



*“Caracterización estadística del error en la
medición de la producción”*

YACIMIENTO PAMPA DEL CASTILLO

**Integrantes: Ariel Carrizo
Hugo Rodríguez
Mariano Ciapparelli**

Abril 2005

CARACTERIZACION ESTADISTICA DEL ERROR EN LA MEDICION DE LA PRODUCCION

Ariel Carrizo – Hugo Rodríguez – Mariano Ciapparelli
Sipetrol Argentina S.A. Yacimiento Pampa del Castillo – La Guitarra

ABSTRACT

El presente trabajo pretende evaluar estadísticamente el error en el control de la producción como resultado de la metodología actual de medición.

Ante una merma en la producción total, actualmente se dificulta encontrar los pozos que la causan debido a que nuestro yacimiento cuenta con 211 pozos productores afectados a una recuperación secundaria agresiva. Actualmente producimos 34000 m³/d de bruta con 1260 m³/d de petróleo.

La metodología utilizada combina la medición de la producción bruta a tanque de control con la toma de muestras en la boca del pozo para obtener su porcentaje de agua.

Para evaluar esto se fabricaron muestras patrones con diferentes porcentajes de agua y se ensayaron para evaluar los resultados estadísticamente de forma tal de representar las mediciones de producción y el error asociado a las mismas.

Se concluye que el error arrojado por este estudio resulta demasiado grande a los efectos de realizar un seguimiento de la producción de cada pozo, el error asociado a la sumatoria de las producciones individuales de cada pozo resulta de un orden aceptable, si comparamos la producción total del yacimiento con la medida en los pozos observamos diferencias y de acuerdo a ello podemos estimar el orden del factor de campo.

INTRODUCCIÓN

La medición de la producción de cada pozo se realiza midiendo su producción bruta y combinando este valor con el corte de agua de una muestra tomada en boca de pozo. A medida que transcurre el tiempo se va generando una curva de producción de cada pozo que resulta de suma importancia para diferentes análisis.

A medida que el yacimiento se fue tornando maduro nos encontramos con la problemática de que nos resulta cada vez más difícil encontrar los pozos causales de las variaciones en la producción, generalmente una merma en la producción de un pozo podría significar una variación menor al 1% de porcentaje de agua, si pensamos que esto se puede dar en la mayoría de los 211 pozos productores del yacimiento comprendemos el porqué de la afirmación anterior.

Independientemente de la dificultad para encontrar los pozos causales de la variación en la producción es importante destacar que las curvas que construyen las mediciones de producción de cada pozo resultan de suma importancia para gestionar la evolución de los reservorios y para evaluar los resultados de los proyectos asociados a cada zona.

A continuación expondremos una serie de datos y curvas con el fin de presentarles el estado actual del yacimiento y su historia:

Producción Bruta Total del Yacimiento : 34000 m³/d
Producción Seca Total del Yacimiento : 1250 m³/d
Caudal de agua inyectada: 32800 m³ /d
Cantidad de pozos Productores : 211
Cantidad de pozos Inyectores : 106
Cantidad de pozos Productores con BES : 129

CARACTERIZACION ESTADISTICA DEL ERROR EN LA MEDICION DE LA PRODUCCION

Ariel Carrizo – Hugo Rodríguez – Mariano Ciapparelli
Sipetrol Argentina S.A. Yacimiento Pampa del Castillo – La Guitarra

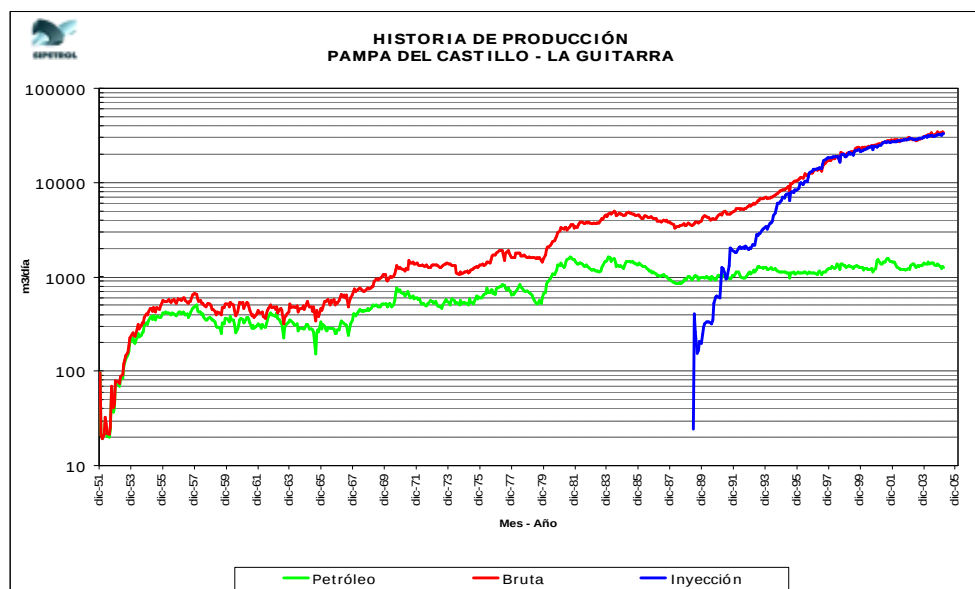
Cantidad de pozos Productores con BM : 79

