

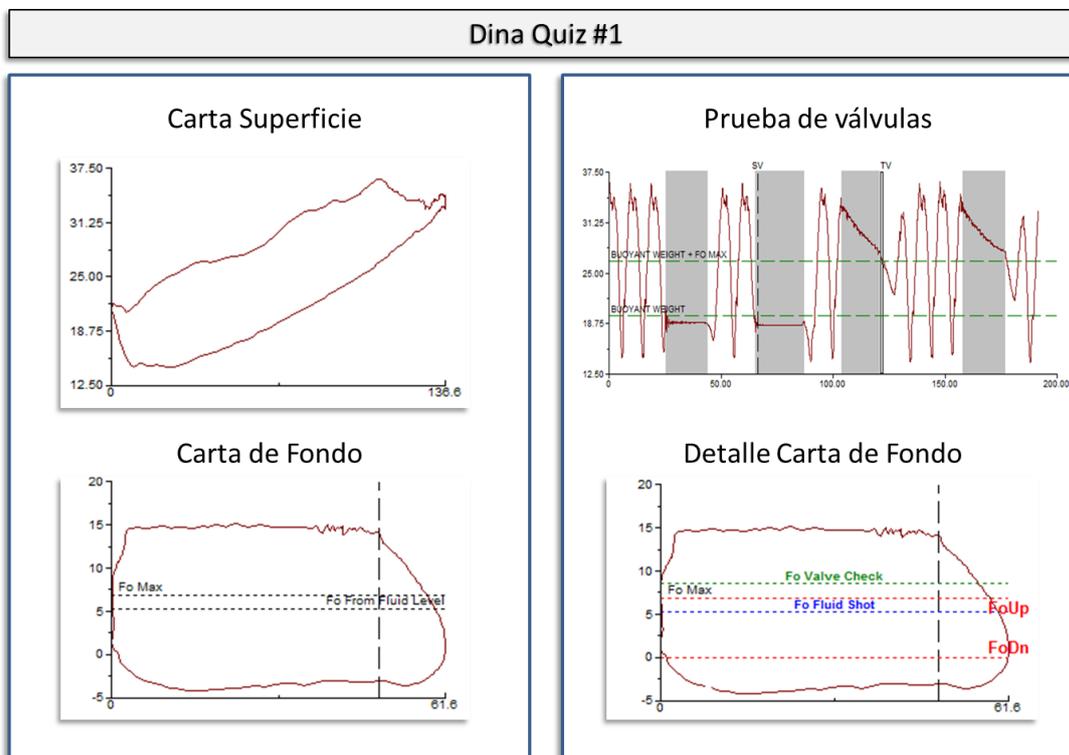
# Dina Quiz #1

Por Pablo Subotovsky

## Prólogo:

Este es un ejemplo que disfruto mucho analizarlo en los talleres de bombeo mecánico, ya que al mirarlo inicialmente, las pruebas parecen estar indicándonos un problema determinado. Pero a medida que uno comienza a analizar los datos en detalle, empezamos a notar que el comportamiento de algunas variables no concuerdan con nuestra teoría inicial de la situación de la bomba, y luego de este detallado análisis terminamos concluyendo un problema completamente diferente al original. Bien podría tratarse de un capítulo de la conocida serie "Dr. House", en donde pese a tener un diagnóstico inicial, luego de debatir sobre todas las pruebas y análisis que tenemos (cartas dinamométricas y prueba de válvulas en nuestro caso) finalmente damos con un diagnóstico final capaz de describir el comportamiento observado.

## Introducción:



## Análisis:

Al observar la carta de fondo, vemos que al inicio de la carrera ascendente hay una demora de la transferencia de carga correspondiente al cierre de la válvula viajera, y antes de llegar al PMS (punto muerto superior) vemos que la tensión comienza a caer (se adelanta la transferencia de carga correspondiente a la apertura de la válvula viajera) (**Fig.1**).

Esta carta se asemeja mucho a la clásica carta de pérdida en válvula viajera\*: En los momentos que la válvula viajera está cerrada (carrera ascendente) y el pistón se mueve lento (o sea al inicio de la carrera ascendente y al finalizar la misma) el efecto de las pérdidas a través de la válvula viajera es muy marcado. Al aumentar la velocidad del pistón (mitad de la carrera ascendente) el desplazamiento instantáneo de la bomba le gana en gran medida a las pérdidas. Por eso al mirar la dinamometría vemos que a la mitad de la carrera ascendente el pistón toma carga, mientras que en la parte inicial y final de la carrera perdemos peso, dando una forma de “medialuna” a la carta.

