

CONTROL DE PROCESOS: UNA EXPERIENCIA PARA ASEGURAR LA CALIDAD DE SALIDA DE HIDROCARBUROS CONTAMINADOS

Hugo Laso
Manuel Muslera
Petrobras Energía S.A.

Abstract

El presente trabajo constituye la experiencia de cómo un equipo conformado para resolver una problemática eminentemente técnica, utiliza un Programa de Excelencia en la Gestión para facilitar el cumplimiento de los objetivos por los cuales fue conformado.

La problemática en la que trabajó el equipo se centró en que algunos de los crudos producidos en la provincia de Santa Cruz contienen mercurio (Hg) en concentraciones que superan las consideradas como normales (50 – 100 ppb) en los contratos de comercialización de crudo de esa región.

Por este motivo, la producción regional se comercializa con 2 (dos) tipificaciones de crudo que básicamente se diferencian en su contenido de Hg.

La implementación de este programa de mejora de procesos posibilitó confeccionar tácticas e instructivos de trabajo que permiten controlar los contenidos de Hg para mantener los estándares requeridos por nuestros clientes, asegurando la calidad de venta y maximizando los ingresos de la compañía.

Como consecuencia de esta implementación, se requirió además, el trabajo sobre un cambio de paradigma de quienes se desempeñan en la industria, para los cuales la mayor rentabilidad estuvo siempre asociada a la mayor producción, hecho que esta problemática desmiente.

Introducción

Definiciones

Hg: entiéndase cada una de las distintas formas químicas de presentación a saber: mercurio elemental (Hg^0), mercurio orgánico (XHgX , donde $\text{X} = \text{CH}_3, \text{C}_2\text{H}_5$, etc.), sales inorgánicas de mercurio (Hg^{2+}X_2 , donde $\text{X} = \text{cloruro, nitrato, sulfato, etc.}$), complejos de mercurio de la forma XHgY , donde X es un sustituyente orgánico ($\text{CH}_3, \text{C}_2\text{H}_5$, etc.) e Y es un ión inorgánico (Cl^-), compuestos de mercurio suspendidos que no son solubles en agua ni petróleo, (HgS , por ejemplo) y Hg adsorbido en suspensión.

ppb: (ppb-masa) expresión de la concentración de Hg en petróleo equivalente a nanogramos (ng) de Hg en gramos (g) de petróleo.

“Tipificación” de crudo: Denominación utilizada para la comercialización de petróleos de distintas calidades. Se dividen en: tipo “María Inés” con contenidos de Hg menores a 100 ppb y de aproximadamente API 52 y tipo “Santa Cruz” con contenidos de Hg normalmente comprendidos entre 100 y 2.500 ppb y aproximadamente API 50.

Contaminación con Hg: se entiende como contaminación de crudos con Hg cuando la concentración medida, para cada tipo, esta por encima de los valores usuales para un tipo de crudo en particular.

Dueño del proceso: Es quien, luego de terminado el trabajo del equipo, deberá asegurar el control del proceso haciendo cumplir las tácticas e instructivos definidos e implementados.

Tablero de Control: Herramienta que permite al dueño del proceso realizar el seguimiento, medición y evaluación de las características o parámetros para mantener el control del proceso y ponderar los avances logrados.

TEG: Sigla comúnmente utilizada en la industria del gas para el Trietilen Glicol, deshidratante de gas.

El valor de comercialización está afectado por descuentos relacionados al tipo de crudo y a su vez a la concentración de Hg dentro de cada tipo (ver figura 01.)

Antecedentes

Desde que se verificó la existencia de Hg en los crudos de la zona (mediados de 1998) hasta la compra del área Santa Cruz I, se controlaba fundamentalmente el contenido de Hg en las partidas de venta, y en menor medida, el proceso productivo y de transporte hasta la terminal de embarque de Punta Loyola.