Cantidad de Pozos con PCP : 3

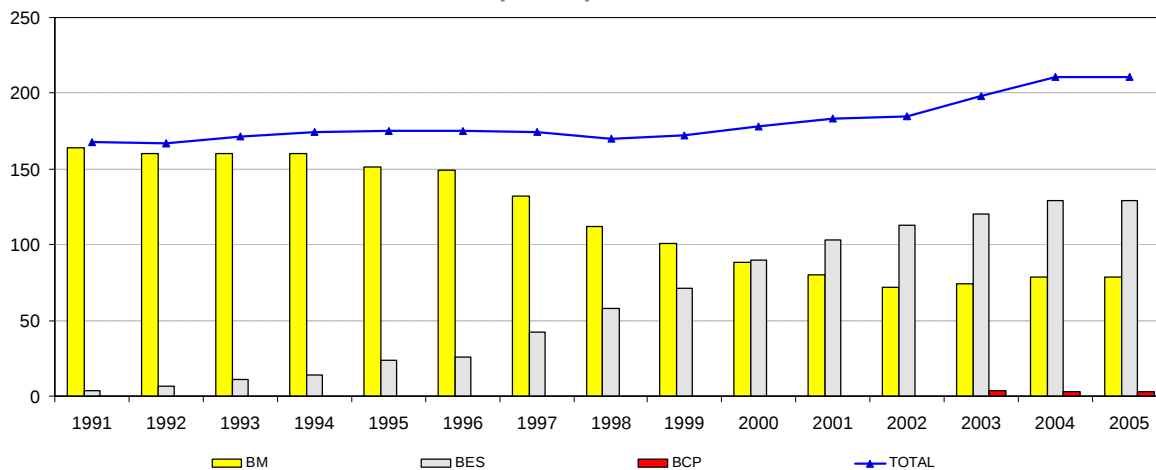
BES (Bombeo Electrosumergible)

BM (Bombeo Mecánico)

PCP (Pump Cavity Progressive)



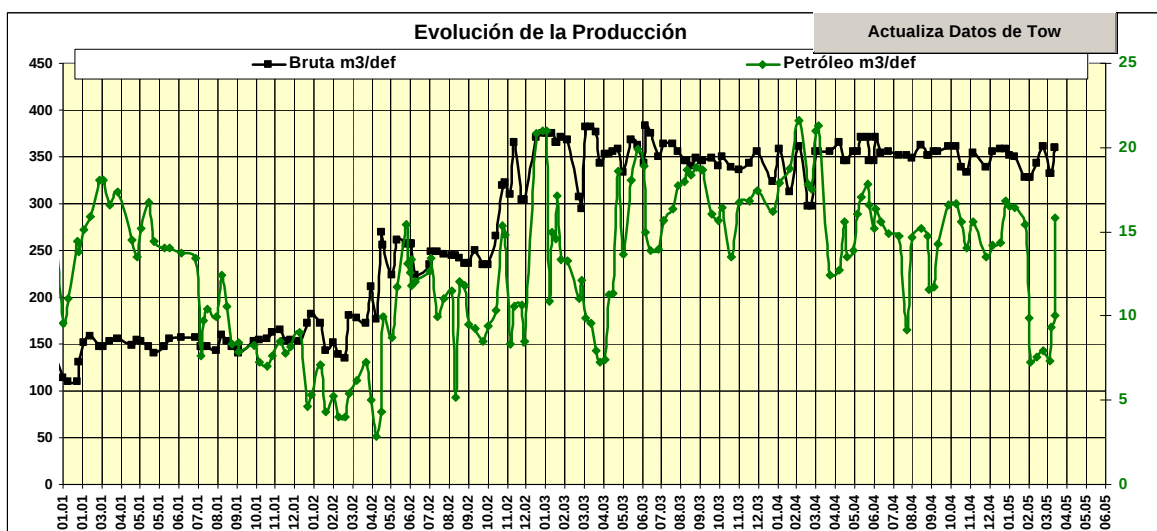
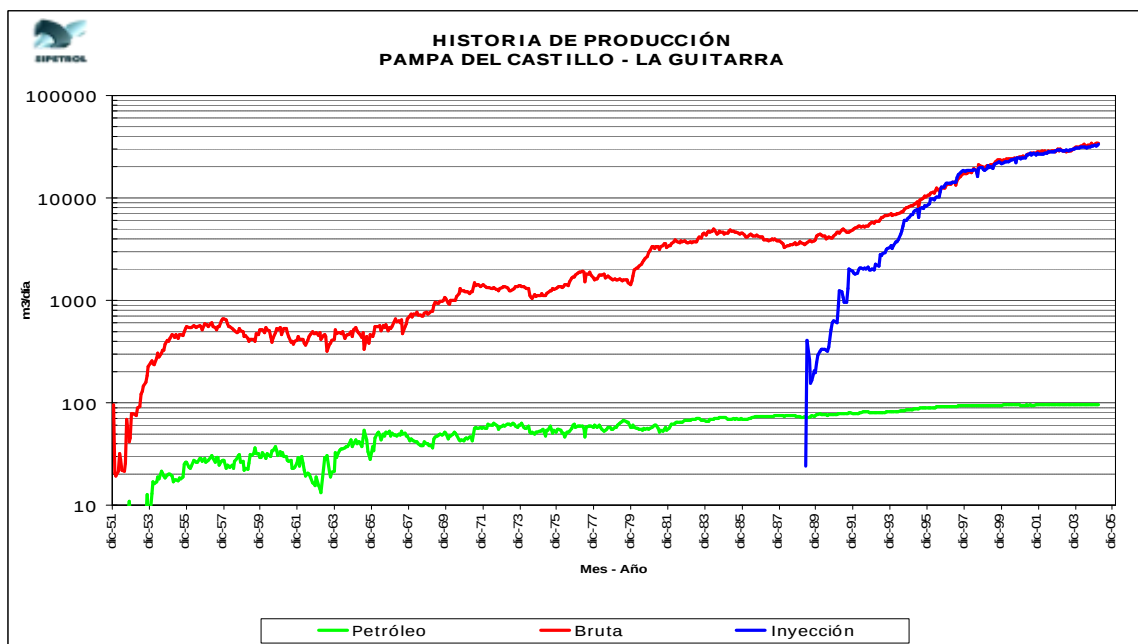
Distribución de pozos por sistema extractivo



