard practice for automatic sampling of liquid petroleum and petroleum products. Washington D.C.: API, 2005. (API MPMS 8.2 Annex B)

[3] [Online]. <http://www.dopak.com/s-dopak.html>.

[4] [Online].[http://www.jiskoot.com/Sampling/Teach\\_Me/Teach\\_Me.html](http://www.jiskoot.com/Sampling/Teach_Me/Teach_Me.html).

[5] ECOPETROL-Gerencia Refinería Barrancabermeja. Vicepresidencia de suministro y mercadeo, Gerencia de planeación y suministro: Manual único de medición. Capítulo 8., Muestreo y sus condiciones. (ECP-VSM-001-08)

[6][Online].[http://www.ecopetrol.com.co/documentos/37936\\_TarjetaEmergenciaACPM.pdf](http://www.ecopetrol.com.co/documentos/37936_TarjetaEmergenciaACPM.pdf)

[7] [Online]

[http://www.ecopetrol.com.co/documentos/37945\\_TarjetaEmergenciaJETA1.pdf](http://www.ecopetrol.com.co/documentos/37945_TarjetaEmergenciaJETA1.pdf)

## ANEXOS

### **ANEXO A DIAGRAMAS ISOMETRICOS Y RECOMENDACIONES TECNICAS ESPECÍFICAS PARA CADA SISTEMA.**

En su mayoría, se decidió ubicar estos puntos en los cuadros de control de los productos, los cuales poseen elementos de medición y además, las válvulas de control presentes, proporcionan la caída de presión necesaria entre el punto de entrada y retorno de las muestras hacia el toma muestra, que permiten mantener la circulación continua de los mismos.

Conocidas las condiciones de flujo, se determinaron para cada punto los requerimientos específicos, en general se clasificaron los puntos en tres clases: Los que necesitan enfriamiento (Productos a altas temperaturas, que necesitan ser enfriados para tomar las muestras); Los que necesitan calentamiento (productos que tienden a solidificar a temperaturas bajas) y Los que no necesitan acondicionamiento especial, ya que la temperatura de flujo es cercana a la temperatura ambiente.

#### **PRODUCTOS A TEMPERATURA BAJA (85-120 °F).**

Las conexiones de la tubería hacia el toma muestras deben ser de  $\frac{3}{4}$ " y en el Acero al carbón hasta las bridas del toma muestras, de ahí en adelante se deben utilizar reducciones para trabajar con el tamaño de las conexiones del toma muestra que son de acero inoxidable.

Se recomienda que instalar los sistemas de toma muestras para productos a temperatura ambiente elaborados por la empresa nacional IMC, estos se encuentran catalogados en *ELLIPSE*.

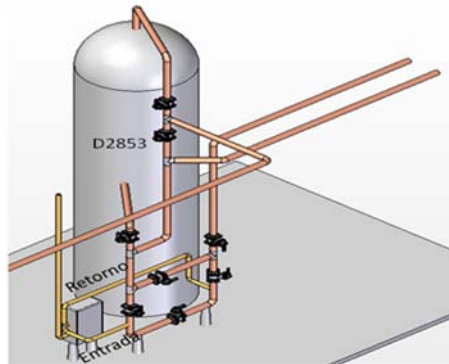
Los siguientes diagramas isométricos muestran los esquemas de conexión de los nuevo toma muestras (sin el detalle de las sondas que son requisito de la norma ASTM D 4057). Se recomienda fabricar la sonda de extracción de la muestra, utilizando uno de los diseños base que se muestran en las figuras 3a/b/c.

Los diseños deben ser revisados y avalados por el ingeniero estático de la planta.

#### **UNIDAD 2850 MEROX CRACKING UOP I**

- **TOMA MUESTRA 2850-3 NAFTA**

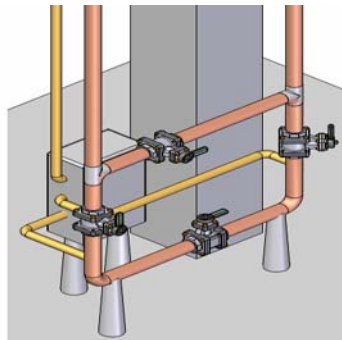
**Figura A1.** Esquema de conexión del nuevo toma muestra Nafta.



### UNIDAD 2750 URV-UOPI

- TOMA MUESTRA 2750-4 Nafta

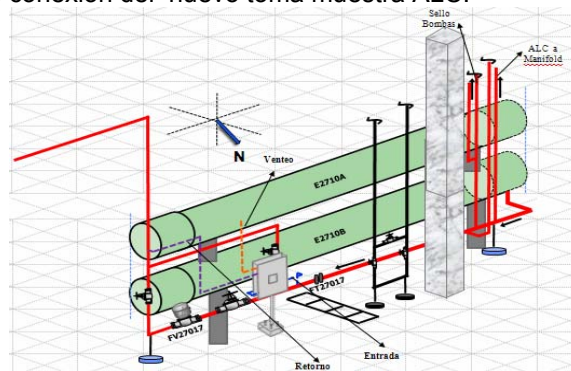
**Figura A2.** Esquema de conexión del nuevo toma muestra Nafta.



### UNIDAD 2700 UOPI

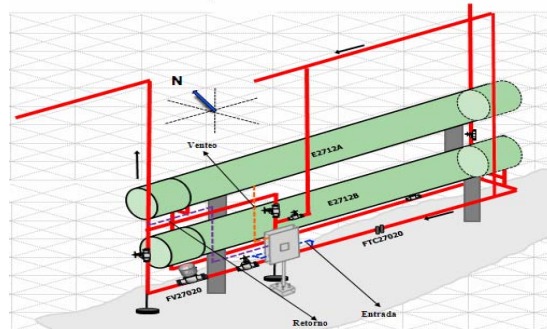
- TOMA MUESTRA 2700-5 ALC

**Figura A3.** Esquema de conexión del nuevo toma muestra ALC.



- **TOMA MUESTRA 2700-3 Nafta Pesada**

**Figura A4.** Esquema de conexión del nuevo toma muestra Nafta.

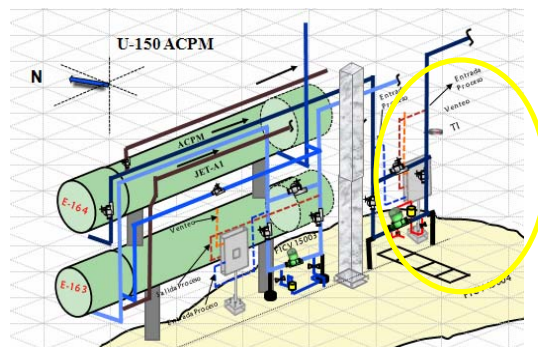


**UNIDAD 150**

➤ **ACPM**

Las conexiones se realizarán de la siguiente manera:

**Figura A5.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras ACPM.



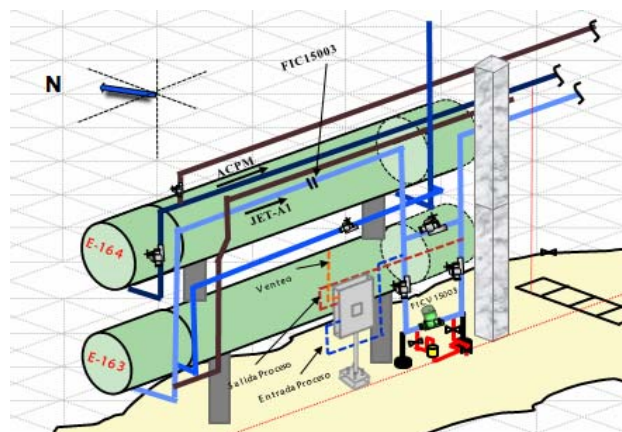
El punto de toma deberá ser ubicado en la línea proveniente del E164 como está indicado en la figura, en esta ubicación el régimen de flujo es turbulento, además el producto se encuentra adecuadamente mezclado según cálculos planteados por la norma API MPMS 8.2. Las conexiones del colorímetro siguen de igual manera a como se encuentran actualmente, el gabinete del toma muestra debe ser ubicado en la parte posterior al cuadro del control debido al espacio físico disponible y

debe estar a una altura adecuada para que los operadores realicen el procedimiento sin ninguna dificultad.

### ➤ JET-A1

Se recomienda ubicar el punto de toma en la línea de producto proveniente del E163 cuando el flujo es descendente antes de pasar por la válvula ubicada en esa dirección tal como se muestra en la figura. En este punto se cumple con la condición de régimen de flujo y condiciones de mezclado dictado por las normas internacionales. Las conexiones del colorímetro se dejan como están funcionando actualmente, el gabinete con el toma muestras debe ser ubicado el lado izquierdo del cuadro de control donde hay espacio suficiente para su acomodación.

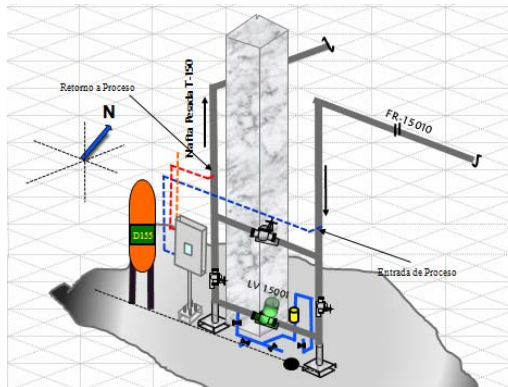
**Figura A6.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras JET.



### ➤ NAFTA PESADA

Las recomendaciones para las conexiones del nuevo toma muestra se muestran en la figura. Las conexiones del colorímetro continúan como están funcionando actualmente.