Con la compra del área mencionada, se continuaron las investigaciones iniciadas por el operador anterior referidas a controlar el problema mediante la remoción del Hg en plantas de tratamiento. En ese sentido se avanza hasta la implementación de una planta “piloto”. Los resultados obtenidos con estas investigaciones están fuera del alcance de este informe.

Simultáneamente y como consecuencia de una partida de crudo tipo “María Inés” contaminada con valores superiores a 100 ppb, se decidió conformar un equipo de estudio y, de este modo, comenzó el trabajo para identificar la fuente de contaminación y plantear medidas de control y monitoreo en éste tipo de crudo.

A medida que se avanzó en la investigación y analizando la situación generada con la implementación del contrato de exportación a ENAP (Chile), que aplica un descuento de 1 USD/barril cuando el contenido de Hg supera el valor de 2.500 ppb, se incluyó en el estudio, además del crudo “María Inés”, al crudo tipo “Santa Cruz” y su proceso de producción y transporte, fijándose como objetivo vender crudo con menos de 2.500 ppb de Hg para evitar el mencionado descuento.

Desarrollo

Si bien el equipo venía trabajando en la investigación de la problemática del Hg con algunas herramientas ad hoc, el integrarnos al Programa de Excelencia en la Gestión de Petrobras, nos dio la posibilidad de llevar adelante esta investigación de modo sistemático y ordenado.

Este Programa de Calidad contiene un Plan de Implementación de Mejora de los Procesos que se basa en el Ciclo de Mejora Continua de Deming (Planificar, Hacer, Chequear, Actuar) y en la metodología DMAIC, adecuando lo previamente realizado por el equipo.

A continuación trabajamos en la etapa de Definición del Proceso. Lo hicimos con la información ya existente e identificamos las necesidades de realizar nuevos análisis que permitieran definir el proceso. Quien sería el Dueño del Proceso, es decir, el responsable por administrar los recursos e introducir las modificaciones que crea convenientes, cuáles serían los límites y actividades dentro del proceso a analizar, así como los requerimientos tanto de clientes internos como externos, para establecer los estándares sobre los que debíamos focalizar las acciones para alcanzar el objetivo propuesto.

Seguidamente trabajamos en la definición de los indicadores de gestión. Se analizó lo ya elaborado por el equipo y se utilizó el concepto de indicadores de Eficiencia (orientados hacia la optimización del proceso en sí mismo) y de Eficacia (orientado hacia la satisfacción del cliente interno/externo).

Una vez definido el proceso y los indicadores que nos permitirían saber dónde y cómo estábamos trabajando, pasamos a la etapa de Análisis del Proceso que nos permitió identificar las oportunidades de mejora que serían implementadas posteriormente en la etapa de Mejora del Proceso. Una vez realizados los pasos anteriores, el equipo presentó una propuesta de acciones de mejora, muchas de las cuales fueron incorporadas al presupuesto 2003 del Área, para su posterior implementación.

La última etapa de este ciclo, la etapa de Control es la que proporciona información necesaria para introducir cambios que permitan obtener los mejores resultados para el negocio.

Para dar cumplimiento al objetivo se comenzó planificando las tareas a realizar, designando responsables y asignando los recursos necesarios para llevarlas a cabo.

Lo descripto se reseñó en un cronograma de trabajo.

Se identificó la necesidad de contar con una base de datos centralizada para el manejo de la información de los análisis de Hg en los distintos fluidos, a la cual pudieran tener acceso todos los integrantes del equipo, independientemente del lugar físico de trabajo.

Se utilizó el marco de seguridad que brinda el sistema CITRIX™ sobre el formato de la base de producción actual, y se eliminaron simultáneamente el resto de las bases paralelas utilizadas hasta ese momento.

Definido el proceso “macro” conformado por las etapas de producción, tratamiento, transporte, almacenamiento y comercialización de los crudos del área Santa Cruz, se identificó al **Jefe de Producción** del área como “**dueño del proceso**” que es quien controla en forma directa los recursos y se ve afectado por los resultados del mismo.