CARACTERIZACION ESTADISTICA DEL ERROR EN LA MEDICION DE LA PRODUCCION

Ariel Carrizo – Hugo Rodríguez – Mariano Ciapparelli
Sipetrol Argentina S.A. Yacimiento Pampa del Castillo – La Guitarra

Presentamos la curva de Producción de un pozo tipo:



En este trabajo se pretende analizar el error resultante de la producción seca evaluando estadísticamente el error de las muestras y su validez a los efectos para los cuales se realizan estas mediciones. Para ello creímos necesario antes de proponer cualquier solución y/o ensayo, determinar con qué precisión estamos midiendo en la actualidad y si estimamos que esta precisión resulta suficiente para nuestro propósito.

CARACTERIZACION ESTADISTICA DEL ERROR EN LA MEDICION DE LA PRODUCCION

Ariel Carrizo – Hugo Rodríguez – Mariano Ciapparelli
Sipetrol Argentina S.A. Yacimiento Pampa del Castillo – La Guitarra

DESSARROLLO

Debido a que, como en toda industria de proceso, es necesario tener un control de calidad en cada uno de los procesos que nos lleve a la obtención de nuestro producto, resulta primordial el conocimiento lo más preciso posible de todos los factores que inciden en cada proceso y en qué magnitud esos factores inciden sobre la calidad de nuestro producto.

Actualmente las muestras que se toman en boca de pozo se realizan llenando un bidón de 20 lt de producción que el laboratorio de la planta procesa según la Norma ASTM 4007, desconocemos a ciencia cierta la precisión con la cual esta norma asegura el resultado de las mediciones, por lo tanto en primera instancia reconocemos una falla en las mediciones que actualmente se toman de los pozos debido a que las mismas arrojan un número y no establecen una estimación del error de la magnitud medida, esta realidad se contrapone con los principios elementales del control de calidad de cualquier proceso. Para llegar a estimar este error es menester tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Según sea la naturaleza de la magnitud que se investiga, el instrumento de medida puede tener distintos grados de complejidad, no obstante cualquiera sea su construcción los datos experimentales siempre acarrearán errores.
- Para tratar estos datos de una manera crítica y poder discernir cuáles de las magnitudes que arrojen como resultado son ciertas y cuáles dudosas es preciso establecer el error con que se miden estas magnitudes.
- La tarea de determinar el error de una magnitud medida en la práctica no es sencilla. La mayor dificultad radica en que la medición va acompañada de la acción y la interacción de un gran número de los más diversos factores, que influyen en uno o en otro grado sobre el resultado de la medición. En primera instancia no trataremos de minimizar estos factores sino de tratarlos estadísticamente con el fin de conocer las cotas (o límites probabilísticos) de estas incertezas.

Nuestro análisis tratará de estudiar el error de la magnitud “porcentaje de agua” con el método actual de medición

El caso que nos ocupa se corresponde con el de la medición de una magnitud aleatoria continua (el porcentaje de agua es una magnitud que puede tomar cualquiera de los números reales de 0 a 100).

Existe una ley de distribución que se refiere a una relación matemática determinada entre los valores posibles de una magnitud aleatoria y las probabilidades de su aparición.

Cabe destacar que por tratarse de una variable aleatoria continua el valor del corte de agua sea, con una probabilidad del $p\%$, $x\%$, la forma correcta de indicar este valor es decir que con una probabilidad del $p\%$ el corte de agua se encuentra entre los valores $X - \Delta x \leq X \leq X + \Delta x$

En muchos estudios se observa un tipo de distribución con forma de campana a la cual se la denomina Normal

CARACTERIZACION ESTADISTICA DEL ERROR EN LA MEDICION DE LA PRODUCCION

Ariel Carrizo – Hugo Rodríguez – Mariano Ciapparelli
Sipetrol Argentina S.A. Yacimiento Pampa del Castillo – La Guitarra

Ejemplos

- Caracteres morfológicos de individuos de una especie
- Caracteres fisiológicos por ejemplo: Efecto de una misma dosis de un fármaco, o de una misma cantidad de abono.
- Caracteres Sociológicos, por ejemplo: Consumo de cierto producto por un mismo grupo de individuos, puntuaciones de examen.
- Caracteres psicológicos, por ejemplo: Cociente intelectual, grado de adaptación a un medio.
- **Errores cometidos al medir magnitudes**
- Valores estadísticos muestrales por ejemplo, la media.
- Otras distribuciones como la binomial o la de Poisson son aproximaciones normales y en general cualquier característica que se obtenga como suma de muchos factores.