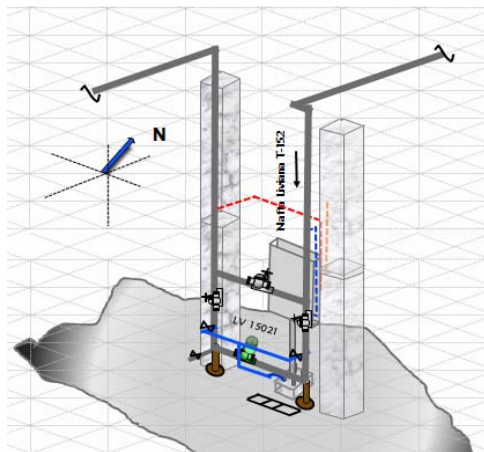
**Figura A7.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras Nafta Pesada.



➤ **NAFTA LIVIANA T-152**

Las recomendaciones para las conexiones del nuevo toma muestra se muestran en la figura. Se recomienda que la ubicación para el toma muestra con su respectivo gabinete se haga en la parte posterior del cuadro de control, se debe mover un poco el LI 15021 hacia la izquierda para poder acomodar el sistema en este espacio.

**Figura A8.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras Nafta Liviana.

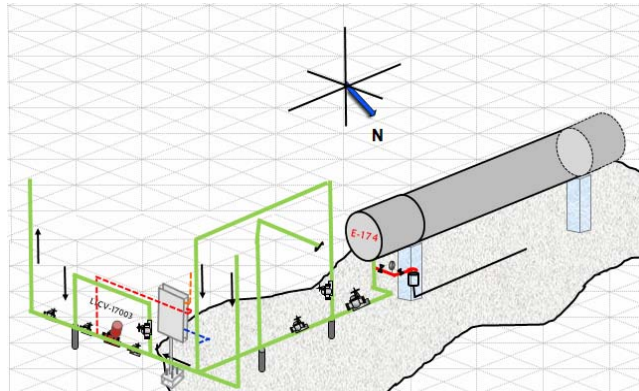


**NAFTA DEBUTANIZADA U-170**

Las recomendaciones para las conexiones del nuevo toma muestra se muestran en la figura. Se recomienda mover la ubicación de la toma hacia el cuadro de control conformado por el LICV 17003 y las demás válvulas según lo muestra la

figura, a fin de cumplir con las recomendaciones dadas por las normas internacionales en cuanto a la elección del punto adecuado para la toma de muestras en tuberías.

**Figura A9.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras Nafta Debutanizada.

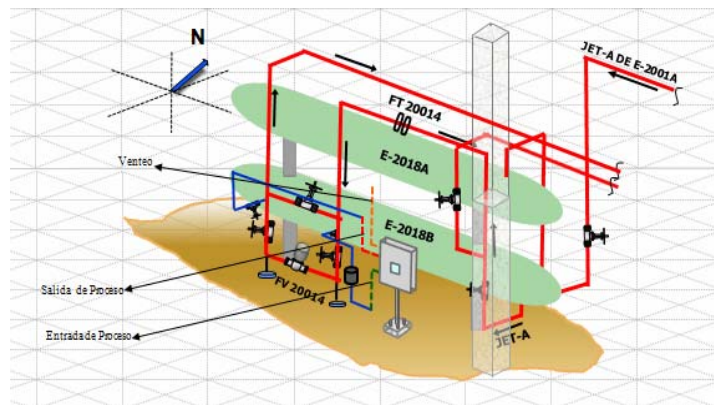


## UNIDAD TOPPING 2000

### ➤ JET-A1 T-2001

Se recomienda la ubicación del punto de toma de muestra de las líneas como se muestra en la figura, a la línea de entrada de muestra hacia el toma muestra se puede conectar el colorímetro.

**FiguraA10.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras Jet A1.

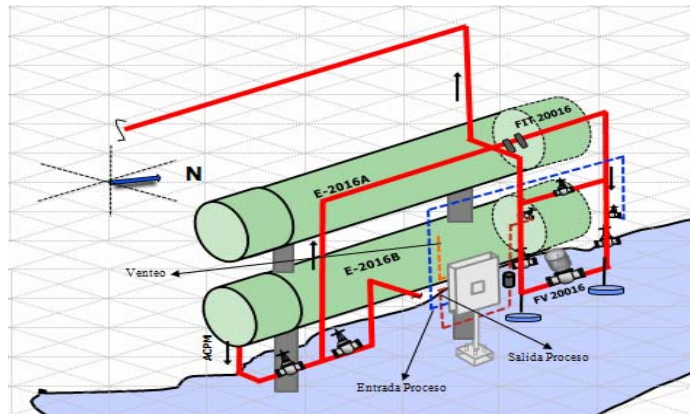


### ➤ ACPM T-2002A

Para la ubicación del nuevo toma muestra se recomienda la reorganización de la tubería de conexión hacia el colorímetro, el toma muestra se puede ubicar como

se muestra en la figura, la línea de entrada de muestra hacia el toma muestra se puede hacer pasar por el colorímetro, con el fin de distribuir mejor el espacio y las líneas de conexión. Esta ubicación para el toma muestra cumple con las condiciones de flujo y mezclado del producto según las normas internacionales para obtener una muestra representativa.

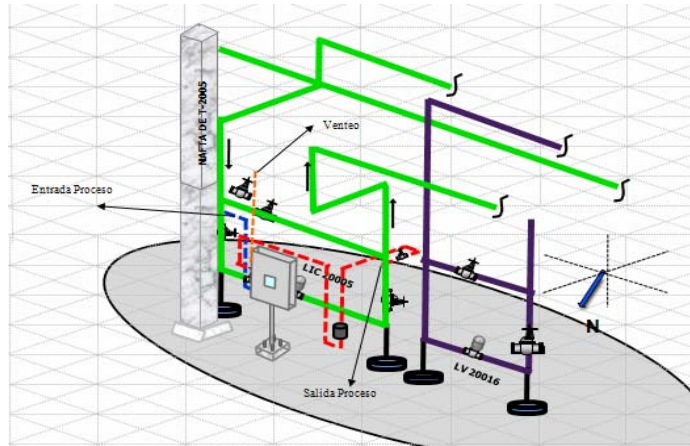
**Figura A11.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras ACPM.



#### ➤ **NAFTA LIVIANA DE T-2005**

Se recomienda la ubicación del toma muestra de la forma como se muestra en la figura, el colorímetro se puede conectar a la línea de muestra proveniente del toma muestras de manera que se puede reorganizar la tubería de conexión para tener espacio suficiente, es importante tener en cuenta que no se obstruya el espacio para realizar el mantenimiento de los instrumentos del cuadro de control. Esta ubicación para el toma muestra cumple con las condiciones de flujo y mezclado del producto según las normas internacionales para obtener una muestra representativa. El toma muestra debe estar ubicado a una altura que sea cómoda para el personal que realiza el procedimiento de toma de muestras.

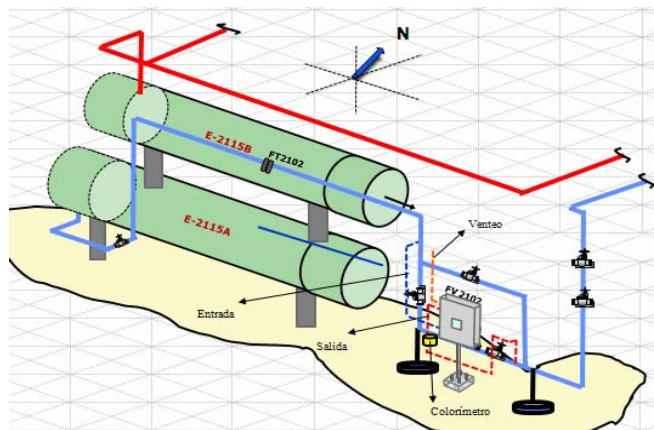
**Figura A12.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras Nafta Liviana T-2005.



➤ **ACPM DE T-2102**

El punto cumple con las condiciones de flujo y mezclado del producto según las normas internacionales para obtener una muestra representativa. Debe estar ubicado a una altura que sea cómoda para el personal que realiza el procedimiento de toma de muestras. Se recomienda que las conexiones hacia el nuevo toma muestras se realicen de la siguiente manera. El colorímetro se puede conectar a la línea de salida del toma muestras:

**Figura A13.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras ACPM T-2102.

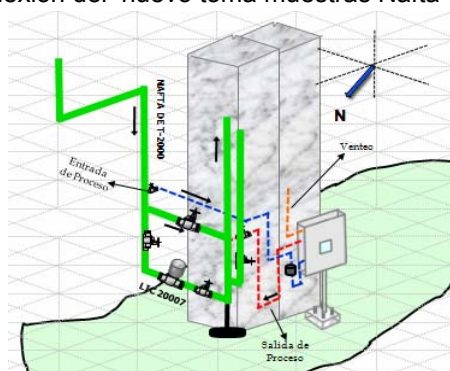


➤ **NAFTA VIRGEN DE T-2000**

Se recomienda la ubicación del toma muestra de la forma como se muestra en la figura, el colorímetro se puede conectar a la línea que viene de la tubería hacia el

toma muestras de manera que se puede reorganizar las conexiones para tener espacio suficiente, es importante tener en cuenta que no se obstruya el espacio para realizar el mantenimiento de los instrumentos del cuadro de control. Esta ubicación para el toma muestra cumple con las condiciones de flujo y mezclado del producto según las normas internacionales para obtener una muestra representativa. El toma muestra debe estar ubicado a una altura que sea cómoda para el personal que realiza el procedimiento de toma de muestras.

