

MEJORA DEL BANCO DE CRUDOS PARA EL USO ADECUADO DE LOS MODELOS DE REFINERIA

Antonio López, Berta Cabello y José L. Peña
Repsol YPF. Centro de Tecnología

SINOPSIS

En el presente trabajo se discuten las ventajas de disponer de un banco de crudos representativo de sus calidades reales, con el fin de ajustar al máximo las herramientas de cálculo disponibles en la refinería, necesarias para la optimización de su beneficio.

Además, se describe el procedimiento de evaluación desarrollado en Repsol YPF y se propone su uso como alimentación a modelos de programación lineal y a modelos rigurosos de refinería, que cubren los planes de producción mensual y diario, respectivamente.

INTRODUCCIÓN

Dentro de las actividades habituales de los grupos de Planificación y Procesos de refinería, los modelos de simulación son una herramienta de trabajo de gran importancia (por ejemplo, en la elaboración del plan mensual con herramientas de Programación Lineal). Una dificultad habitual en la utilización de estos modelos es la falta de confianza en la predicción de ciertas propiedades físicas, en algunos casos clave en el trabajo de estos grupos.

El uso adecuado de estos modelos comienza con una correcta y completa definición de la carga. Este hecho, así como disponer de los modelos adecuados, va a permitir entre otras cosas seleccionar la carga óptima y predecir las condiciones de operación con las que mejorar tanto los rendimientos como las calidades de los productos de las distintas unidades de proceso.

Por otro lado, aunque todavía se evalúan crudos en base a sus valores de densidad API y contenido en azufre [1], cada vez existe una más clara tendencia a valorarlos considerando el valor de sus productos, obtenidos a través de los distintos procesos de la refinería.

Repsol YPF ha desarrollado a lo largo de los años un banco de crudos en el entorno PETROFINE, en el que se recogen las evaluaciones tanto propias como externas de los crudos procesados en las distintas refinerías de la Compañía. Este banco de crudos sirve como entrada de información no sólo a modelos rigurosos (PETROFINE) sino también a modelos lineales (PIMS y ORION a través de sus tablas ASSAYS).

La generación del banco de crudos se realiza en el entorno PETROFINE a partir de la información experimental de evaluaciones de crudos. Este proceso conlleva una serie de aproximaciones tanto en procedimientos de cálculo de propiedades derivadas, como en métodos de mezcla (síntesis) de las propiedades analizadas. Así, es necesario un estudio crítico de los métodos de cálculo de PETROFINE empleados en la confección de dicho banco, especialmente de aquellas propiedades claves en los trabajos de los grupos de Planificación y Procesos.

LA EVALUACION EXPERIMENTAL DE CRUDOS

Durante las últimas décadas no se han registrado variaciones significativas en los procedimientos experimentales de evaluación de crudos. Básicamente, el crudo se destila en columnas batch para

determinar su distribución de hidrocarburos de acuerdo con su punto de ebullición. Las fracciones obtenidas se analizan de acuerdo a distintas técnicas con el fin de disponer de una distribución de propiedades físicas. Si bien cada compañía define tanto cortes efectuados como propiedades determinadas en cada uno de ellos, en general la evaluación experimental típica se muestra en la Figura 1.