Para realizar este trabajo evaluamos, en primera instancia, el error de medición del laboratorio. Para esto se contrató un servicio externo que preparó muestras. Cabe la aclaración de que el servicio preparó dichas muestras utilizando los envases y volúmenes que normalmente son llevados a la planta con muestras del pozo y con un número de referencia para su identificación. Para la realización de estas muestras se dotó al laboratorio de crudo seco y agua de inyección para la realización de estas muestras. La forma en que se realizaron estas muestras siguió el siguiente diagrama, la precisión para la preparación de estas muestras fue del 0,025 %

- 20 muestras que se encuentren entre el 0% de agua y el 20 % de agua.
- 20 Muestras que se encuentren entre el 20% y el 40% de agua.
- 20 Muestras que se encuentren entre el 40% y el 60% de agua.
- 20 Muestras que se encuentren entre el 60% y el 80% de agua.
- 20 Muestras que se encuentren entre el 80% y el 90% de agua .
- 20 Muestras que se encuentren entre el 90% y el 95 % de agua.
- 20 Muestras que se encuentren entre el 95% y el 100% de agua.

La mitad de estas muestras fueron procesadas por el laboratorio de la planta y la otra mitad se procesó en un laboratorio externo.

A continuación se expondrán algunas consideraciones teóricas que se tuvieron en cuenta para la realización de este trabajo:

Existen dos formas diferentes de obtener la magnitud objeto de interés, la primera es cuando la misma es resultado directo de la medición del aparato o metodología (mediciones directas) y la segunda cuando se utiliza una medición o metodología y, a través de ella se realiza un cálculo y se obtiene la magnitud de interés.

En nuestro caso consideraremos que la sistematología para medir el porcentaje de agua (laboratorio) nos entrega una medición directa y nosotros utilizamos esta medición y,

CARACTERIZACION ESTADISTICA DEL ERROR EN LA MEDICION DE LA PRODUCCION

Ariel Carrizo – Hugo Rodríguez – Mariano Ciapparelli
Sipetrol Argentina S.A. Yacimiento Pampa del Castillo – La Guitarra

mediante un cálculo con otra magnitud (la producción bruta del pozo) estimaremos la producción seca del pozo

Podremos observar que, si bien el aparato de medida puede llegar a tener una determinada precisión la calidad de las mediciones depende también de muchos otros factores sistemáticos que pueden acarrear un error mayor en las mediciones que la precisión con la que el aparato de medida fue construido.

Un experimentador que haga la misma medida varias veces no obtendrá, en general, el mismo resultado, no sólo por causas imponderables como variaciones imprevistas de las condiciones de medida: Temperatura; presión Humedad; etc sino también, por las variaciones en las condiciones de observación del experimentador.

Media:

El valor medio se aproximará tanto más al valor verdadero de la magnitud cuanto mayor sea el número de medidas, ya que los errores aleatorios de cada medida se va compensando unos con otros. De acuerdo con la teoría de Gauss de los errores, que suponen que estos se producen por causas aleatorias, se toma como la mejor estimación del error, el llamado error cuadrático definido por:

$$\Delta x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

Debido a que conocemos que el error de una medición se distribuye según las características de una distribución normal preferiremos utilizar el valor Δx en función de la probabilidad que estimemos resulte mejor para trabajar.

De todas formas, el error cuadrático medio de Gauss implica para una distribución normal, trabajar con un semiancho de error igual a una desviación estándar lo que implica un 68% de probabilidad de que el valor real se encuentre dentro de este rango.

El resultado de este experimento se expresa como $[x] \pm \Delta x$ mas la unidad de medida

Importante: La identificación del error de un valor experimental con el error cuadrático obtenido de n medidas directas consecutivas, solamente es válido en el caso de que el error cuadrático sea mayor que el error instrumental, es decir, que aquél que viene definido por la resolución del aparato de medida.

En muchos casos el valor experimental de una magnitud se obtiene, de acuerdo a una determinada expresión matemática, a partir de la medida de otras magnitudes de las que depende.

Se trata de conocer el error en la magnitud derivada a partir de los errores de las magnitudes medidas directamente.

La magnitud y viene determinada por la medida de varias magnitudes p,q,r,etc por las que está ligada por la función $y = f(p,q,r,...)$. El error de la magnitud y viene dado por la siguiente expresión:

$$\Delta y = \sqrt{\left(\frac{df}{dp} \Delta p\right)^2 + \left(\frac{df}{dq} \Delta q\right)^2 + \left(\frac{df}{dr} \Delta r\right)^2 + \dots} \quad (B)$$

CARACTERIZACION ESTADISTICA DEL ERROR EN LA MEDICION DE LA PRODUCCION

Ariel Carrizo – Hugo Rodríguez – Mariano Ciapparelli
Sipetrol Argentina S.A. Yacimiento Pampa del Castillo – La Guitarra

PROPAGACIÓN DE ERRORES

SUMA: $z = x + y$ $\Delta z = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$

RESTA: $z = x - y$ $\Delta z = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$

PRODUCTO: $z = x \cdot y$ $\frac{\Delta z}{z} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2}$

COCIENTE: $z = x / y$ $\frac{\Delta z}{z} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2}$