La complejidad del proceso “macro” determinó la necesidad de trabajar sobre sub-procesos identificados con cada uno de los yacimientos que conforman el área Santa Cruz.

Para cada uno de ellos se realizó el correspondiente diagrama de flujo individualizando los ingresos, egresos, variables de proceso y contenido de Hg.

Hecho esto se procedió a integrar los distintos diagramas para armar el diagrama del proceso “macro”.

Basados en estos diagramas se definieron los clientes y sus requerimientos como así también los proveedores internos y externos.

La determinación de las metas a lograr surge del análisis de los sub-procesos y su integración hacia el proceso “macro”. En ese sentido y alineados con los objetivos del equipo se identificaron las metas a lograr de acuerdo al tipo de crudo a comercializar:

Para el tipo “Santa Cruz” la meta es: vender todas las partidas de exportación a ENAP con concentraciones por debajo de 2500 ppb.

Para el tipo “María Inés” las metas son: vender todas las partidas por debajo de 100 ppb y minimizar los volúmenes de este tipo que se contaminan en maniobras operativas.

Propuestas de Mejora

Una vez analizado el proceso y sus requerimientos se identificaron las siguientes propuestas de mejora para cada tipo de crudo y cada yacimiento:

Tipo “Santa Cruz”

Polo Campo Boleadoras:

- Realizar cambios operativos tendientes a estabilizar el caudal de entrada al tanque cortador de la gasolina de planta y de la producción recibida en camiones del yacimiento La Porfiada.
- Cambiar el proceso de efluentes y proceder a la limpieza de recipientes de proceso en planta Campo Boleadoras.
- Instalar un caudalímetro másico y un muestreador continuo en el despacho a oleoducto Campo Boleadoras – Punta Loyola de la planta de Campo Boleadoras.

Tipo “María Inés”

Polo María Inés, Puesto Peter, Barda las Vegas

- Realizar la limpieza de tanques cortadores
- Realizar la limpieza de piletas de reproceso
- Implementar un programa diario de muestreo y análisis para el control de despachos a oleoducto.
- Realizar la limpieza de separadores de entrada a planta PTG BLV y del gasoducto An Aike - Barda las Vegas
- Instalar muestreadores continuos en despachos de PTC Puesto Peter, María Inés y Barda las Vegas.

Polo Cóndor

- Cambiar la operación del oleoducto Cóndor – Loyola realizando escapeos bi-direccionales.
- Instalar un muestreador continuo en despachos de PTC

Polo Loyola

- Instalar una válvula de presurización y muestreadores continuos en oleoductos María Inés, Campo Boleadoras y Cóndor.
- Modificar el sistema TOW™ para incluir datos de concentraciones de Hg en “run tickets”, para permitir ingresos de recepciones de terceros por certificados y para identificar volúmenes de crudo tipo “María Inés” que se contaminan por maniobras operativas.

Laboratorio Chimen Aike

- Redactar instructivos de trabajo para la rutina de análisis a emplear en la determinación de concentración de Hg en ventas de crudo, a fin de asegurar la confiabilidad y transparencia de los resultados informados.

Particularidades de las mejoras propuestas

Tipo “Santa Cruz”

Polo Campo Boleadoras

Para el armado del diagrama de flujo se implementó un programa de muestreos para convalidar y asegurar los datos disponibles sobre concentraciones de las distintas corrientes de ingreso a planta. La formulación de dicho programa corroboró la necesidad de redactar un instructivo de muestreo que tenga en cuenta las particularidades del análisis a realizar.

El análisis de estos datos permite identificar cada corriente por su concentración de Hg y caudal, quedando de este modo claramente explicitado, que corrientes de muy bajos caudales relativos y muy altas concentraciones de Hg contaminaban corrientes de altos caudales y concentraciones moderadas. Esto nos permitió segregar corrientes y asegurar los valores de concentración del grueso de la producción.