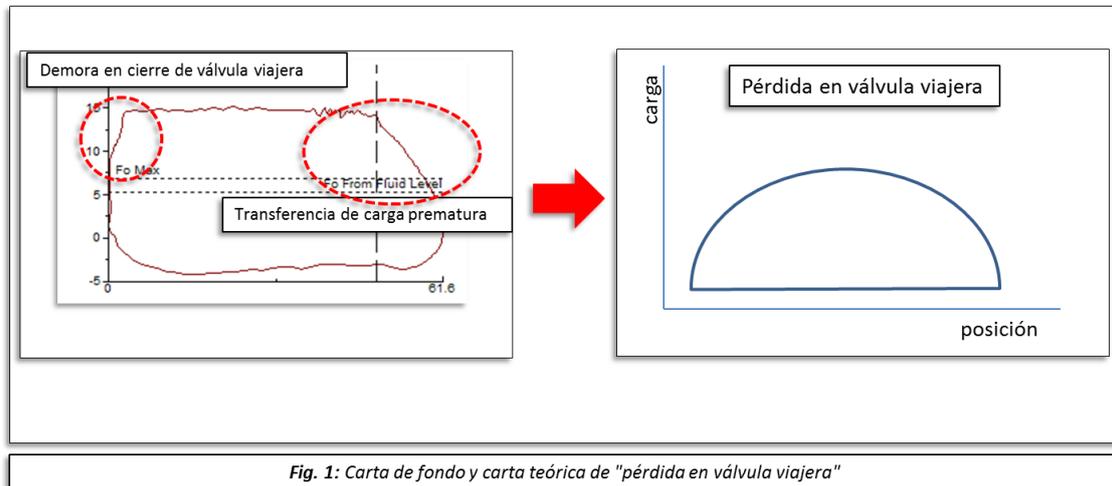
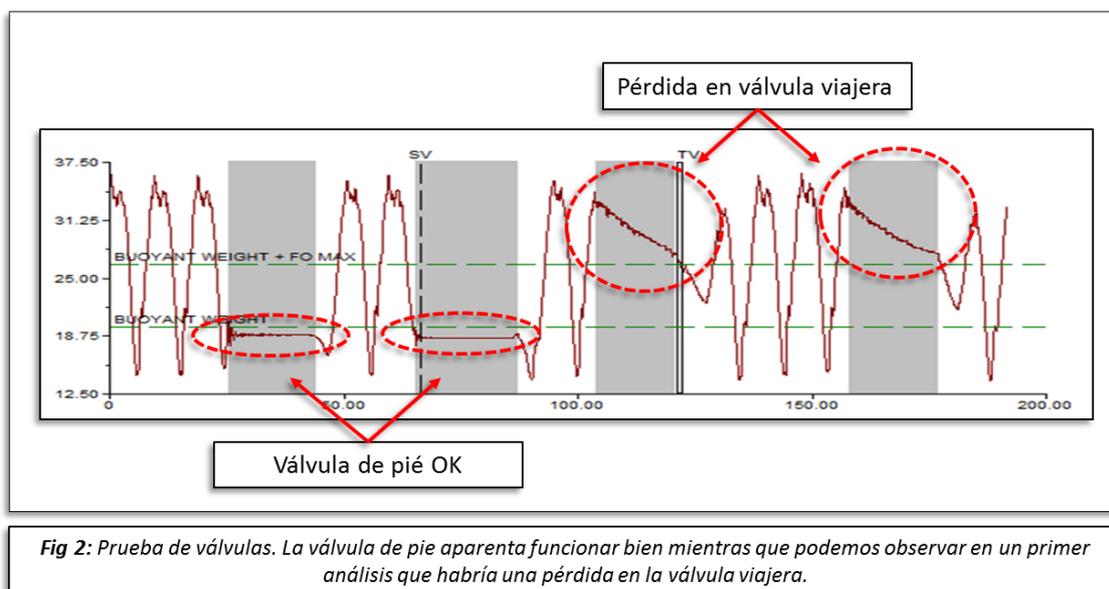


Fig. 1: Carta de fondo y carta teórica de "pérdida en válvula viajera"

**Nota:** Puede haber otros problemas que nos den una carta similar a la de “pérdida en válvula viajera”. El caso más común es causado por una excesiva luz diametral, por ejemplo por pérdida de espesor del barril o del pistón (algo que podemos observar si usamos una bomba con barril cromado luego de hacer un bacheo de ácido en un pozo). Se puede llegar a mejorar un poco más el diagnóstico realizando varias pruebas de válvula frenando el equipo en la misma posición y luego en diferentes posiciones de la carrera ascendente.