**Figura A14.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras Nafta T-2000.



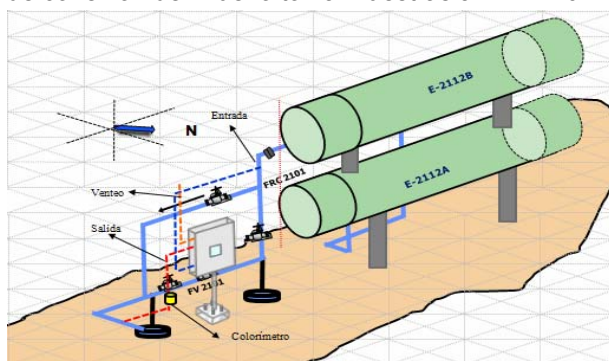
## UNIDAD TOPPING 2100



### JET-A1 DE T-2102

Se recomienda que las conexiones hacia el nuevo toma muestras se realicen de la siguiente manera. El colorímetro se puede conectar a la línea de salida del toma muestras:

**Figura A15.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras JET T-2102.





## NAFTA VIRGEN DE T-2102

Se debe buscar un punto en el cual se puedan realizar las conexiones y en el cual las condiciones de flujo en mezclado de producto en la tubería sean las adecuadas según las normas.

## UNIDAD TOPPING 200

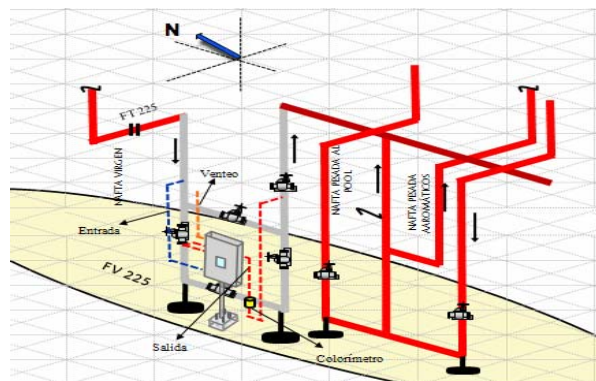


## NAFTA VIRGEN DE T-201

Esta ubicación seleccionada para el toma muestra cumple con las condiciones de flujo y mezclado del producto según las normas internacionales para obtener una muestra representativa. El toma muestra debe estar ubicado a una altura que sea cómoda para el personal que realiza el procedimiento de toma de muestras.

Se recomienda que las conexiones hacia el nuevo toma muestras se realicen de la siguiente manera. El colorímetro se puede conectar a la línea de salida del toma muestras:

**Figura A16.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras Nafta Virgen T-201.



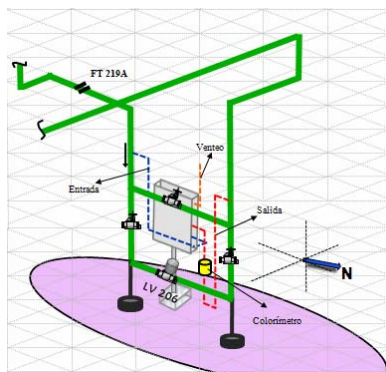
## NAFTA VIRGEN DE T-204

El espacio adecuado para la instalación del toma muestra y su respectivo gabinete puede ubicarse en la parte posterior del cuadro de control como se muestra en la figura, en la parte frontal existe una cuneta y además hay emisión constante de

vapor de una trampa, por lo cual si se coloca en esta posición el material del gabinete se vería expuesto a temperaturas elevadas y humedad constantemente.

Se recomienda que las conexiones hacia el nuevo toma muestras se realicen de la siguiente manera. El colorímetro se puede conectar a la línea de salida del toma muestras:

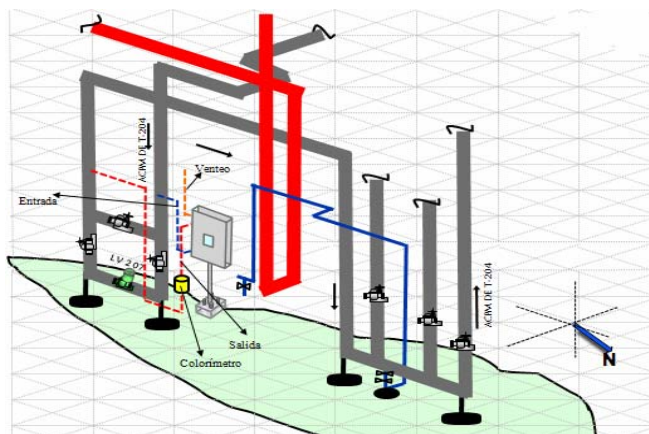
**Figura A17.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras Nafta Virgen T-204.



➤ **ACPM DE T-204**

Se recomienda que las conexiones hacia el nuevo toma muestras se realicen de la siguiente manera. El colorímetro se puede conectar a la línea de salida del toma muestras:

**Figura A18.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras ACPM.



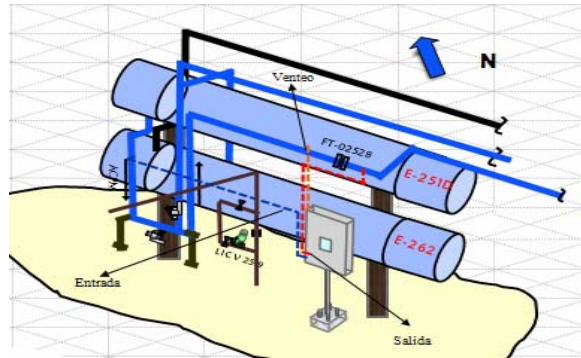
**UNIDAD TOPPING 250**



## ACPM DE T-250

Es necesario que la caída de presión entre el punto de toma de la muestra y el de retorno a la tubería sea de aproximadamente 2 psi para que haya circulación, para este punto seleccionado los codos y el medidor de flujo ayudan a cumplir este requerimiento.

**Figura A19.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras ACPM.

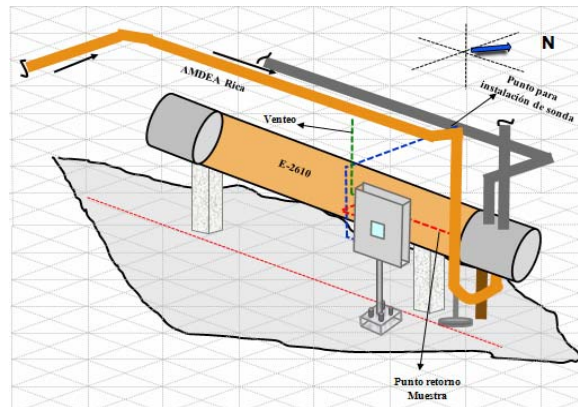


## HIDRÓGENO UNIDAD 2600

### ➤ UCARSOL RICO

La conexión de la sonda podría ubicarse en la línea de producto a la entrada al intercambiador de calor E-2610 y el punto para el retorno de la muestra se colocaría en la línea de salida, de donde actualmente se toma la muestra.

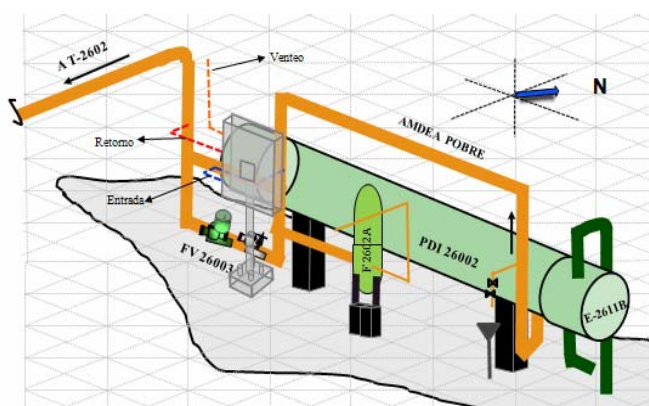
**Figura A20.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras Ucarsol Rico.



### ➤ UCARSOL POBRE

Se recomienda hacer la instalación de la sonda para la toma de la muestra en un punto antes de la válvula FV26003 en sentido de flujo descendente, y el punto de retorno después de la válvula donde existe una menor presión para que de esta manera se permita la circulación continua de la muestra.

**Figura A21.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras Ucarsol Pobre.



### PRODUCTOS A TEMPERATURA ALTA (>160 °F).

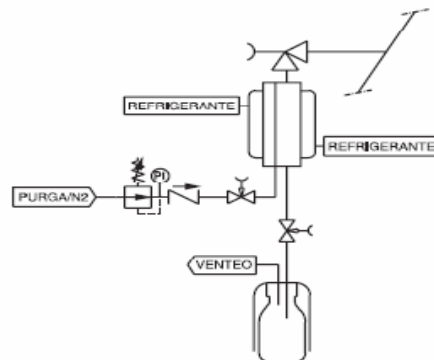
Se solicita adecuar las facilidades e instalar toma muestras para líquidos con su respectivo gabinete tal como muestra la figura, el sistema seleccionado es el Toma muestras de proceso DOPAK® tipo DPJ configuración de volumen fijo, encamisado. El refrigerante a utilizar es agua.

Las conexiones de la tubería hacia el toma muestras deben ser de  $\frac{3}{4}$ " y en el material recomendado por el ingeniero de estático (Acero al carbón) hasta las bridas del toma muestras, de ahí en adelante se deben utilizar reducciones en caso de ser necesario para trabajar con el tamaño de las conexiones del toma muestra que son de acero inoxidable.

En el caso de los puntos de muestreo en el área de fondos, la unidad 2650 UNIBON realiza dos diferentes tipos de corridas, una con ACPM y otra con DMO (Se Utilizan los mismos sistemas de toma muestras), cuando se está haciendo la corrida con DMO es necesario que las líneas de interconexión tengan un sistema de calentamiento (**Heat Tracing**) para mantenerlos a una temperatura elevada (250-300 °F) y así evitar su tendencia a la solidificación a bajas temperaturas, lo cual ocasionaría un taponamiento de las líneas de entrada y salida del toma muestras. Durante la realización de esta corrida se debe detener el flujo de refrigerante por la chaqueta del sistema de muestreo y en vez de eso usar un fluido de calentamiento como vapor.