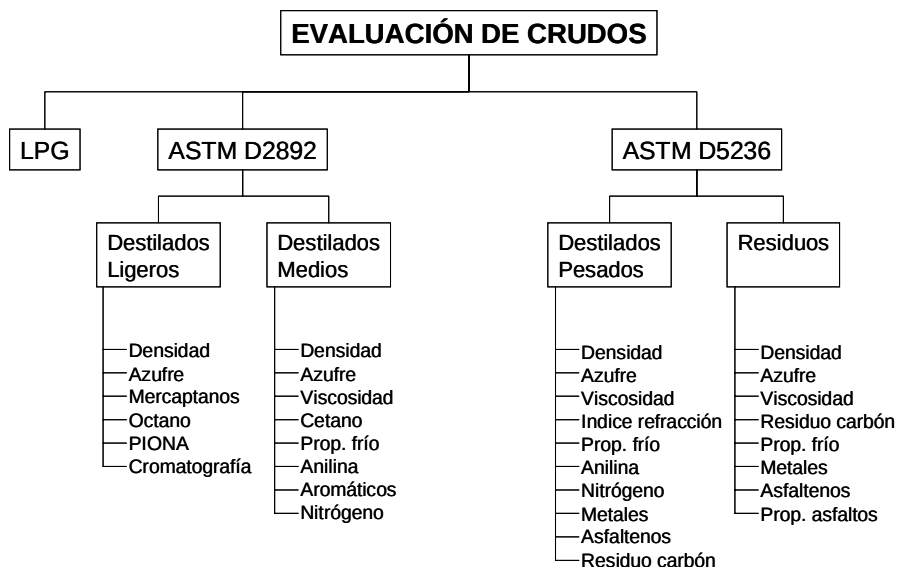


Figura 1. Procedimiento de evaluación de crudo experimental

El procedimiento de evaluación experimental de crudos es largo y costoso (aproximadamente unas 300 h-hombre de trabajo) y se repite cada vez que existen sospechas de variación en la calidad de un crudo. Evidentemente, antes de realizar una evaluación completa existen métodos de evaluación simplificados que, con costes reducidos permiten identificar si el supuesto cambio en la calidad del crudo se ha producido.

Si bien la calidad de los crudos cambia con el tiempo, su efecto en las herramientas de Planificación puede ser muy diferente. Así, con el objeto de analizar estos cambios de calidad, en la Figura 2 se muestran variaciones típicas de la densidad API a lo largo del tiempo. Se distinguen tres tipos de comportamiento:

- El grupo de crudos A muestra una calidad constante con el tiempo, muy deseable en herramientas de Planificación.
- La situación más habitual aparece en el grupo de crudos B, en los que se observa una clara variación de la calidad con el tiempo.
- Por último, el grupo de crudos C muestra variaciones significativas de calidad con el tiempo que no siguen una tendencia definida, haciendo muy complicada la aplicación de herramientas de Planificación en estos casos.

Tanto los crudos tipo B como C necesitan actualizaciones de sus calidades en el banco de crudos, si bien de naturaleza muy diferente. Así, los crudos tipo B se actualizan bien cada cierto tiempo o bien cada cierto cambio de calidad. Los crudos tipo C suelen acabar representados en el banco de crudos por varios tipos de calidades, lo que conlleva el análisis de varios escenarios por las herramientas de Planificación.

Aunque no existen reglas fijas sobre la frecuencia de actualización de evaluaciones, en general, se suelen utilizar periodos de 2-3 años [2].