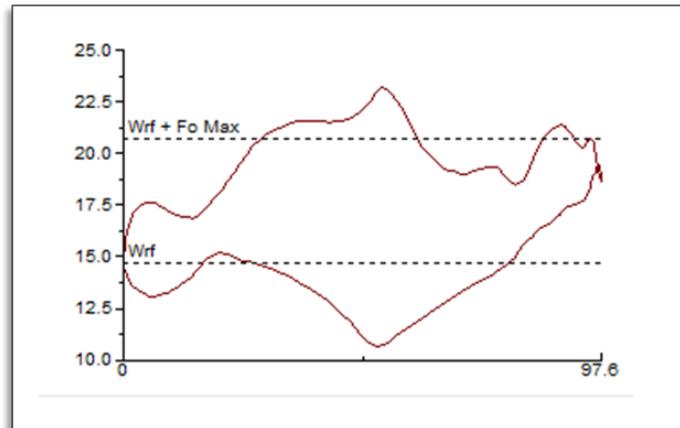
Si miramos las pruebas de válvulas, vemos que en la válvula de pie no se nota pérdida, pero en la prueba de la válvula móvil vemos una fuerte caída de tensión. Tomando en consideración ambos registros (carta dinamográfica y prueba de válvulas) uno podría concluir que el problema que tenemos aquí es una pérdida en válvula viajera.



**Fig 2:** Prueba de válvulas. La válvula de pie aparenta funcionar bien mientras que podemos observar en un primer análisis que habría una pérdida en la válvula viajera.

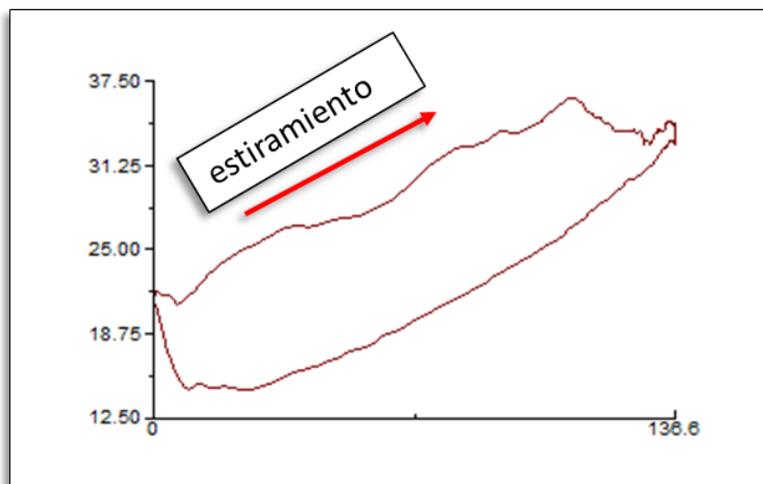
Pero este análisis es erróneo, ya que hay varias pistas que, si las miramos en detalle, no pueden ser explicadas mediante la suposición de una pérdida en válvula viajera. De hecho, la primera pista que nos debería llamar la atención no está en la carta de fondo sino en la carta de superficie. Muchas veces tendemos a ignorar la carta de superficie y focalizar nuestro análisis únicamente en la carta de fondo, lo cual a la hora de enfrentarnos a problemas complejos, es un error. No tenemos que olvidarnos que la carta de fondo es producto de un cálculo matemático tomando como entrada la carta de superficie (la que realmente se mide) y los parámetros del pozo. Para poder construir esta carta de fondo sintética, los programas toman ciertos valores como fricción de la sarta y la bomba, flotabilidad de las varillas, etc. Y a partir de ellos resuelven la ecuación de la onda para dar finalmente con una representación de la carta de fondo. El problema está en que si en el pozo tenemos alguna condición tal que nos incide en estos parámetros que el programa toma por defecto (densidad del fluido dentro del tubing, fricción, etc.), entonces el dibujo de la carta de fondo va a ser “errado”, va a estar suponiendo que la bomba es responsable del comportamiento observado cuando en realidad la causa puede estar en otro lado. Dicho de otra manera, lo que hace el software es trasladar cualquier situación anómala en el sistema a un “comportamiento de la bomba”. Este caso de estudio es un ejemplo de como una variación de estos parámetros deforma el dibujo de la carta sintética de fondo.

Volvamos al análisis. El dibujo de una carta típica de superficie suele verse de la siguiente manera: La primer parte del dibujo de la carta de superficie (comenzando la carrera ascendente desde el PMI) corresponde al estiramiento de varillas. Una vez que el pistón comienza a moverse, entonces el dibujo de la carta se vuelve sinusoidal en respuesta a los efectos inerciales que se generan en el sistema.