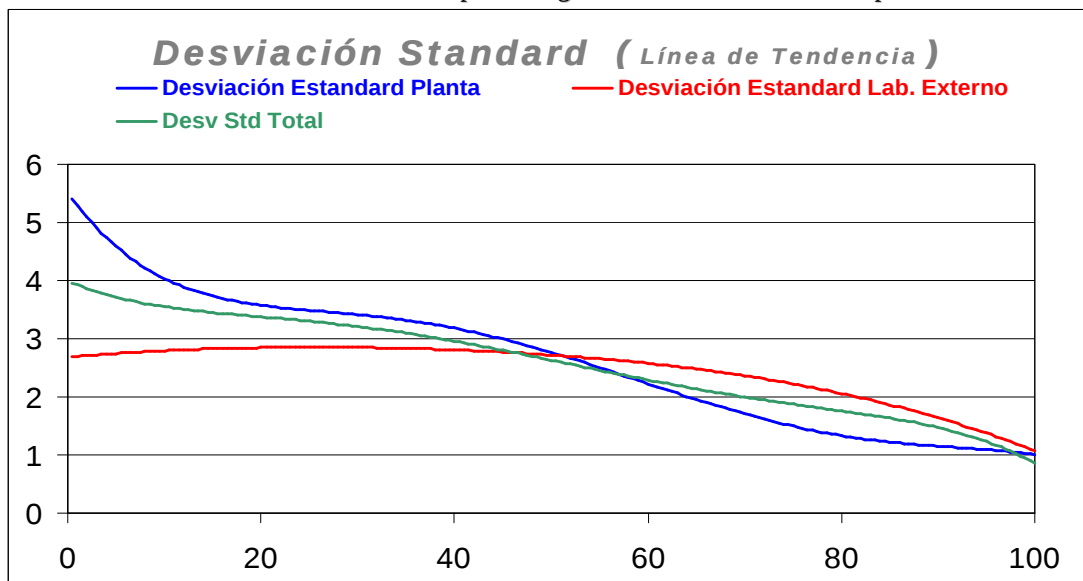
La mitad de las muestras que fueron fabricadas se analizaron en el laboratorio de la planta del Yacimiento y la otra mitad se contrató un laboratorio externo para realizar estas mediciones.

Se listaron las muestras ordenándolas de acuerdo al porcentaje de agua con que fueron preparadas y se compararon con los resultados que proporcionaron cada uno de los laboratorios.

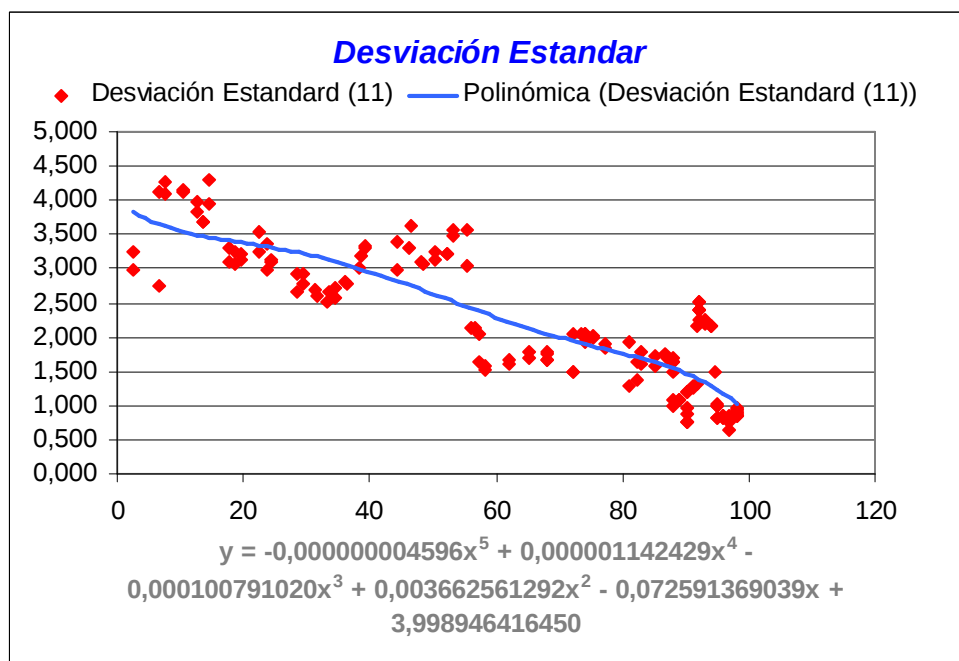
Se calculó para cada muestra la desviación estándar considerando su diferencia y las diferencias de un entorno de cinco muestras. Se realizó esta tarea discriminando los dos laboratorios que realizaron las muestras y se comparó con el mismo análisis tomando la totalidad de los datos sin discriminar el laboratorio que procesó la muestra. Se compararon los resultados y se obtuvo lo siguiente:

CARACTERIZACION ESTADISTICA DEL ERROR EN LA MEDICION DE LA PRODUCCION

Ariel Carrizo – Hugo Rodríguez – Mariano Ciapparelli
Sipetrol Argentina S.A. Yacimiento Pampa del Castillo – La Guitarra



Debido a que no existen grandes diferencias en los resultados de los dos laboratorios para los porcentajes de agua usuales del yacimiento se decidió tomar la curva total para determinar la desviación estándar en función del porcentaje de agua:



CARACTERIZACION ESTADISTICA DEL ERROR EN LA MEDICION DE LA PRODUCCION

Ariel Carrizo – Hugo Rodríguez – Mariano Ciapparelli
Sipetrol Argentina S.A. Yacimiento Pampa del Castillo – La Guitarra

Obtenida esta función y considerando que estas diferencias se distribuyen con la característica de una distribución normal, podremos establecer el error para una desviación estándar (definida en función de el porcentaje de agua) definiendo la probabilidad con la que estimamos conveniente trabajar. Por ejemplo, es sabido que si definimos trabajar con un 68% de certeza el intervalo correspondiente será $\pm$ una desviación estándar, otra forma de decirlo es que con un 68% de certeza podremos asegurar que el porcentaje de agua estará en $X - \Delta x \leq X \leq X + \Delta x$, siendo Δx una desviación estándar. Para un 95% de certeza Δx será 2 desviaciones estándar.