También es necesario la adecuación de facilidades en la planta para tener una entrada de nitrógeno hacia el toma muestra ya que este permite realizar una purga a las líneas antes de tomar las muestras.

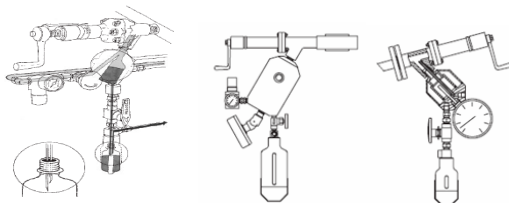
**Figura A23.** P& ID Típico toma-muestras para productos líquidos fluidos a temperatura ambiente, que requieren enfriamiento de la muestra para la toma [3].



Este sistema tiene capacidad de proporcionar un adaptador de purga, para la válvula de muestreo de tipo pistón, asegura la obtención óptima de una muestra representativa y sin contaminación. El toma muestras tipo DPJ en configuración de volumen fijo encamisado, permite la purga de la salida de muestras para eliminar el volumen muerto además de un volumen de muestra fijo a la temperatura requerida. No se requiere un enfriador separado. El adaptador de purga tiene dos rutas de flujo. La primera permite que el producto fluya hacia la botella de

muestras y la segunda, permite que se purgue el adaptador de purga con gas inerte.

**Figura A24.** Esquemas de los toma muestras y accesorios recomendados a instala [3].



### **Especificaciones básicas:**

**Material** SS316, SS316L.

**Tipo de protector:** Protector de 60cc con retén de botella.

**Racor de agujas:** Racor de agujas VTO de una sola pieza con venteo hacia la conexión de 1/4" NPT-H. ID de aguja de proceso/venteo: 1,35 mm.

**Cámara de muestras** 50cc.

**Válvula:** Válvula de pistón, asientos PTFE. Rango de presiones ANSI B16.34. Rango de temperaturas -29/+232°C (-20/+450°F).

**Operación:** Manual

**Conexiones:** Proceso: de 3/4" NPT-M. Venteo: de 1/4" NPT-H. Purgado: de 1/4" NPT-H, válvula de aguja, regulador, manómetro y válvula de antirretorno incluidos.

### **UNIDAD TOPPING 2000**

#### **➤ NAFTA DEBUTANIZADA DE T-2004**

Se recomienda mover la ubicación del punto de toma de muestras de manera que la toma se realice antes de la válvula del cuadro de control ubicado a la entrada del intercambiador enfriador E-2014D y la recirculación hacia la línea sea después de esta válvula con lo cual se tiene la caída de presión necesaria, se recomienda este punto ya que se cumple con las condiciones de flujo y mezclado del producto además de otras recomendaciones según las normas internacionales para obtener

una muestra representativa. Es necesario entonces la adecuación de un sistema de enfriamiento de la muestra ya que en este punto la temperatura es elevada para tomarla directamente (170 °F).

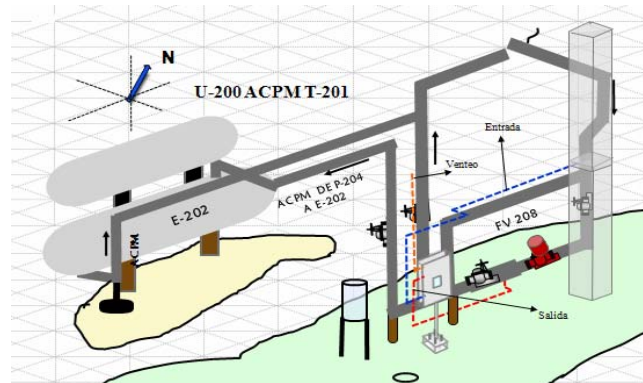
## UNIDAD TOPPING 200



### ACPM DE T-201

Esta ubicación seleccionada para el toma muestra cumple con las condiciones de flujo y mezclado del producto según las normas internacionales para obtener una muestra representativa. El toma muestra debe estar ubicado a una altura que sea cómoda para el personal que realiza el procedimiento de toma de muestras.

**Figura A25.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras ACPM T-201.

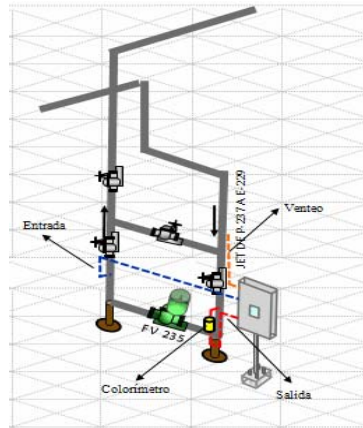


### JET-A DE T-204

Se recomienda que el punto de toma y recirculación hacia la línea de producto esté ubicado en un sitio diferente al cual se hace actualmente, de esta manera se puede tener un punto de toma (alta presión) y uno de retorno (baja presión). El punto de toma recomendado se encuentra en el cuadro de control donde se encuentra la FV-235, según se muestra en la figura A26, las conexiones pueden realizarse de esta manera.

Es necesario la implementación de un sistema de enfriamiento de la muestra ya que la temperatura en este punto es alta (300F) para ser tomada directamente.

**Figura A26.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras JET T-204.

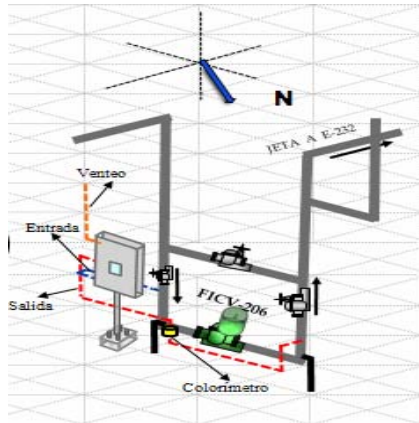


**JET-A DE T-201**

Para la ubicación del nuevo toma muestra, se recomienda que el punto de toma y recirculación hacia la línea de producto esté ubicado en un sitio diferente al cual se hace actualmente, de esta manera se puede tener un punto de toma (alta presión) y uno de retorno (baja presión). El punto de toma recomendado se encuentra en el cuadro de control que se encuentra justo antes de la entrada de producto al E-232 donde se encuentra el FICV-206, según se muestra en la figura A27, las conexiones pueden realizarse de esta manera.

Es necesario la implementación de un sistema de enfriamiento de la muestra ya que la temperatura en este punto es alta (350 °F) para ser tomada directamente.

**Figura A27.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras JET T-201.



## UNIDAD TOPPING 250

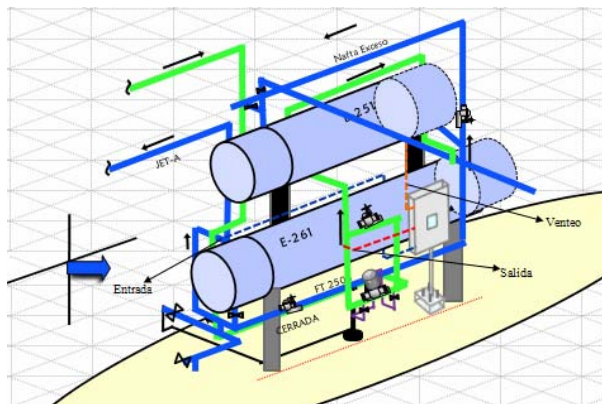


## JET-A DE T-250

Se recomienda cambiar el punto de toma de la muestra ya que el que se usa actualmente no cumple con las condiciones requeridas según las normas, el punto de toma quedaría ubicado en la línea de producto antes de pasar por la válvula de control FV-2506 y el punto de retorno quedaría después de la válvula tal como se muestra en la figura a continuación. Es necesario adecuar un sistema de enfriamiento de la muestra ya que la temperatura en el punto de toma es alta (entre 250-300 °F).

El gabinete del toma muestras sería al lado derecho del cuadro de control, las conexiones del colorímetro quedarían tal y como están funcionando actualmente.

**Figura A28.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras ACPM.





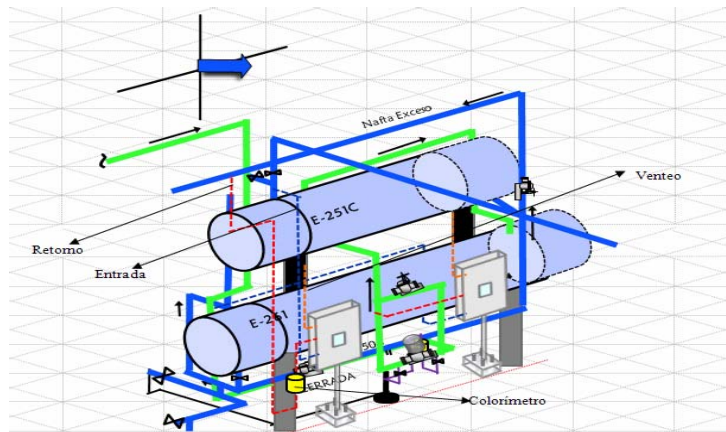
## NAFTA EXCESO/ NAFTA

### VIRGEN

Se recomienda hacer las conexiones para entrada y retorno de la muestra hacia el toma muestra como se muestra en el diagrama mostrado a continuación. En la línea de salida del toma muestra, se puede conectar el colorímetro.