**Fig 4: Carta típica de superficie**

En nuestro ejemplo, vemos que la parte de estiramiento de las varillas ocupa casi el 80% de la carta de superficie. Esto significa que de las 136 pulgadas de carrera se mueve la cabeza de mula del AIB, unas 108 pulgadas son principalmente estiramiento de varillas\*. Vemos también que en la carrera descendente, tenemos la relajación de dicho estiramiento. Dicho en otras palabras, la carta de superficie está mostrando alto estiramiento en varillas, posiblemente causado por una elevada fricción en alguna parte de nuestro sistema (varillas o bomba).



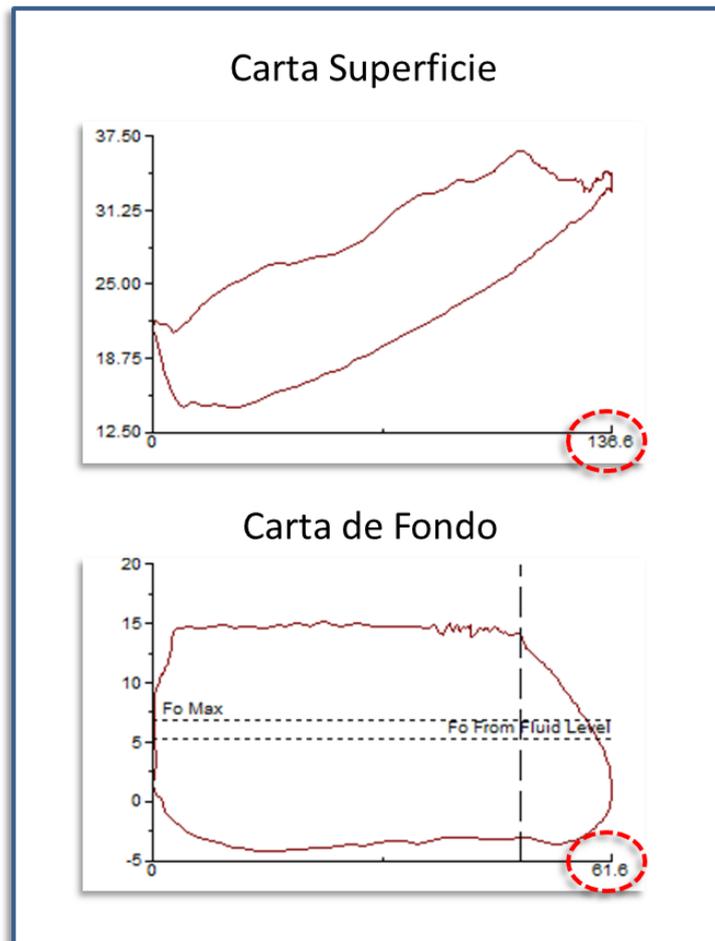
**Fig 5: Carta de superficie, donde se observa el marcado efecto del estiramiento de las varillas**

**Nota:** En realidad lo que se ve en la carta de superficie en la carrera ascendente no es solamente estiramiento de varilla, sino que es una combinación de estiramiento y movimiento, pero con mucho más estiramiento que movimiento...

Esto significa que, del total de la carrera del AIB, el pistón solamente viaja una fracción de dicha distancia, ya que el resto del movimiento como bien mencionamos, se “pierde” estirando y contrayendo varillas como si fueran un resorte.

**¿Por qué es que no vemos esta diferencia en carreras entre la cabeza de mula y el desplazamiento del pistón de la bomba?**

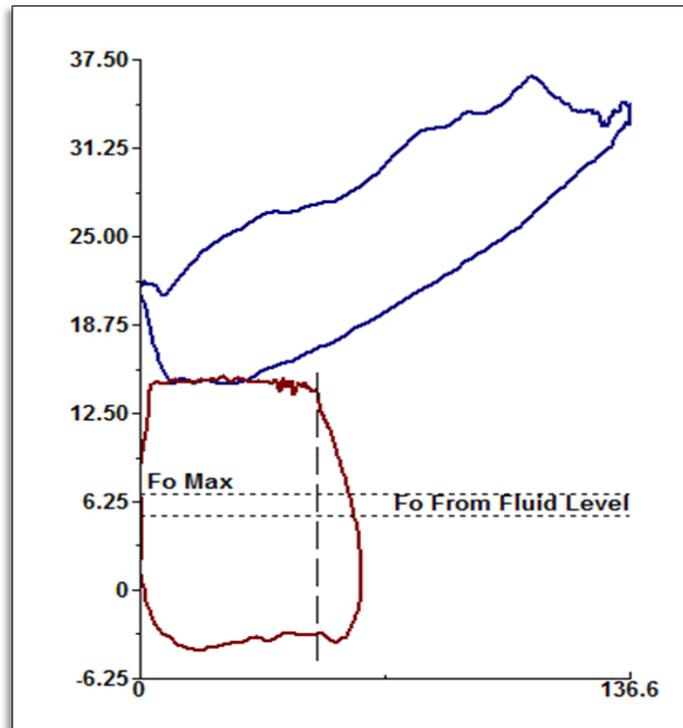
En realidad si prestamos atención, las cartas de superficie y fondo nos están mostrando esta diferencia entre los desplazamientos, solo que la representación gráfica no ayuda a visualizar el problema. Si miramos en detalle las cartas, vemos que en la carta de superficie tenemos un recorrido de 138 pulgadas, mientras que en la carta de fondo tenemos solamente 61 pulgadas. Esto significa que las restantes 77 pulgadas de carrera son las que estamos desperdiciando estirando y comprimiendo las varillas.