Se expondrán las curvas características de producción de tal forma de representar las producciones secas no con una curva de producción sino con la franja de producción que surja de los errores previamente establecidos y en función del porcentaje de certeza con el que definamos trabajar. Para lograr esta representación debemos calcular el error de la producción seca sabiendo que la misma responde a la siguiente ecuación:

$$(A) P_s = Q_b (1 - \% H_2O)$$

Donde:

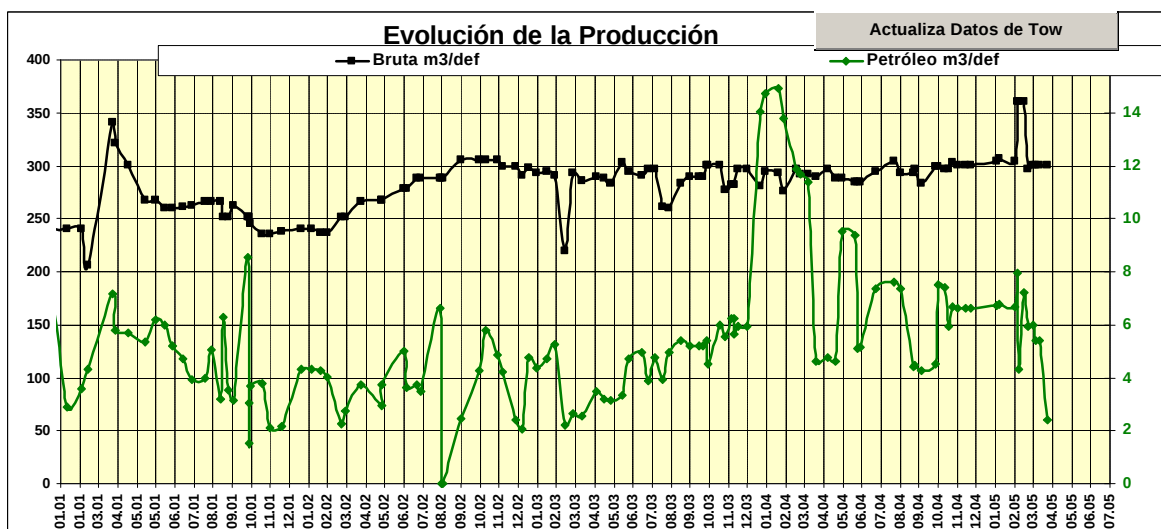
P_s = Producción de petróleo seco.

Q_b = Caudal de producción Bruto.

$\% H_2O$ = Porcentaje de agua.

Cabe destacar que en este trabajo pretendimos estudiar la sensibilidad del cálculo de la producción seca con la medición del porcentaje de agua y por ello no consideramos el error en la medición del caudal bruto del pozo.

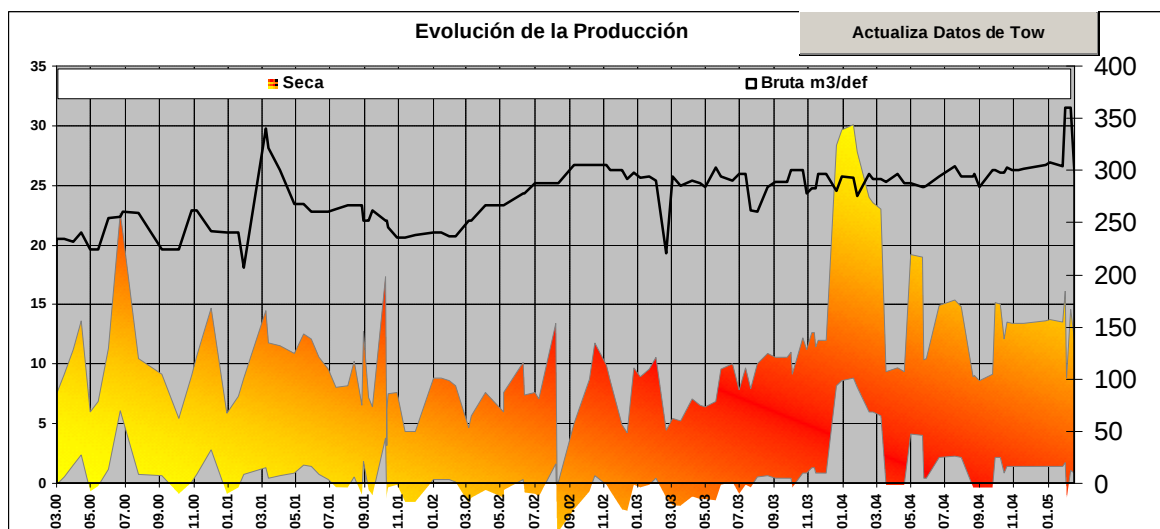
Derivando la ecuación (A) y reemplazando en la ecuación (B) con el error en el porcentaje de agua calculado en función de la certeza con la que pretendemos la medición obtendremos el error en la medición de la producción seca. Estamos en condiciones de transformar la curva:



CARACTERIZACION ESTADISTICA DEL ERROR EN LA MEDICION DE LA PRODUCCION

Ariel Carrizo – Hugo Rodríguez – Mariano Ciapparelli
Sipetrol Argentina S.A. Yacimiento Pampa del Castillo – La Guitarra

En la siguiente



El gráfico anterior se lee de la siguiente manera:

Con una probabilidad del 90% la producción seca del pozo se encuentra entre 1.5 m³/d y 13 m³/d durante el mes de Noviembre de 2004. Es claro que este dato nos sirve de poco y analizaremos esto en las conclusiones.