El toma muestra quedaría ubicado al lado izquierdo del cuadro de control. La temperatura en el punto de entrada antes de entrar al intercambiador es de aproximadamente 200 °F por lo cual requiere un sistema de enfriamiento. Es deseable esta ubicación para que la línea de entrada al toma muestra quede lo más cercana posible a la tubería que transporta el producto.

**Figura A29.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras Nafta Exceso/Nafta Virgen.

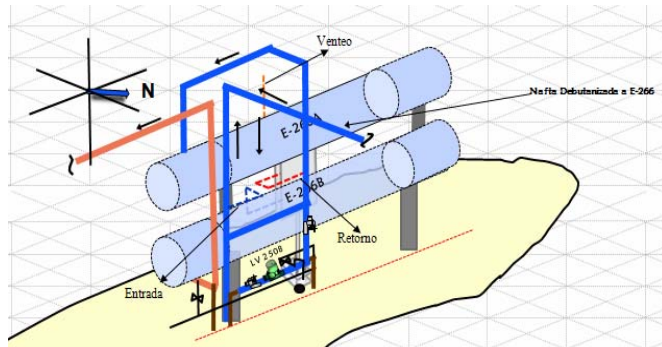


## NAFTA DEBUTANIZADA

Se recomienda ubicar el punto de toma de muestras en el cuadro de control antes de la válvula de nivel LV-2508 y el punto de retorno después de ésta, se requiere un sistema de enfriamiento de la muestra ya que la temperatura en el punto de toma es de aproximadamente 300 °F.

El gabinete debe ser ubicado en la parte posterior de los intercambiadores E-266 ya que en el lado frontal no hay espacio suficiente.

**Figura A30.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras Nafta Exceso/Nafta Virgen.

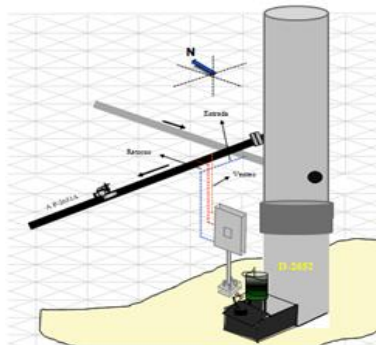


## UNIBON UNIDAD 2650

### ➤ M2650-1. ACPM/DMO Carga D-2652.

Se debe definir el punto para la conexión del toma muestra de tal manera que se tenga una diferencia de presión entre el punto de entrada y retorno de la muestra a la línea de 2 Psi aproximadamente. Una opción sería que el punto de toma estuviera ubicado en la línea de entrada al D-2651 y en la línea de salida se hiciera la conexión para el retorno.

**Figura A31.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras ACPM/DMO Carga D2652.

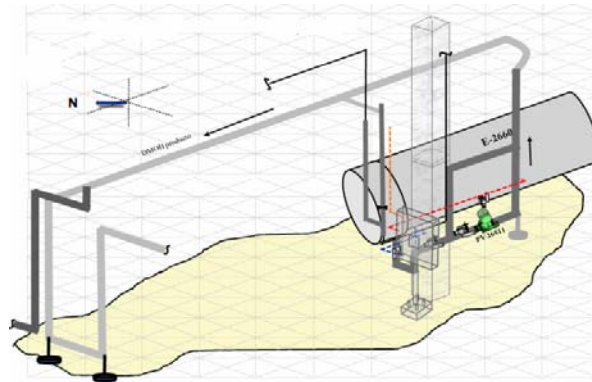


### ➤ M2650-5. DMOH Producto/ACPM Hidrotratado Mezcla.

Se recomienda que la ubicación para el toma muestra sea cerca a la ubicación actual, tal como se muestra en la figura a continuación. Cuando se está haciendo corrida de la planta con DMOH, en vez de enfriamiento, se debe agregar a la

chaqueta un fluido para mantener la temperatura alta y evitar taponamiento de las líneas ya que a temperaturas bajas el DMOH tiene tendencia a solidificar.

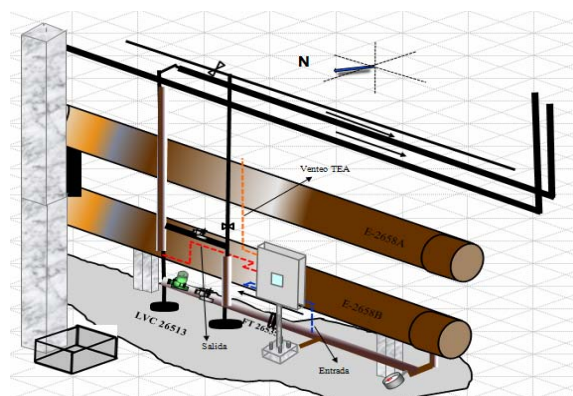
**Figura A32.** Esquema de conexión del nuevo toma muestras DMOH Producto/ ACPM Hidrotratado.



✓ **M-2650-6. ACPM/DMO Hidrotratado T-2653.**

Se recomienda que las conexiones para los toma muestras se hagan como se muestra en el diagrama a continuación, cuando la planta esté en corrida con DMO, se debe agregar a la chaqueta un fluido de calentamiento para mantener alta la temperatura y evitar taponamientos en las líneas, cuando la corrida es con ACPM, se debe agregar un fluido (agua) para enfriar la muestra antes de ser llevada a las botellas.

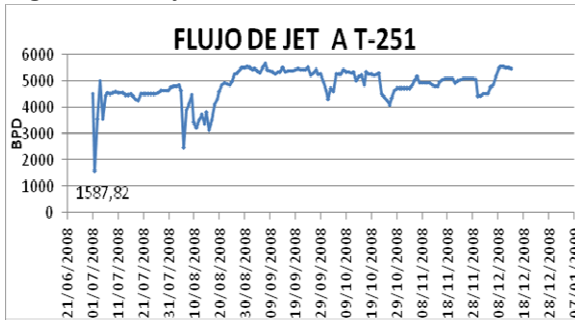
**Figura. A33** Esquema de conexión del nuevo toma muestras DMOH Producto/ ACPM Hidrotratado.



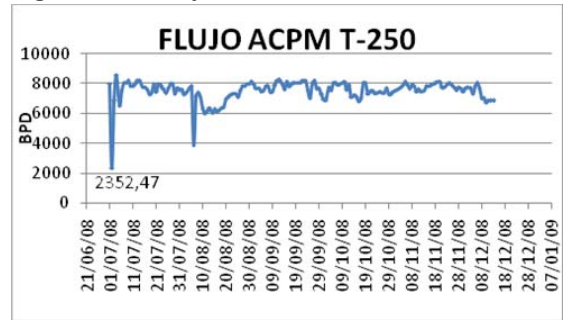
## ANEXO B. GRAFICAS DE FLUJOS HISTORICOS DE PRODCUTOS

Estas graficas fueron elaboradas con los datos históricos de flujos de las unidades que se obtuvieron mediante la herramienta PI (Plant Information) que se encuentra acoplada a Excel y que permite de manera rápida conseguir datos almacenados de los diferentes elementos de medición ubicados en las plantas.

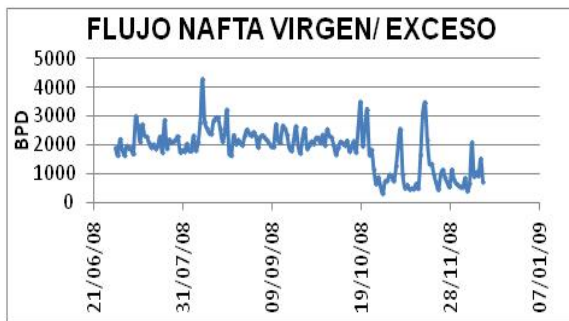
**Figura B1.** Flujo JET A T251



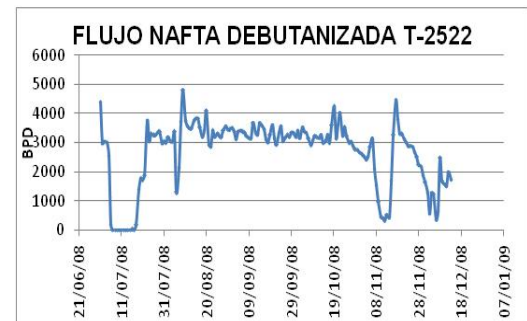
**Figura. B2.** .Flujo ACPM T250



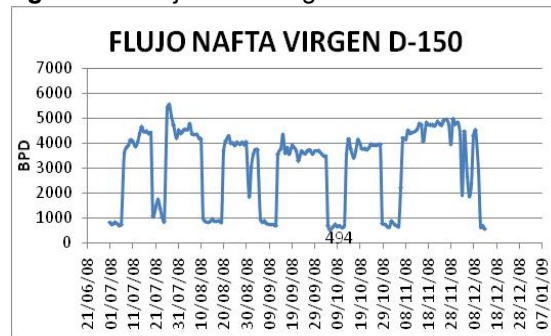
**Figura B3.**Flujo Nafta Virgen/ Nafta Exceso



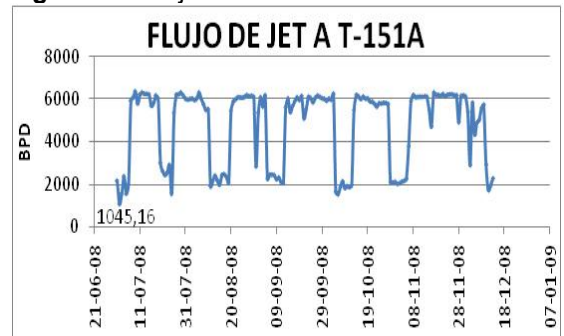
**Figura B4.** Flujo Nafta debutanizada T 252.