También se comprobó el hecho de que los recipientes de proceso, principalmente tanques cortador y de almacenaje retienen altas concentraciones de Hg que pueden incorporarse al despacho en forma imprevista y por ende contaminar la producción provocando variaciones muy grandes en las concentraciones de Hg de los despachos de la PTC de Campo Boleadoras, (ver figura 02).

Por este motivo se diseñó un programa de limpieza de recipientes con la particularidad de que el mismo pudiera ponerse en ejecución sin interferir en el proceso productivo.

Según los resultados obtenidos (ver figura 03) comprobamos que los valores de concentración de Hg en las ventas a ENAP (Chile) disminuyeron considerablemente a partir de la implementación de las mejoras propuestas llegando a valores de 1.320 ppb (Marzo 2.003). Esta tendencia se mantiene en el tiempo y comprueba los enunciados de la propuesta de mejora en cuanto a la necesidad de limpieza y de mantener los equipos de producción en ése estado mediante la aplicación de un programa regular.

Muestreadores continuos

El control de contenidos de Hg en los distintos despachos se realiza actualmente mediante la extracción de muestras puntuales, es decir, en un horario determinado se extraen del punto de muestreo de despacho una muestra de 250 ml cuyo contenido de Hg se asigna al total del despacho correspondiente al día de la extracción.

La representatividad de esta muestra depende de diversos factores operativos que condicionan su validez.

La propuesta de instalación de muestreadores continuos proporcionales al caudal despachado, tiende a mejorar la representatividad de los datos obtenidos, y por lo tanto a tener un mayor control del proceso.

Tipo “María Inés”

Polo María Inés, Puesto Peter, Barda las Vegas

El crudo producido y tratado en las PTC correspondientes a este polo proviene de la formación “Magallanes” que se caracteriza por sus bajos contenidos de Hg, aproximadamente 50 ppb.

A pesar de ello las interfases agua - petróleo y los fondos de tanques acumulan sólidos (parafinas, carbonatos, arcillas, etc.) y con ellos cantidades importantes de Hg que determinan una concentración para esos niveles muy por encima de los valores medidos en los despachos.

Esta situación, de potencial riesgo de contaminación en los despachos, en conjunto con cambios operativos, causó la contaminación de todo un embarque que debía comercializarse a menos de 100 ppb, en el mes de Septiembre del 2001.

Como herramienta para minimizar el riesgo mencionado se procedió primero a la extracción de interfases y fondos y luego se puso en marcha un monitoreo periódico para ejecutar limpiezas de mantenimiento.

Barda las Vegas

Desde su entrada en servicio en Junio del 2000, la planta de BLV ha estado tratando el gas de fundamentalmente 2 (dos) yacimientos, An Aike (AA) y Barda Las Vegas (BLV.) Estos yacimientos tenían como objetivo productor la formación Springhill cuyo gas se comprobó estar contaminado con altos valores de Hg. Con el transcurso del tiempo y los programas de exploración realizados en el área, el objetivo de producción fue migrando hacia la formación más somera del terciario (Magallanes.)

Este objetivo es básicamente petrolero con algunos pozos de alto GOR que se hacían entrar a PTG por alta presión para captar el gas y que este pueda ser tratado y vendido. La formación Magallanes se caracteriza por su relativamente bajo contenido de Hg, como consecuencia de esto es posible “vender” el crudo de BLV como crudo tipo “María Inés”, ingresando en el oleoducto María Inés Punta - Loyola.

El monitoreo de concentración de Hg realizado en todas las entradas a dicho oleoducto, muestra que los valores de BLV lejos de mantenerse constantes (situación deseada) periódicamente experimentan cierta desviación que hace “peligrar” de alguna manera el volumen total destinado a venta del crudo tipo María Inés en Punta Loyola.