Aplicando la teoría de propagación de errores se estimó el error correspondiente a la medición de la producción seca de la totalidad de los pozos productores.

El cálculo de la producción total del yacimiento como la suma de las producciones individuales de cada pozo posee un error que se calcula aplicando la teoría de propagación de errores según la siguiente ecuación:

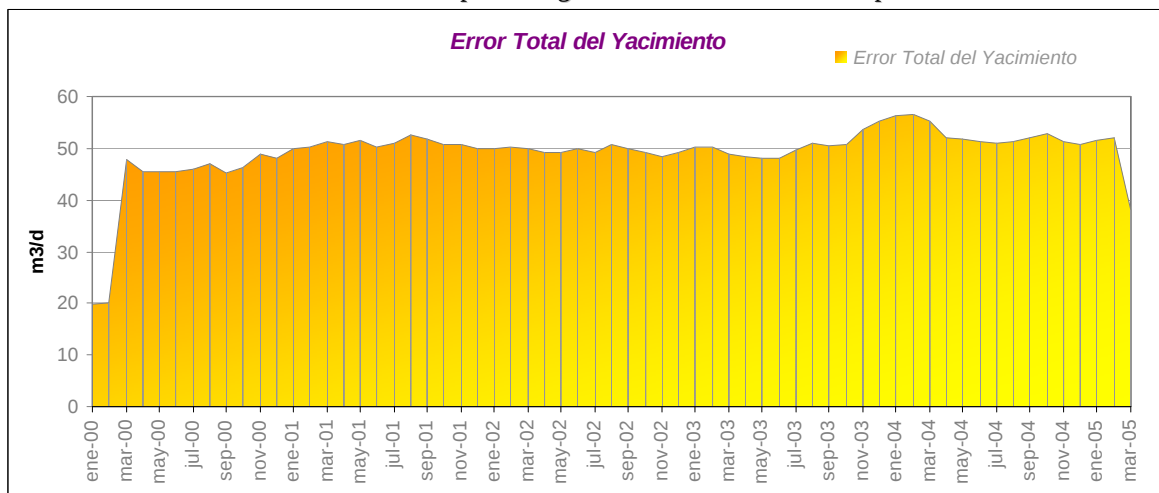
$$\text{SUMA: } z = x + y + \dots \quad \Delta z = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + \dots}$$

Donde los Δi son cada uno de los errores individuales de cada pozo.

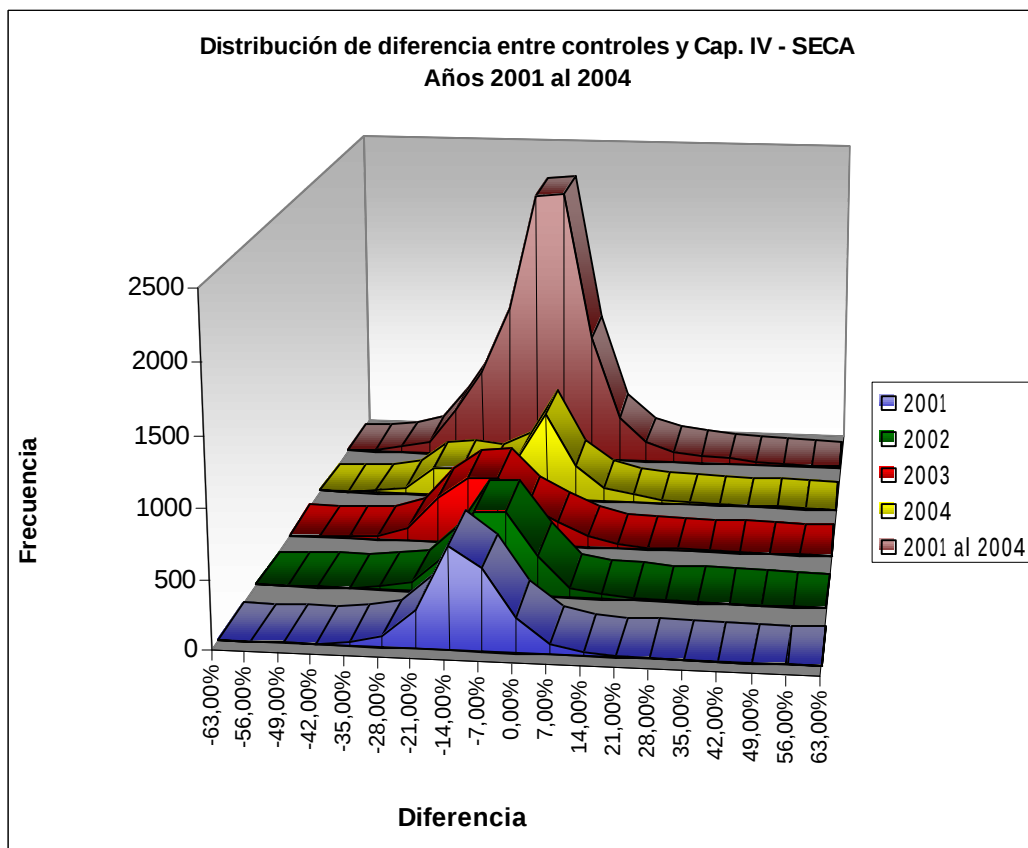
Para una certeza del 90% en las mediciones de cada uno de los pozos se obtendrá la siguiente curva:

CARACTERIZACION ESTADISTICA DEL ERROR EN LA MEDICION DE LA PRODUCCION

Ariel Carrizo – Hugo Rodríguez – Mariano Ciapparelli
Sipetrol Argentina S.A. Yacimiento Pampa del Castillo – La Guitarra



Se utilizó una comparación realizada a principios de año que muestra las diferencias entre la suma de las producciones medidas en horas calendario con las producciones vendidas según capítulo cuarto, y su variación en el tiempo.