**Figura B5.** Flujo Nafta Virgen D-150.



**Figura B6.** Flujo JET A T-151A.



**Figura B7.** Flujo ACPM T-151B.

**Figura B8.** Flujo Nafta debutanizada T-171.

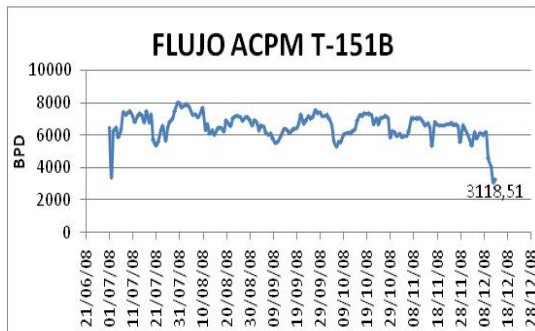


Figura B9. Flujo Nafta Liviana T-152.

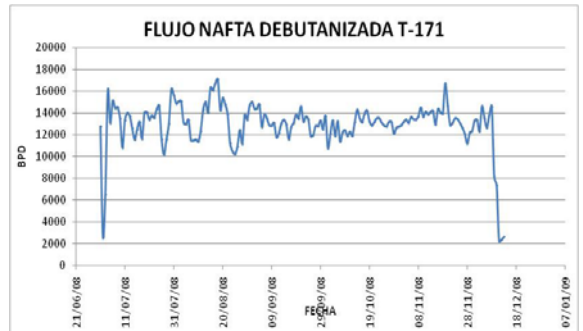


Figura B10. Flujo Nafta Virgen T-201.

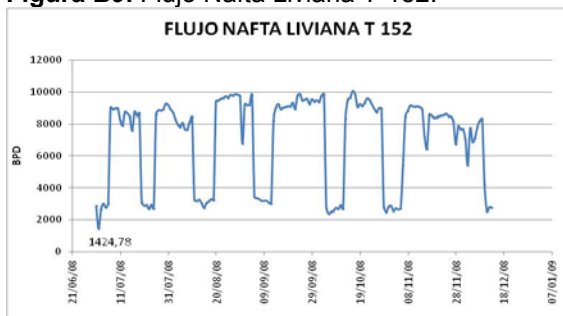


Figura B10. Flujo nafta virgen T-204

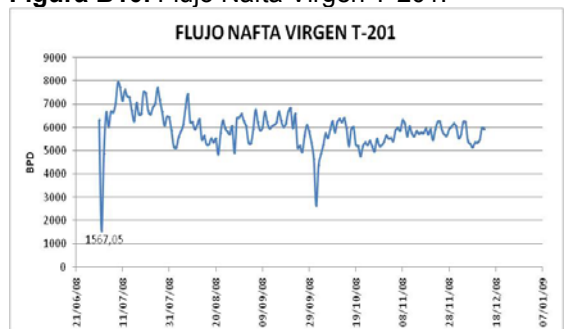


Figura B11. Flujo JET-A T-204

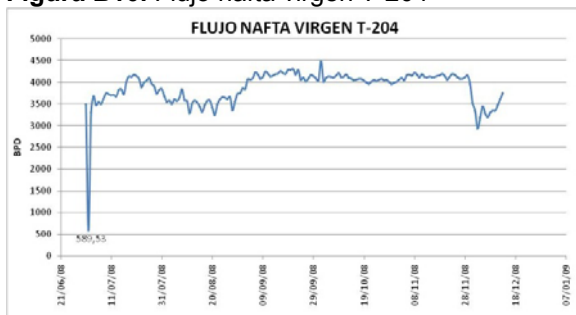


Figura B12. Flujo JET-A T-201

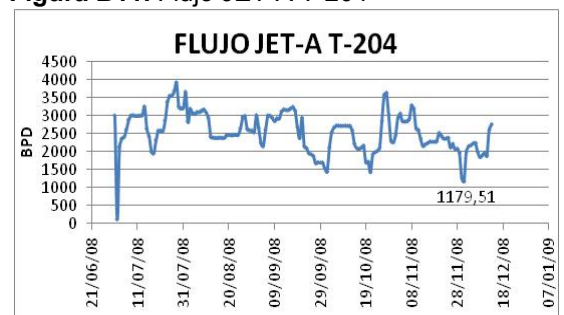


Figura B13. Flujo ACPM T-201

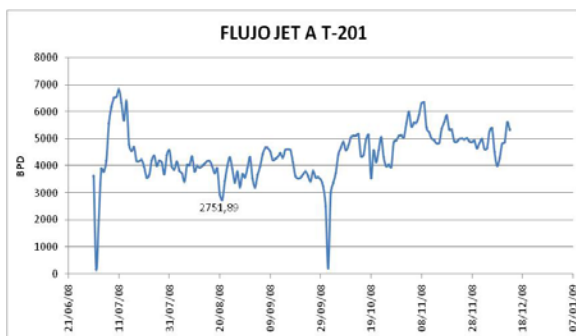


Figura B14. Flujo ACPM T-204

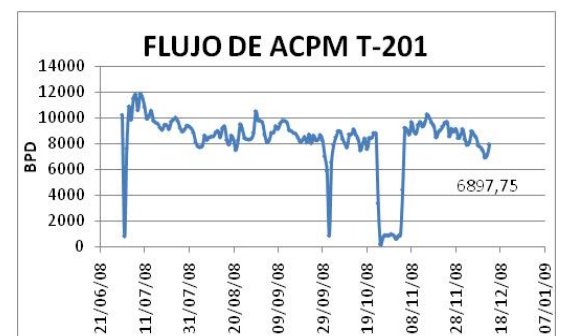


Figura B15. Flujo JET T 2001A

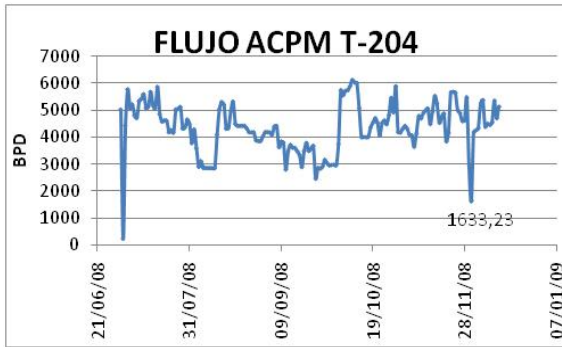


Figura B16. Flujo ACPM T 2002A

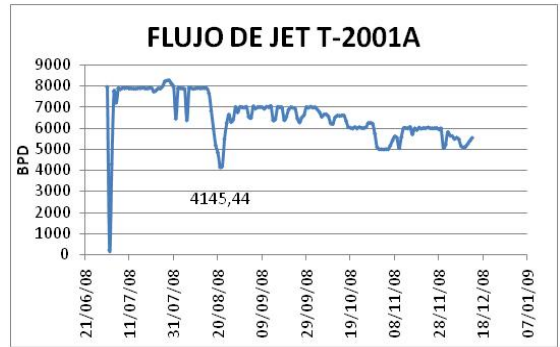


Figura B17. Flujo Nafta debutanizada T 2004

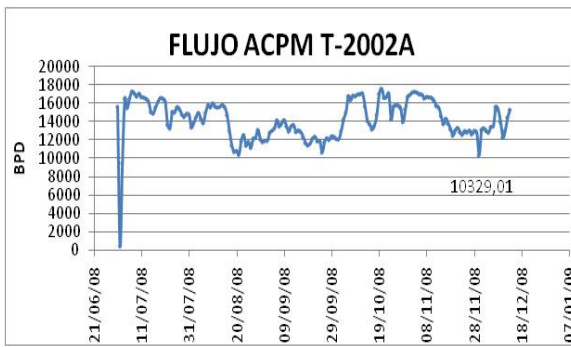


Figura B18. Flujo Nafta Liviana T-2005.

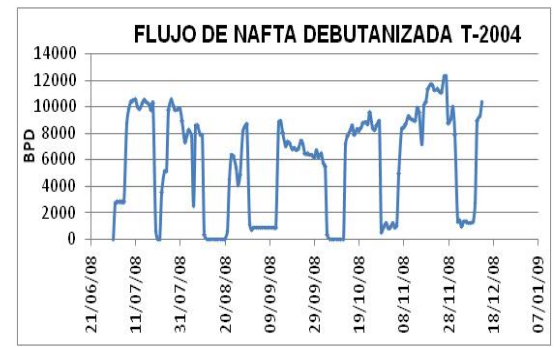


Figura B19. Flujo Nafta Virgen T-2000.

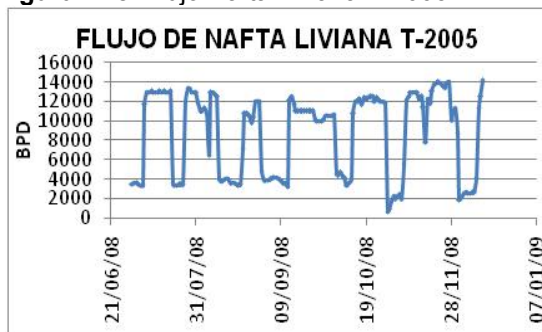
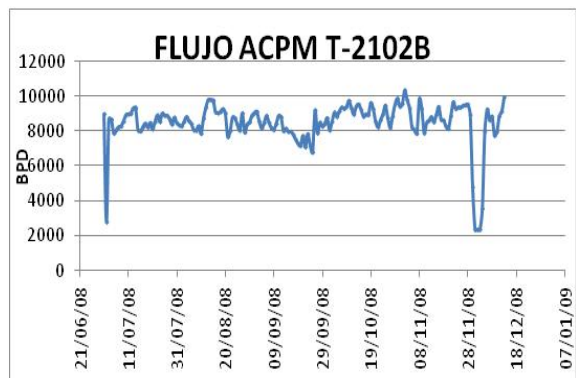
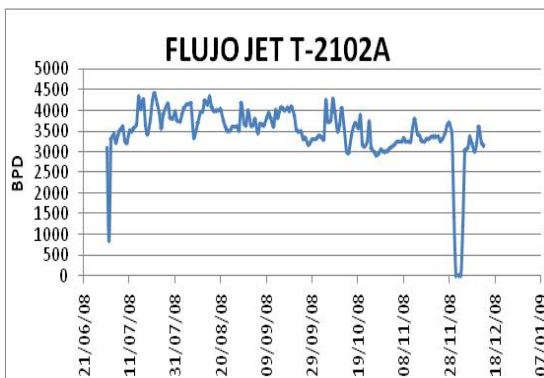


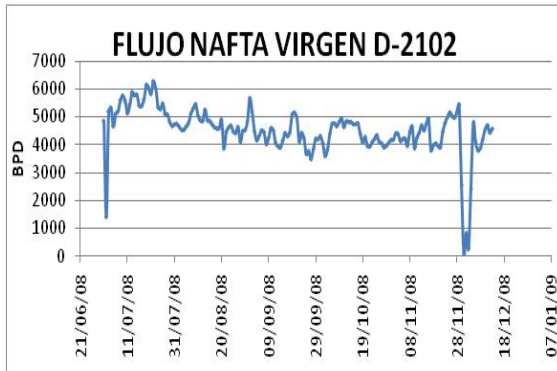
Figura B20. Flujo JET T-2102A.