**Fig 6: Detalle de las carreras de superficie y de fondo**

Al graficar la carta de superficie y la carta de fondo por separado, los programas generalmente ajustan las escalas de manera tal de que la carta ocupe todo el ancho de la ventana. Esto hace que una carta pueda estar más “estirada” horizontalmente con respecto a la otra, ya que se grafican sobre diferentes escalas. Y esta es la razón por la cual es una buena práctica visualizar ambas cartas en una misma gráfica, compartiendo la escala horizontal.

Al graficar ambas cartas con la misma escala horizontal, nos da la posibilidad de evaluar el sobre-recorrido o sub-recorrido del pistón en una forma mucho más visual. Esto nos ayuda enormemente a la hora de detectar problemas.



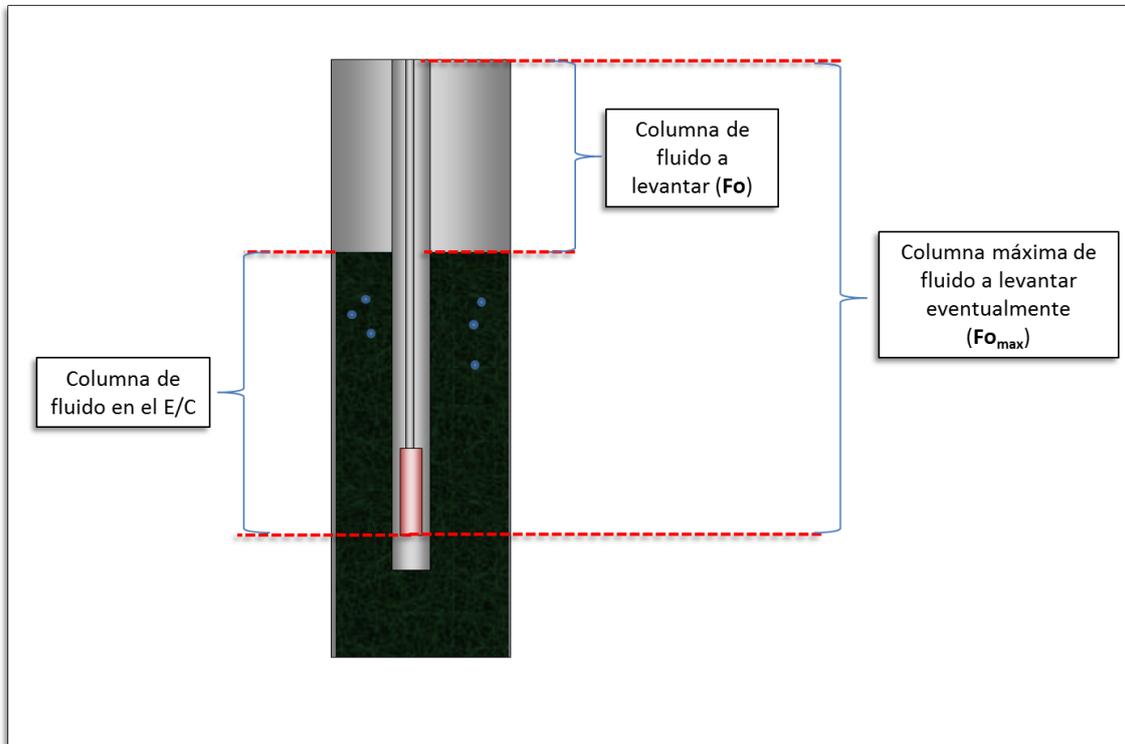
*Fig. 7: Comparación de las carreras de superficie y fondo a misma escala horizontal*

### ¿Cómo es que nos damos cuenta de lo que estamos viendo es fricción?

Más allá de la forma característica de la carta de superficie, en este ejemplo es muy fácil darnos cuenta que tenemos fricción tanto en carrera ascendente como en carrera descendente analizando la carta de fondo. En la carrera ascendente nos damos cuenta de que tenemos fricción ya que el  $F_o$  leído es superior al  $F_{o_{max}}$  (fig. 10).