Si bien es difícil correlacionar “picos” de concentración de Hg en despachos BLV, con “picos” en la recepción del oleoducto MI en Punta Loyola (hay múltiples factores operativos que condicionan la correlación por ejemplo: dilución, representatividad de muestras, limpieza mecánica con escrapper, bombeos discontinuos, etc.) todo aquello que elimine estos “picos” de concentraciones de Hg en los despachos a oleoducto, tenderá a estabilizar los valores de llegada a Punta Loyola.

Estas desviaciones o “picos” se han asociado fundamentalmente a 3 (tres) causas las cuales se detallan a continuación:

- Desplazamientos de líquidos estancados en zonas bajas de Gasoducto PP – MI – AA – BLV. Este gasoducto inicialmente transportaba gas del yacimiento AA. Este gas tenía elevadas concentraciones de Hg que pasaban al líquido al ir disminuyendo la temperatura desde boca de pozo hasta PTG BLV. Este líquido (fundamentalmente propano – butano) queda en los bajos del

gasoducto. Actualmente este gasoducto transporta el gas desde los yacimientos Puesto Peter (PP) y María Inés (MI) hasta BLV, si por alguna razón el caudal de gas se interrumpe o varía, entonces el líquido entrampado en los bajos del gasoducto se mueve y es recibido en PTG BLV y posteriormente tratado y enviado a tanque de despacho, registrándose elevadas concentraciones de Hg en las entregas. Hay que aclarar que el ingreso del gasoducto se produce en las salidas de gas de los separadores de entrada de planta.

Como acción correctiva se propuso pasar escrapers en el tramo de gasoducto de 12" desde batería AA-1 a PTG BLV.

Además del Hg presente en los líquidos estancados como consecuencia del transporte de gas del yacimiento AA, hoy, con gas de PP y MI también se produce el fenómeno descrito mas arriba, es decir, el enfriamiento del gas, condensación e incorporación al líquido del Hg originalmente presente en fase gaseosa. Por lo tanto, la operación de barrido de líquidos aquí propuesta, también será necesaria después de eliminar los líquidos presentes hoy. La frecuencia necesaria para la operación en el futuro será menor y deberá determinarse con la experiencia de campo.

- Puesta en producción de pozo BLV-03, este pozo está terminado en la formación Springhill por lo que se tomaron ciertos recaudos para ingresarlo a planta (los líquidos se separan antes y se envían a PTC CBO por camiones) el gas ingresa a PTG BLV por los separadores de entrada a planta. A pesar de que no se ha podido verificar la concentración de Hg en gas, cada vez que se intentó poner en servicio aumentaron las concentraciones de Hg en los despachos BLV.

La acción correctiva consistió en cerrar el pozo.

- Separadores de entrada a planta BLV "contaminados". Estos separadores se encuentran contaminados con altas concentraciones de Hg producto de su uso con pozos de AA y BLV formación Springhill. Actualmente hay un único pozo que entra a PTG BLV por estos separadores el cual registró bajos valores de Hg (usuales para pozos de formación Magallanes) por lo que se determina que los altos valores en el punto de despacho de la planta en parte son provocados por la contaminación que se produce en los citados separadores.

Como acción correctiva se propuso la "limpieza" de los separadores y la incorporación al programa de monitoreo y limpieza periódica del área.

Cóndor Punta Loyola

La producción del yacimiento Cóndor (tipo "María Inés") se almacena en tanques propios y periódicamente se bombea a la estación terminal de Punta Loyola, a través del oleoducto Cóndor - Punta Loyola.

Este oleoducto también se utiliza en las operaciones de exportación de crudo tipo "Santa Cruz" hasta la terminal de medición y entrega, ubicada en la frontera con Chile en el punto denominado "Frontera Daniel".

La particularidad de operación de este oleoducto hace que periódicamente se trabaje en forma bi direccional, transportando distintos tipos de crudo.