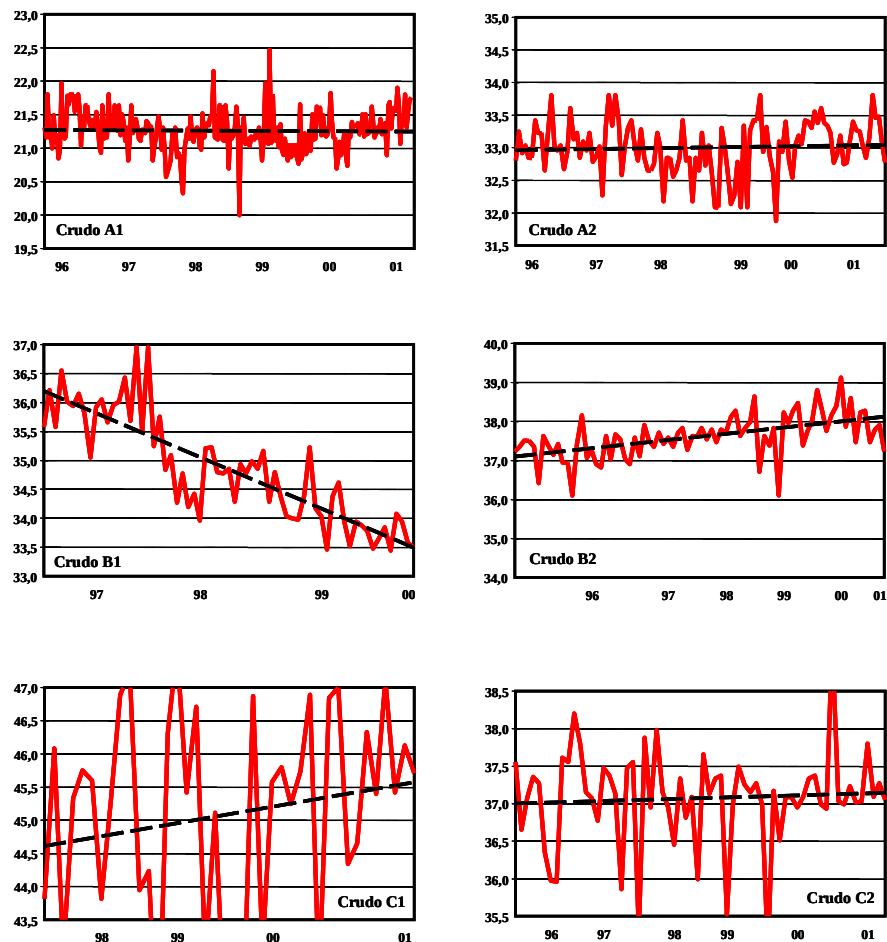


Figura 2. Cambios de calidad en la densidad API de varios crudos tipo.

Si bien sería materia de otro extenso trabajo, conviene indicar que la disponibilidad de bancos de crudos completos (muchos crudos y múltiples evaluaciones) permite disponer de una amplia base de datos con la que mediante técnicas estadísticas y correlaciones basadas en primeros principios se pueden desarrollar herramientas predictivas del tipo de nuestro modelo repCAPT (Repsol YPF Crude Assay Prediction Tool), de gran importancia para la actualización y mejora de la calidad de los bancos de crudos [3].

EL CICLO DE LA EVALUACION DE CRUDOS

Pero la evaluación de crudos no acaba en la determinación experimental de sus cortes y propiedades. Así, una vez efectuado el cierre del balance de materia del crudo y sus fracciones, comienza el desarrollo de un exhaustivo análisis de consistencia de la distribución de cada propiedad entre el crudo y sus fracciones. Todos los comentarios encontrados en esta fase crítica se llevan a una reunión interna, en la que los distintos especialistas involucrados tanto en la fase de análisis como en la determinación experimental, acuerdan repetir o no ensayos. Una vez se supera la reunión interna sin comentarios destacables, se publica la evaluación de crudos tanto en informes como en el banco de datos de la Compañía. En la Figura 3 se muestra el esquema completo del ciclo de evaluación comentado.

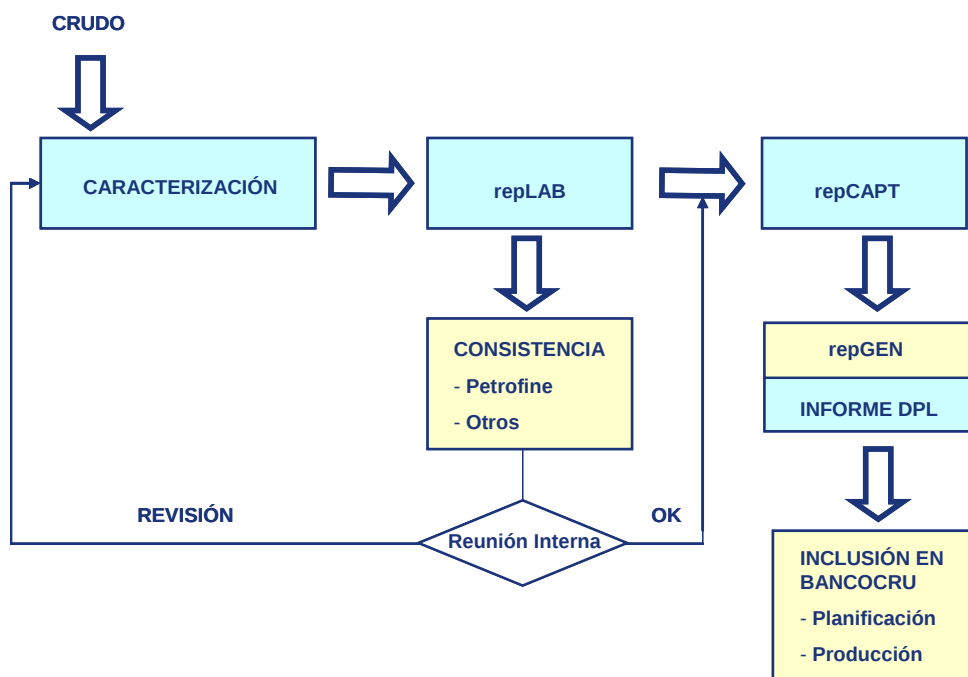


Figura 3. El ciclo de evaluación de crudos en Repsol YPF.