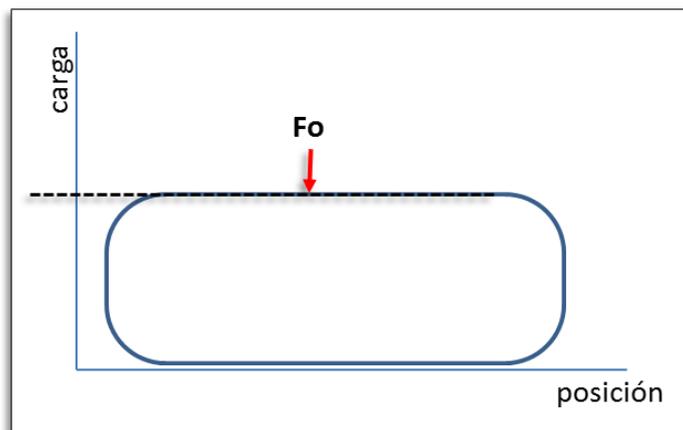
Se llama  $F_o$  al peso que la bomba debe levantar. Este es igual al peso de la columna de líquido que se encuentra por encima de la bomba dentro del tubing menos el peso de la columna de líquido que se encuentra por fuera del tubing, ya que el nivel en el entre-caño me ayuda a levantar el fluido: Cuanto más nivel tenga en el entre caño, menos fuerza va a tener que hacer la bomba para poder levantar el fluido a superficie. También definimos  $F_{o_{max}}$  como el peso máximo que debería levantar la bomba si no hubiera nada de nivel en el entre-caño. O sea que sería solamente el peso de la columna de líquido dentro del tubing, sin tener en

cuenta la eventual columna de líquido en el entre-caño. El  $F_{o_{max}}$  es muy útil a la hora de diseñar un sistema de bombeo mecánico, ya que nos pone en la situación más pesimista a la hora de evaluar la sollicitación de sus componentes (bomba, varillas, AIB, motor, etc.). Representando una situación en donde el reservorio está muy depletado y la presión dinámica cuando el pozo se encuentra en producción es muy baja.



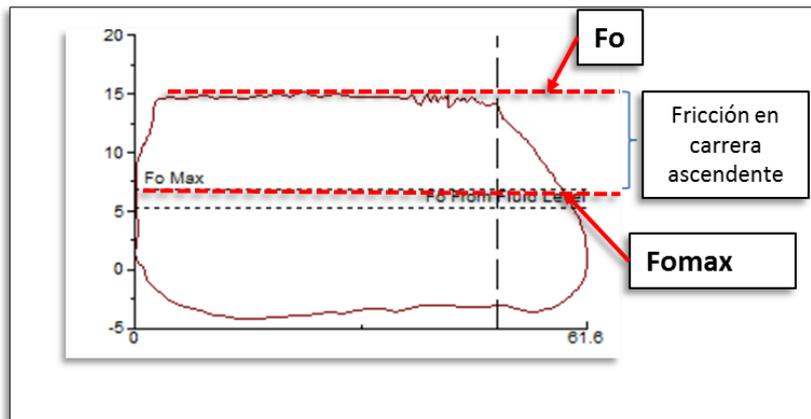
*Fig. 8: Representación de los valores de  $F_o$  y  $F_{o_{max}}$ . Tener en cuenta que para calcular los valores de  $F_o$  y  $F_{o_{max}}$  debemos multiplicar las columnas por las correspondientes densidades, por la gravedad y luego por el área del pistón de manera de pasar de alturas a pesos.*

En una carta dinamométrica el valor de **Fo** o **Fo medido** está representado por el valor de tensión durante la carrera ascendente.