CARACTERIZACION ESTADISTICA DEL ERROR EN LA MEDICION DE LA PRODUCCION

Ariel Carrizo – Hugo Rodríguez – Mariano Ciapparelli
Sipetrol Argentina S.A. Yacimiento Pampa del Castillo – La Guitarra

El gráfico anterior se puede comparar con el error total del yacimiento y en las conclusiones nos detendremos en ello en el punto 3.

Conclusiones

- 1- Observando la franja de producción con una certeza aceptable concluimos que en la mayoría de los pozos resulta el error de la producción seca de un orden que no nos permite discernir la evolución de los pozos, con esto queremos expresar que con una certeza aceptable estos pozos tienen una producción que podría estar entre a y b m³/d de seca y que a-b resultan de un orden superior al aceptable para cualquier análisis que se pretenda de la evolución de producción del pozo.
- 2- Si obtenemos la producción medida en el yacimiento como la suma de las producciones medidas en cada pozo y propagamos los errores obtenemos la precisión (error) de la producción total del Yacimiento y encontramos que, trabajando con una certeza aceptable, la magnitud del error que resulta será suficiente para estimar la producción total del yacimiento.
- 3- Considerando lo dicho en el punto 2 podremos comparar esta medición con la comparación de las diferencias entre la suma de las producciones medidas en horas calendario con las producciones vendidas según capítulo cuarto, y su variación en el tiempo.
Como se podrá observar existen diferencias marcadas que no concuerdan con el error resultante de la propagación de errores de las muestras de los pozos, lo llamativo es que siempre estas diferencias dieron a favor de las producciones medidas. Con lo cual estimamos que las medias de producción calculadas de las mediciones de los pozos son mayores a la producción vendida por el yacimiento, esto es lo que nosotros denominamos “Factor de Campo” y lo podemos estimar en un 10% de la producción, trabajaremos en conocer a qué se debe y estimar cuáles son las variables que lo influyen, para esto será menester saber los detalles de todo lo acontecido en las diferentes partes del proceso productivo desde boca de pozo hasta la unidad Lact, por otra parte debemos reconocer otra fuente posible de errores que radica en estimar si las condiciones actuales de toma de muestras en boca de pozo son las correctas y estimar todo lo que ocurre desde la toma hasta su procesamiento en la planta. En síntesis, la producción medida en boca de pozo resulta mayor que la producción de la unidad Lact, el coeficiente de campo implica el desconocimiento de diferentes fenómenos en las fases de producción, deberemos definir si aceptamos la incertidumbre o si justificamos una inversión para cualificar y cuantificar los desvíos.
- 4- Con la metodología que actualmente utilizamos para medir la producción de los pozos sería necesario que la muestra tomada en boca de pozo sea lo más representativa posible de la producción del pozo y además deberíamos poder

CARACTERIZACION ESTADISTICA DEL ERROR EN LA MEDICION DE LA PRODUCCION

Ariel Carrizo – Hugo Rodríguez – Mariano Ciapparelli
Sipetrol Argentina S.A. Yacimiento Pampa del Castillo – La Guitarra

medirla con una precisión mucho mayor de forma tal que nos permita evaluar la evolución de la producción en el pozo.

Del análisis de este trabajo resulta que, en función de obtener una medición representativa, deberemos diseñar una metodología nueva para medir la producción de los pozos cuyo error no nos permita seguir la evolución de su producción, se pretende encarar este estudio desde el punto de vista de minimizar el resultado del error analizando la dependencia de las variables y aplicando, para cada propuesta, un estudio de la propagación de errores según:

$$\Delta y = \sqrt{\left(\frac{df}{dp} \Delta p\right)^2 + \left(\frac{df}{dq} \Delta q\right)^2 + \left(\frac{df}{dr} \Delta r\right)^2 + \dots} \quad (B)$$

Todo este trabajo arrojará como resultado diferentes tipos de tareas a realizar y controles adicionales en el proceso productivo que insumirán una inversión la cual deberá ser estudiada técnico-económicamente.

El hecho de manejarnos en el futuro de esta manera para leer la productividad del yacimiento nos lleva a la posible modificación de muchas tareas que se han llevado a cabo de una forma durante años, pero también es sabido que este tipo de problemática se viene observando desde hace mucho tiempo en el yacimiento y se comparte con otros yacimientos de la cuenca que están produciendo con altos porcentajes de agua. No sabemos si de esta manera llegaremos a la solución de la problemática, pero lo que sabemos es que dicha solución acarreará modificaciones substanciales que llevarán a cambiar la forma de realizar algunas tareas que son rutinarias debido a que no podemos esperar otro resultado si seguimos haciendo las cosas de la misma forma.

Como todo cambio a implementarse dentro de una organización se requiere del total convencimiento de quienes la dirigen y del compromiso de cada uno de los integrantes del proceso.