En cada uno de los cambios de dirección, determinados volúmenes de crudo tipo "María Inés" se contaminan incorporando Hg y provocando la desvalorización de dichos volúmenes.

Durante el análisis de las operaciones sobre el oleoducto se detectó que en la operación de bombeo desde Cóndor a Punta Loyola el volumen de crudo contaminado es del orden de 200 m³ por operación.

En el sentido opuesto (exportación Loyola – Daniel) este volumen contaminado se asume de 500 m³, la diferencia entre dichos volúmenes se atribuye a la imposibilidad de realizar las operaciones de escrapers y a la adopción de un margen de seguridad, para evitar contaminaciones en los tanques de almacenamiento de la PTC Cóndor ya detectados en el pasado.

El total de volumen contaminado en cada operación de bombeo y exportación es de unos 700 m³

Como resultado de estos análisis se han propuesto las siguientes acciones:

- Modificar la instalación existente, para lograr que las trampas del oleoducto sean aptas para enviar y recibir escrapers.
- Implementar programa de operación y realizar seguimiento de Hg con el propósito de minimizar los volúmenes contaminados.

CONCLUSIONES

- 1- Con la aplicación de tácticas e instructivos de trabajo específicos en la etapa de producción, transporte y almacenaje es posible controlar el proceso y evitar/disminuir contaminaciones en la comercialización de cada tipo de crudo.
- 2- Las instalaciones de proceso retienen parte del Hg (independientemente de la concentración de Hg originalmente producido con el petróleo) en los fondos de equipos y en las interfases agua – petróleo, generándose altas concentraciones que son potenciales fuentes de contaminación.
- 3- Analizando regularmente interfaces y fondos de equipos de proceso el contenido de Hg en los despachos puede controlarse.

Bibliografía

UOP Method 938-00 Total Mercury and Mercury Species in Liquid Hydrocarbons, © Copyright 1995, 2000 UOP

Material Actividad de capacitación para Facilitadores del Programa de Excelencia en la Gestión de Petrobras. Deming.