APLICACIÓN DE MÉTODOS DE CÁLCULO: ANALISIS DE CONSISTENCIA

Tal y como se ha comentado en el apartado anterior, se ha implementado un procedimiento de control de calidad de evaluaciones experimentales de crudos con el fin de detectar los errores analíticos aislados que pueden producirse al realizar el elevado volumen de análisis que constituye una evaluación experimental de un crudo. Este procedimiento define una serie de etapas de validación de los datos experimentales empleando herramientas de cálculo complementarias para detectar posibles errores analíticos o de transcripción de datos. Las herramientas propuestas en el procedimiento son las siguientes:

- Herramienta repLAB que realiza los cierres de balances de materia de la evaluación de laboratorio, homogeneizando los datos procedentes de las destilaciones atmosférica y de vacío. Permite detectar errores en densidades de cortes estrechos, y cerrar el balance de materia de azufre en el crudo.
- Herramienta de análisis de consistencia de crudos con PETROFINE que permite una sencilla visualización de los resultados obtenidos en la síntesis del crudo experimental, identificando errores y desviaciones de los valores calculados respecto a la evaluación del crudo.

Sin embargo, hay propiedades cuya consistencia no puede confirmarse mediante los procedimientos anteriores. Algunos de los problemas de este tipo ocurren cuando se producen anomalías en los puntos de corte o desviaciones sistemáticas en las medidas de un equipo. En estos casos, las propiedades de cortes pueden ser consistentes entre sí, a pesar de presentar valores incorrectos.

Otras situaciones en las que pueden presentarse desviaciones difícilmente detectables son aquellas en las que se dispone de pocos cortes en los que se evalúa una propiedad determinada. En esta situación no es posible realizar un cierre del balance que permita detectar inconsistencias, y una desviación en alguno de los análisis es difícil de detectar.

Para estos casos se propuso el desarrollo de técnicas alternativas que pudieran detectar este tipo de errores. Estas técnicas estarían basadas en dos aproximaciones alternativas:

- Realización de análisis complementarios que permitan detectar inconsistencias que afecten al conjunto de las propiedades, por ejemplo, desviaciones en los puntos de corte. Así, como solución a este punto se ha propuesto la realización de destilaciones simuladas de los diferentes cortes de destilación como confirmación de los datos de destilación TBP.
- Desarrollo de correlaciones cruzadas con otras evaluaciones previas, del mismo crudo o de otros similares, que permitan detectar este tipo de errores. Estas correlaciones realizan una predicción de una propiedad física para un corte siguiendo los esquemas de funcionamiento de repCAPT, por comparación con las que presentan otros crudos, bien de evaluaciones anteriores del mismo crudo, o bien de otros crudos similares. Las correlaciones se han desarrollado para las propiedades físicas prioritarias en la evaluación de un crudo según los criterios de la Unidad de Negocio, que corresponden a las propiedades necesarias para la valoración económica de los mismos.

El conjunto de las herramientas descritas se complementa, asegurando la calidad de toda la información contenida en la evaluación de crudo.

APLICACIONES DEL BANCO DE CRUDOS. USO DE MODELOS

En cualquier modelo global o individual de refinería el trabajo comienza con una correcta definición de la carga al mismo. Este hecho no sólo es de importancia en lo referente a la caracterización de la corriente de entrada sino en lo que respecta a la selección de la carga óptima con la que mejorar tanto rendimientos como calidades de productos en las distintas unidades de proceso.