Figura B21. Flujo JET T-2102B



**Figura B22.** Flujo Nafta virgen D-2102



## **ANEXO C. PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA EL MUESTREO MANUAL DE PETRÓLEO Y PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO. (ASTM D-4052)**

### **Alcance**

Esta práctica cubre los procedimientos para la obtención manual de muestras representativas de petróleo y productos derivados del petróleo en estado líquido, semi-líquido o sólido, cuya presión de vapor a las condiciones ambiente está por debajo de 101 Kpa (14.7 Psia).

### **Muestreo Manual de Tuberías**

**Aplicación:** Este procedimiento de muestreo manual de tuberías es aplicable a líquidos que tienen un presión de vapor de Reid RVP de 101 Kpa o menos y a semi-líquidos en tuberías, líneas de llenado, líneas de transferencia. El muestreo continuo de tuberías es cubierto en la práctica D4177 (API MPMS capítulo 8.2). Cuando se tiene transferencia custodia, muestreo continuo automático es recomendado en vez de muestreo manual. En el caso de una falla en el muestreador automático, el muestro manual puede ser necesario, tales muestras manuales deben ser tomadas tan representativas como sea posible.

**Aparatos:** una sonda de muestreo es usada para muestreo directo de la corriente fluyendo. Todas las sondas deben extenderse en el centro un tercio de la sección transversal de la tubería. La entrada hacia la probeta debe estar en sentido contrario a la dirección de flujo.

### **Ubicación de la sonda:**

Debido a que los fluidos no siempre son homogéneos, la ubicación, posición y tamaño de la sonda de muestreo debe ser tal que se minimice cualquier separación de agua y partículas pesadas que harían la concentración diferente en la muestra recogida y la de la corriente principal.

La sonda debe estar ubicada siempre en una posición horizontal para prevenir que cualquier porción de la muestra sea devuelta a la corriente principal.

La sonda de muestreo debe estar ubicada preferiblemente en un sección vertical del tubo donde sea posible.

La sonda puede estar localizada también en una sección horizontal. La velocidad de flujo debe ser lo suficientemente alta para proveer un adecuado mezclado turbulento (Ver practica D4177 (API MPMS Capítulo 8.2))

Donde no existe una adecuada velocidad de flujo un elemento adecuado para mezclar el fluido debe ser instalado antes de el punto de extracción de la muestras para reducir la estratificación un nivel adecuado. Algunos métodos efectivos para obtener un mezclado adecuado son: Una reducción en el tamaño de la tubería, una serie de baffles, un orificio o una combinación de cualquiera de estos métodos. El diseño o dimensionamiento del elemento es decisión del usuario, mientras la corriente este suficientemente mezclada para proveer una mezcla representativa de la sonda.

Las líneas de muestreo, usadas conjuntamente con las sondas deben ser tan cortas como sea practico y deben ser limpiadas antes de que cualquier muestra sea tomada.

Cuando se están muestreando semi-líquidos, puede ser necesario calentar las líneas de muestreo, válvulas y recipiente de recibo a una temperatura suficiente para mantener el producto líquido y asegurar un correcto muestreo y mezclado.

Para controlar la velocidad a la cual las muestras son retiradas, la sonda debe ser ajustada con válvulas.

## **ANEXO D. PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA EL MUESTREO AUTOMÁTICO DE PETRÓLEO Y PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO.(API MPMS CAPITULO 8 , SECCIÓN 2 ANEXO B CÁLCULOS TEÓRICOS PARA SELECCIONAR LA UBICACIÓN DE LA SONDA DE MUESTREO)**

### **INTRODUCCION**

Este apéndice describe los procedimientos de cálculo para estimar la dispersión de agua en aceite en un punto de extracción de muestra. Estos procedimientos tienen una base teórica muy simple basado en muchas ecuaciones que no son estrictamente aplicables, de ahí, que deben ser usadas con extremo cuidado para cualquier aplicación práctica. Una aproximación conservadora es fuertemente recomendada cuando se están estimando los límites aceptables para una adecuada dispersión (Acondicionamiento de corriente).

Las ecuaciones contenidas en este apéndice han demostrado ser validas para un amplio número de datos de campo.

Cuando se calcula la velocidad de dispersión de energía  $E$ , se debe tener en cuenta que la dispersión de energía de los diferentes elementos no son aditivas , por ejemplo, cuando una serie de elementos está presente, el elemento que debe considerarse para los cálculos es aquel que disipa una mayor cantidad de energía.

En la tabla 10, se muestra una comparación entre los posibles elementos de mezclados presentes en un sistema.

**Tabla 10.** Comparación entre diferentes elementos de mezclado

Pump	$\Delta P$ (bar)						2	4	6	8	12	20	30	50	
Orifice	$\gamma = d/D =$	0.9		0.8		0.7		0.6	0.5		0.4			0.3	0.25
Enlargement	$\gamma = d/D =$	0.8		0.7		0.6		0.5		0.4		0.3			0.2
Throttling valve	$\Delta P$ (bar)					1		2	4	6	8	12	20	30	50
Globe valve						x									
Swing check or angle valve															
Circular Mitre Bend	$\theta$ (deg)	45		60		90									
Contraction	$\gamma = d/D$	0.8	0.7	0.5		0.1									
Bends (5-off)	$r/D$	10	4	1											
Bends (4-off)	$r/D$	10	4	1											
Bends (3-off)	$r/D$	10		1											
Bends (2-off)	$r/D$	10		1											
Bends (1-off)	$r/D$	10		1											
Straight pipe		x													
Gate valve		x													
Resistance coefficient ( $K$ )		0.2	0.5	1.0	2.0	4.0	10.0	20.0	40.0	100.0	200.0	400.0	1000.0		
Characteristic ( $\beta$ )		1.0	2.5	5.0	10.0	20.0	50.0	100.0	200.0	500.0	1000.0	2000.0	5000.0		
Parameter of mixing element															

La tabla 11, presenta una relación entre  $C1/C2$  y  $C2/C1$  con el parámetro  $G$

**Tabla 11.** Relación de  $G$  con  $C1/C2$ [2]

<b>G</b>	<b>C1/C2</b>	<b>C2/C1</b>
10	0.90	1.11
8	0.88	1.14
6	0.85	1.18
4	0.78	1.28
3	0.71	1.41
2	0.61	1.64
1.5	0.51	1.96
1	0.37	2.70

Algunos valores sugeridos para el parámetro  $K$ , son sugeridos en la tabla 12.

**Tabla 12** Coeficientes de Resistencia sugeridos ( $K$ ) [2]

Contracción	$K = 0.5 \cdot (1 - \gamma^2)$	$0 \leq K \leq 0.5$
Ensanchamiento	$K = \frac{(1 - \gamma^2)^2}{\gamma^4}$	$0 \leq K \leq 0.5$
Orificio	$K = 2.8 \cdot (1 - \gamma) \left[ \left( \frac{1}{\gamma} \right)^4 - 1 \right]$	
Válvula de cheque	K=2	
Válvula de ángulo	K=2	
Válvula de Globo	K=6	
Válvula de compuerta	K=0.15	
Nota: $\gamma$ es la relación diámetro menor/diámetro mayor, K esta basada en la velocidad en el tubo menor.		

Cuando se utiliza el método B para el cálculo de la velocidad de disipación de energía, es necesario conocer el parámetro  $\beta$

Tablas 13 y Tabla 14, se muestran algunos valores sugeridos de acuerdo al número de codos presentes y unas relaciones adicionales para calcular la velocidad de disipación de energía.