Figuras

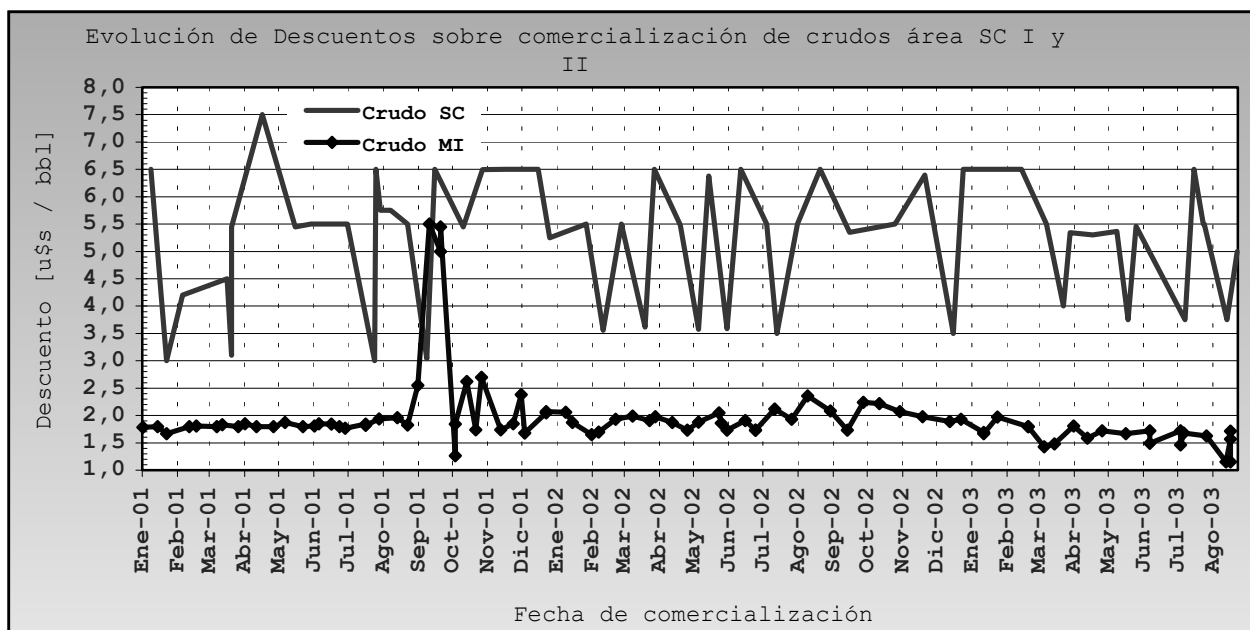


Figura 1

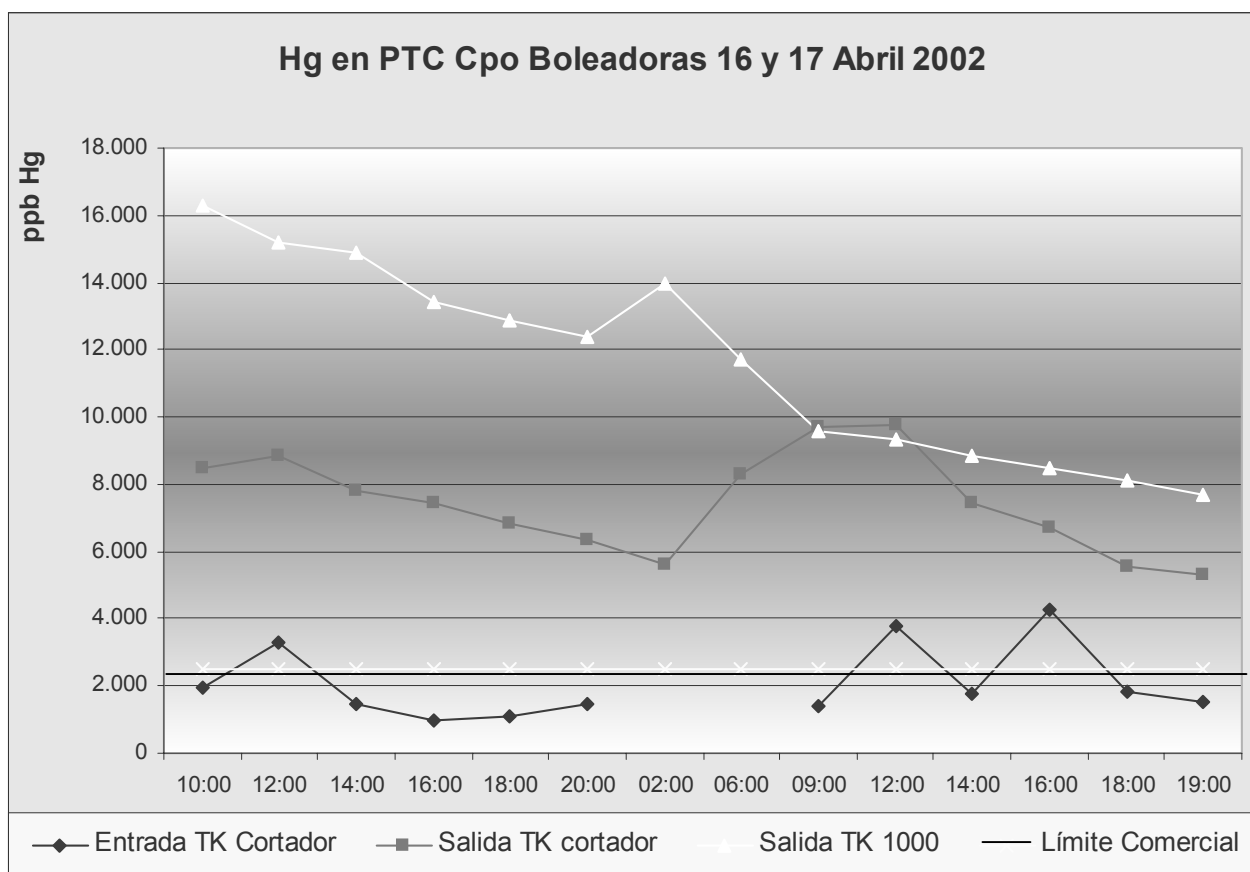