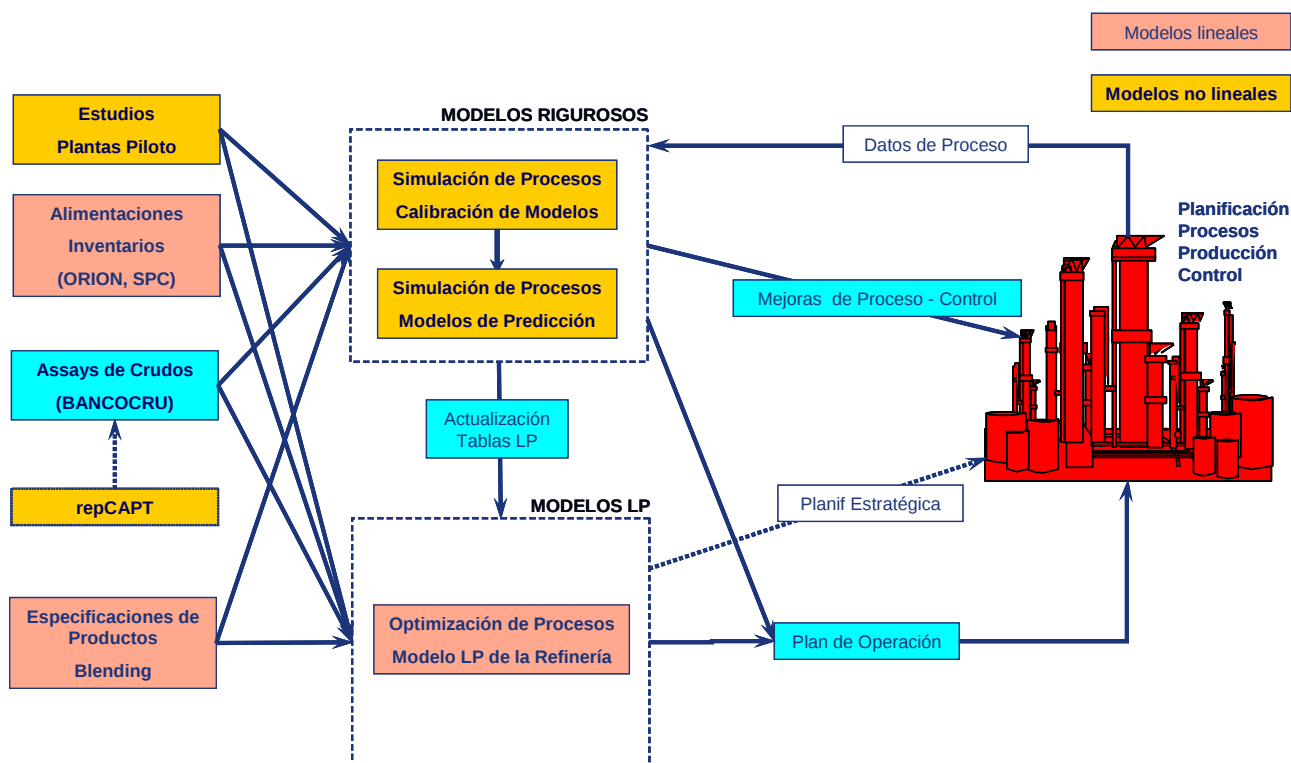


Figura 4. Modelos de refinería y banco de crudos.

Para cubrir los puntos indicados, Repsol YPF ha desarrollado un banco de crudos en el entorno PETROFINE, en el que se recogen las evaluaciones tanto propias como externas de los crudos procesados en las distintas refinerías de la Compañía. Este banco de crudos sirve como entrada de información no sólo a modelos rigurosos sino también a modelos lineales. Esto permitirá desde mejorar el óptimo de la Compañía integrando la estimación de rendimientos y calidades de los crudos en el plan de producción mensual (modelos lineales), hasta optimizar la operación de las unidades de refinería en el plan de producción diario (modelos rigurosos). En la Figura 4 se muestra la interacción entre el banco de crudos y las herramientas de cálculo disponibles por los grupos de Planificación y Procesos de la refinería.

a) Modelos de programación lineal

Los modelos de programación lineal (*Linear Programing*, LP) son ampliamente utilizados por parte del grupo de Planificación de refinería para confeccionar su plan de producción mensual y obtener su integración óptima dentro del plan de producción de la Compañía [4,5]. Por ello, estos modelos tienen una alta repercusión sobre los márgenes económicos de la Compañía. Básicamente, los modelos LP realizan una optimización masiva de la refinería ya que, a pesar del elevado número de ecuaciones que los integran, al ser lineales garantizan su convergencia y la obtención de un óptimo económico.