*Fig. 9: Valor de  $F_o$ , peso del fluido sobre el pistón*

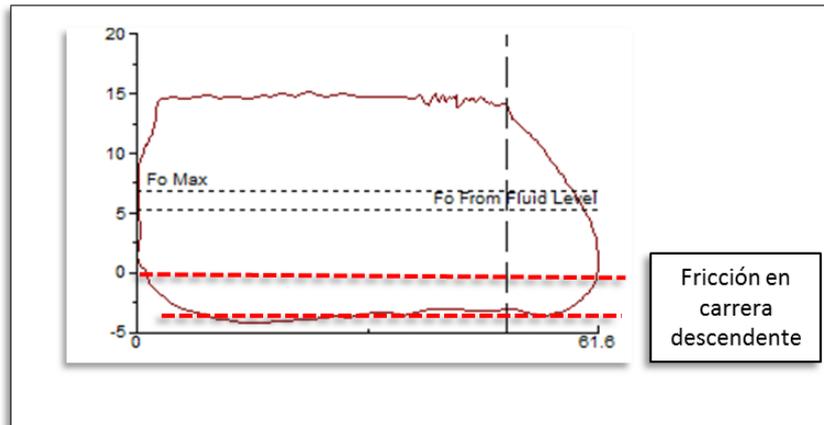
Cuando uno hace un análisis minucioso de una dinamometría, no solo se focaliza en la forma de la carta, sino también en los valores de la misma. Si nuestra carta de fondo muestra un  $F_o$  por encima del  $F_{o_{max}}$ , asumiendo que los datos del pozo están bien cargados al programa de interpretación y la lectura de registrada con la celda de carga es correcta, sabemos inequívocamente que tenemos fricción en carrera ascendente (por definición  $F_{o_{max}}$  es el máximo peso que podría llegar a levantar el pistón asumiendo que la presión de entrada a la bomba es de 0, por lo que si estamos levantando más peso que el  $F_{o_{max}}$  tiene que ser a causa de fricción, asumiendo que las mediciones y los valores ingresados en el cálculo son correctos).



**Fig. 10:** Detalle de la fricción en carrera ascendente

**Nota:** Hay que tener en cuenta que en caso de que el  $F_o$  medido sea menor al  $F_{omax}$ , también podemos estar en un escenario de fricción en carrera ascendente. Para ello debemos hacer un análisis más en detalle teniendo en cuenta el  $F_o$  teórico según ecometría.

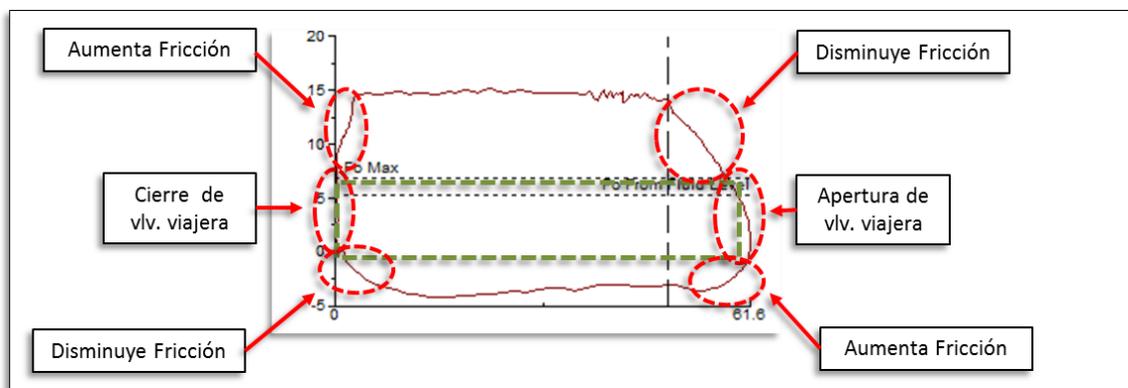
Vemos también que en la carrera descendente hay fricción, aunque en menor medida. Esto lo vemos ya que la parte inferior de la carta de fondo se sitúa por debajo del 0. Todo el peso comprendido entre el 0 y el valor de la carta en carrera descendente es el efecto de la fricción en dicha carrera.



**Fig. 11: Detalle de la fricción en carrera descendente**

**¿Por qué esta carta se parece tanto a una carta con pérdida en válvulas?**

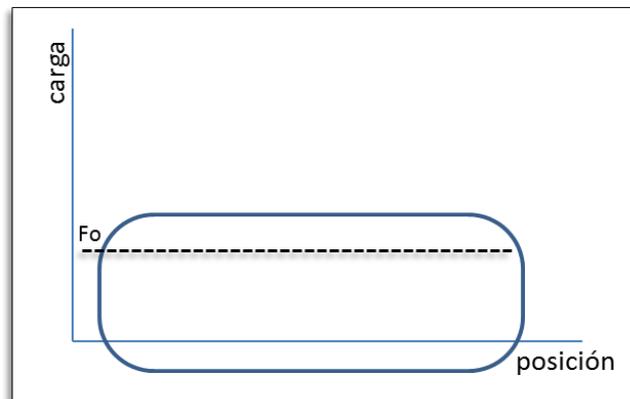
Los efectos de fricción, ya sean en varillas o en bomba, son efectos dinámicos. Esto significa que las fuerzas de fricción se van dando proporcionalmente a la velocidad del movimiento. Cuando no tenemos movimiento (PMS o PMI) las fuerzas de fricción son 0. Al comenzar la carrera ascendente, **se ve claramente la correcta transferencia de carga causada por el cierre de la válvula viajera**. Pero a este fenómeno, se sobrepone un aumento gradual de fuerzas de fricción a medida que el sistema se va acelerando.