Figura 2

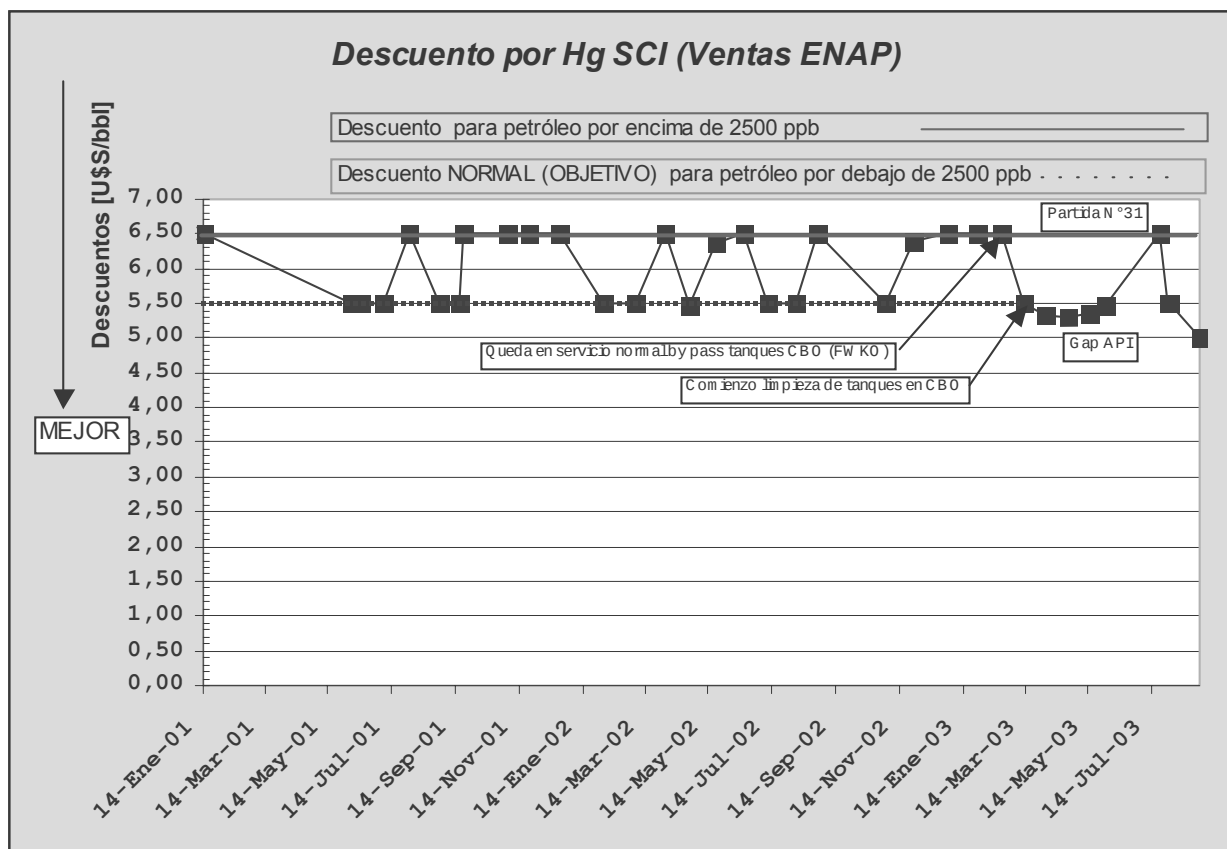


Figura 3