Para que dichos modelos LP representen en lo posible la realidad de la refinería necesitan disponer de información precisa de cada uno de los crudos procesados, ajustados al fraccionamiento de las unidades concretas de destilación de crudo y vacío [6]. Esta información constituye la base de la llamada tabla ASSAYS, fuente de información fundamental del modelo LP. Precisamente, se necesitará de la información del banco de crudos y de un modelo riguroso de las unidades de destilación para la adecuada generación de dicha tabla ASSAYS.

b) Modelos rigurosos de refinería

Los modelos rigurosos de refinerías simulan de forma secuencial el comportamiento de las distintas unidades que integran la misma. Por ello, parece claro que un adecuado banco de crudos proporcionará la información necesaria a los modelos de topping, transmisores de la alimentación del resto de unidades. Así, mediante el uso de un modelo global de refinería se pretende analizar el impacto que las cargas procesadas en cada unidad de refinería tendría en los rendimientos y calidades de sus productos, como componentes del blending final de combustibles (gasolinas, gasóleos, fuelóleos). Dicho modelo de refinería contempla, por un lado, las columnas de crudo y vacío, permitiendo ajustar el detalle de las propiedades de los distintos cortes de acuerdo con el fraccionamiento imperfecto de la planta industrial y, por otro, las unidades de conversión que conllevan reacción química y constituyen los procesos clave para la consecución de la demanda del mercado de combustibles y para la reducción de aquellos componentes no deseados en combustibles limpios (azufre, aromáticos, olefinas) [7,8].

La importancia de estos modelos es significativa, ya que suponen una herramienta crítica en el desarrollo de las actividades del grupo de Planificación de refinería, permitiendo predecir rendimientos y calidades de las distintas unidades para cada cambio de tanque de crudo, así como otras variables importantes como los puntos de corte de las columnas de crudo, o la formulación del blending. Con estas predicciones se elaboran una serie de tablas de resultados que se envían a Operación como referencia hasta disponer de datos experimentales, aproximadamente 24 horas después del cambio de tanque. Teniendo en cuenta que este cambio se realiza cada 3 ó 4 días la disponibilidad inmediata de información a través del modelo permite facilitar la operación y aumentar el margen de la refinería. En definitiva, estos modelos permiten expresar al máximo los beneficios de la cesta de crudos procesada por la refinería.

c) Mejora de métodos de predicción de propiedades

La gestión del banco de crudos por parte de PETROFINE conlleva una serie de aproximaciones tanto en procedimientos de cálculo de propiedades derivadas, como en métodos de mezcla (síntesis) de las propiedades analizadas. Así, es necesario un estudio crítico de los métodos de cálculo empleados en la confección de dicho banco. Para ello, se pone especial énfasis en aquellas propiedades claves en Planificación, así como, en las que suponen un dato de entrada necesario para los modelos de unidades de la refinería. En los últimos años se han revisado las siguientes propiedades, entre otras [9]:

- Densidad y rendimientos de naftas
- Pour point de residuos
- Distribución de metales
- Contenido en aromáticos
- Nitrógeno en destilados medios
- Viscosidad de residuos
- Efectos del solapamiento entre cortes.

BIBLIOGRAFIA

1. Pavlovic, K.R., "Gravity and Sulfur-based Crude Valuations More Accurate Than Believed", *Oil & Gas J.*, 1999, 97(47), 51-56.
2. COQG. "Panel Discussion On Crude Quality and Refining", Crude Oil Quality Group Meeting, Houston, TX, September 27, 2001.
3. Peña, J.L., "Improving Refinery Planning through better Crude Quality Control", en *Practical Advances in Petroleum Processing*, vol 2, Ed. Hsu, C.S. y Robinson, P.R., Springer, 2006.
4. Tucker, M.A., "LP Modeling – Past, Present and Future", KBC, 2001.
5. Di Vita, V.B.; Trierwiler, L.D., "The New LP", ERTC Computing 2003, Milan, Italy, June 23 25, 2003.
6. Miller, J. y Forrest, J., "Modeling Crude Unit Product Overlap for better Linear Program Modeling", NPRA Computer Conference 2001.
7. Forrest, J. y Reyes, E., "Companies find new value with Refinery-Wide Rigorous Simulation Solutions", *Hydrocarbon Processing ERTC Daily*, Nov. 2003.
8. Westphalen, D. y Shethna, H., "Refinery Wide Simulation", *Hydrocarbon Engineering*, Mar 2004.
9. Cabello, B. y López, A., "Revisión del Banco de Crudos de PETROFINE", Repsol YPF, 2004.