**Tabla 4**-Factores de disipación de energía ( $\beta$ ) [2].

Numero de codos	Factor de disipación de energía ( $\beta$ )
1	1.07
2	1.13
3	1.18
4	1.23
5	1.28

**Tabla 14**-Otras relaciones para calcular la disipación de energía [2]

Bomba Centrífuga	$E = 0.125 \cdot \frac{\Delta P \cdot Q}{\rho \cdot D^5}$
------------------	---

Válvula de estrangulamiento	$E = 0.125 * \frac{\Delta P * V}{20 * p * D}$
-----------------------------	---

## ANEXO E. PELIGRO POR EXPOSICIÓN A LOS PRODUCTOS MUESTREADOS.

### ACPM [7]

EFECTO POR:	DETALLE
INHALACIÓN	Los vapores producen dolor de cabeza, náuseas, mareo, narcosis, irritación de los ojos, nariz, tráquea y pulmones, depresión del sistema nervioso central, inconsciencia (a altas temperaturas y ventilación deficiente). La aspiración del líquido dentro de los pulmones puede producir neumonía química.
INGESTIÓN	Puede resultar nocivo o fatal. Alto riesgo de aspiración si se presenta el vómito. Si se bronco aspira la sustancia puede causar neumonitis química.
CONTACTO CON LOS OJOS	Irritación, enrojecimiento y ardor.
CONTACTO CON LA PIEL	Irritación, resequedad. Se absorbe por la piel.
CRÓNICOS	Puede generar síntomas como irritación, náuseas, vómito y diarrea. Puede producir daños al sistema nervioso central, produce efectos tales como excitación, euforia, dolor de cabeza, desvanecimiento, somnolencia, visión borrosa, fatiga, temblor, convulsiones, pérdida de la conciencia, deficiencia respiratoria y finalmente la muerte. El contacto repetido o prolongado con la piel causa dermatitis y posible infección secundaria.

Fuente: Consejo Colombiano de seguridad-DATAQUIM

### JET-A [8]

EFECTO POR:	DETALLE
INHALACIÓN	La inhalación de concentraciones excesivas del vapor o nubes es irritante al tracto respiratorio y puede causar efectos tales como dolor de cabeza, desvanecimientos, náuseas, convulsiones o pérdida de la conciencia, dependiendo de las concentraciones y del tiempo de exposición.
INGESTIÓN	Es irritante a la boca, garganta y tracto digestivo y puede ser tóxico por ingestión. La bronco aspiración puede producir neumonía por acción local y posiblemente por el petróleo sanguíneo circulante que se ha absorbido en el estómago. Por ingestión es levemente tóxico, puede causar disturbios gastrointestinales.
CONTACTO CON LOS OJOS	A altas concentraciones del vapor el contacto con el líquido es irritante.
CONTACTO CON LA PIEL	Causa pérdida de las grasas naturales e irritación, por exposiciones repetidas o prolongadas puede causar dermatitis.

Fuente: Consejo Colombiano de seguridad-DATAQUIM

## NAFTA

<b>EFFECTO POR:</b>	<b>DETALLE</b>
INHALACIÓN	Respirar la nafta puede irritar la nariz y la garganta, y causar tos y respiración con silbido. La exposición repetida puede dañar el sistema nervioso.
INGESTIÓN	
CONTACTO CON LOS OJOS	Causa irritación en los ojos.
CONTACTO CON LA PIEL	Causa irritación en la piel; El contacto prolongado puede causar que se seque y agriete la piel.
EFFECTOS CRÓNICOS	Es posible que la nafta VM & P cause mareos, sensación de pérdida del sentido y desmayo. Niveles muy altos pueden causar convulsiones y muerte.

Fuente: Consejo Colombiano de seguridad-DATAQUIM

## ACEITE LIVIANO DE CICLO (ALC)

<b>EFFECTO POR:</b>	<b>DETALLE</b>
INHALACIÓN	La aspiración dentro de los pulmones puede causar neumonitis. Los síntomas pueden incluir irritación, náuseas, vómito y diarrea. La exposición a vapores, humos o nieblas puede causar irritación. Levemente tóxico, puede causar irritación del tracto respiratorio. La inhalación repetida o prolongada de concentraciones significativas de nieblas de procesos de aceites aromáticos puede conducir posiblemente a una forma benigna de fibrosis en los pulmones o posiblemente a cáncer en el tracto respiratorio o gastrointestinal superior.
INGESTIÓN	Por ingestión es levemente tóxico, puede causar disturbios gastrointestinales.
CONTACTO CON LOS OJOS	Irritación, puede causar quemaduras.
CONTACTO CON LA PIEL	Es prácticamente no tóxico pero si severamente irritante. El contacto repetido y prolongado puede resultar en desengrasamiento, enrojecimiento, prurito, resequedad y posible infección secundaria. Puede causar reacciones alérgicas en algunos individuos
CRÓNICOS	Productos de composición similar han producido cáncer en la piel de animales de laboratorio y han dado resultados positivos en pruebas de sistemas mutagénicos.

Fuente: Consejo Colombiano de seguridad-DATAQUIM

## ANEXO F. EJEMPLO DE UN CÁLCULO REALIZADO UTILIZANDO LA MACRO ELABORADA.

El calculo es el realizado para el aceite liviano de ciclo (ALC), fluyendo en una tubería de 3" de diámetro nominal, las condiciones para este productos son: Temperatura 110 °F, 1750 BPD de flujo mínimo, Máxima gravedad API de 21, Viscosidad mínima de 1,8784 cp. Los elementos de mezclado presentes aguas arriba del punto de extracción de la muestra son: 2 codos, y una platina de orificio correspondiente al medidor de flujo del producto ubicado en la línea de salida del intercambiador de producto.

**ecoPETROL**

**CÁLCULO DE LAS CONDICIONES DE MEZCLADO PARA LA SELECCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO ADECUADO EN TUBERÍAS (FLUJO HORIZONTAL) : NORMA API MPMS 8.2 ANEXO B**

SUMINISTRE LOS SIGUIENTES DATOS Y HAGA CLICK EN EL BOTÓN CALCULAR MEZCLADO (Escenario de: menor flujo, mayor API y menor viscosidad):

Caudal (BPH)	120
Diámetro Línea (inch)	2
Viscosidad producto @ T (c)	2.08
API producto	20
CVC2	0.9

**CALCULAR MEZCLADO**

**RESULTADOS**

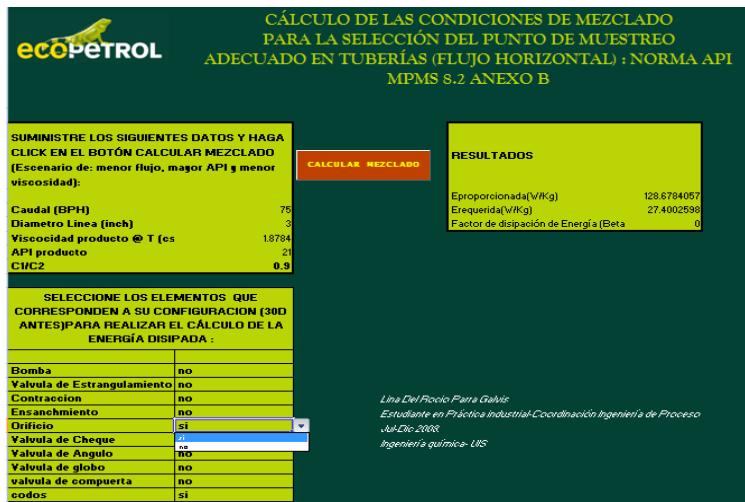
Eproporcionada(V/Kg)	50960.09552
Erequerida(V/Kg)	5.740523427
Factor de disipación de Energía (Beta)	0

SELECCIONE LOS ELEMENTOS QUE CORRESPONDEN A SU CONFIGURACION (30D ANTES) PARA REALIZAR EL CÁLCULO DE LA ENERGÍA DISIPADA :

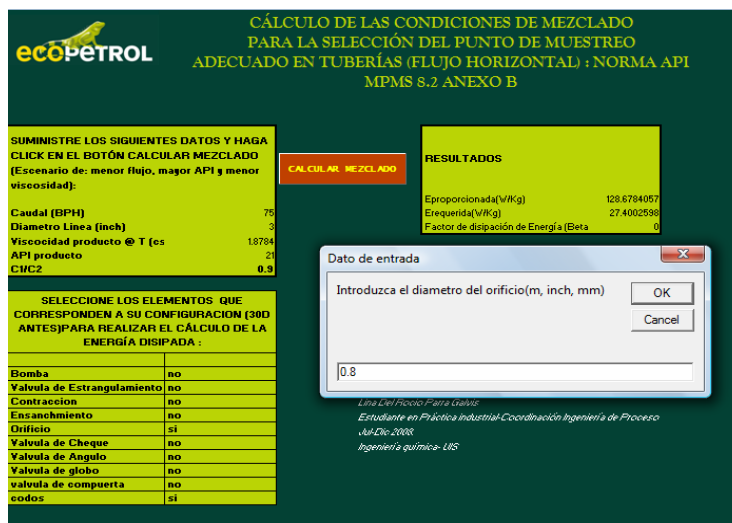
Bomba	no
Valvula de Estrangulamiento	no
Contraccion	si
Ensanchamiento	no
Orificio	no
Valvula de Cheque	si
Valvula de Angulo	no
Valvula de globo	no
valvula de compuerta	no
codos	si

*Lina Del Rio/Forra Galvis  
Estudiante en Práctica Industrial/Coordinación Ingeniería de Proceso  
Jul-Dic 2008  
Ingeniería química-UIS*

Inicialmente se suministran los datos de entrada en la casilla superior izquierda de la hoja, posteriormente se den seleccionar los elementos de mezclado existentes 30 diámetros aguas arriba del punto de extracción.



Cuando se han completado los pasos mencionados arriba, se pica en el botón **CALCULAR MEZCLADO**, enseguida aparece una ventana solicitando unos datos adicionales dependiendo del elemento que disipa mayor de energía en el sistema, para este caso es el orificio por encima de los codos, se introduce este valor.



Es necesaria también la introducción del diámetro de la tubería, en las mismas unidades que el diámetro del orificio.



Una vez se termina la introducción de los datos aparece un mensaje definiendo si el punto está correctamente mezclado, o si por el contrario se debe agregar otro elemento a la configuración para causar una mayor disipación de energía.

En el cuadro superior derecho aparece también el valor calculado de velocidad de disipación de energía requerida y real del sistema.



Si es necesaria la introducción de un elemento que ocasione una mayor dispersión, el usuario debe definir cual y realizar su diseño y dimensionamiento.