**Fig. 12: Análisis de funcionamiento de las válvulas y de la superposición con los parámetros de fricción.**

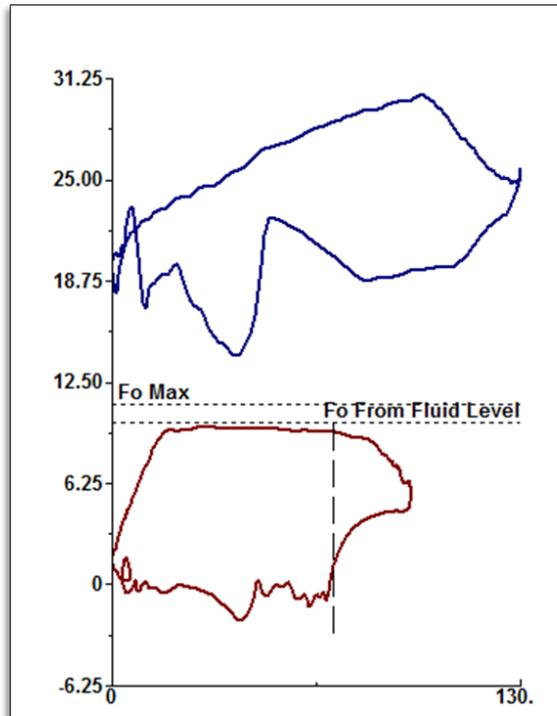
Un efecto similar ocurre cuando empezamos a llegar al PMS. Como el sistema empieza a bajar su velocidad, las fuerzas de fricción comienzan a disiparse hasta que al llegar al PMS en donde cesan las fuerzas de fricción y se produce nuevamente la transferencia de carga. Vemos al comenzar la carrera descendente, después de que se da la apertura de la válvula viajera, nuevamente comienzan a aparecer fuerzas de fricción (en el sentido opuesto, ya que la fricción siempre se opone al sentido del movimiento), las cuales son disipadas una vez más al llegar al PMI. Por esta razón también vemos redondeada, aunque en menor medida, la parte de abajo de la carta dinamográfica de fondo.

Cuando uno estudia las clásicas cartas de fricción, suelen mostrarse ejemplos como se ve en la figura 13, donde los problemas de sobre fricción se generan en la bomba, ya que la cantidad de fricción en carrera ascendente es muy similar a la cantidad de fricción en carrera descendente.



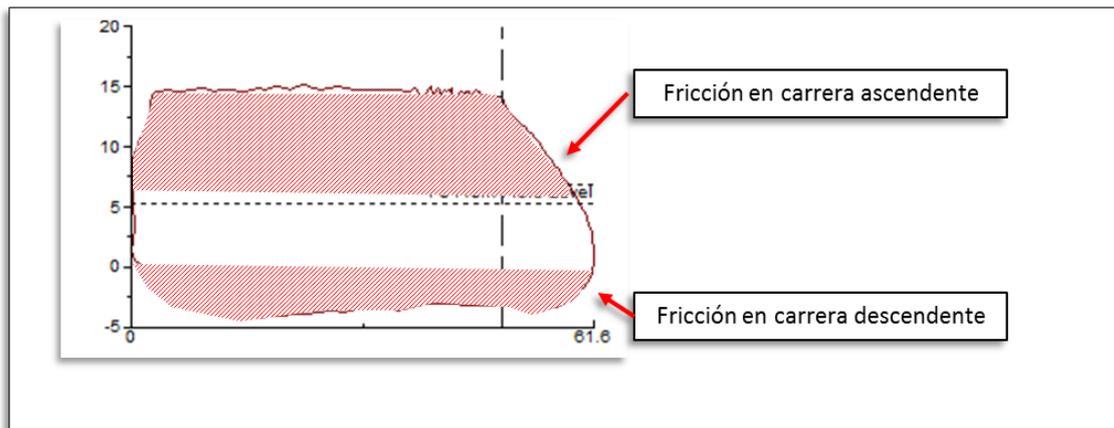
**Fig. 13:** Carta característica de sobre-fricción en bomba

En nuestro caso, la fricción no está generada en la bomba sino en las varillas, a causa de un problema que ya explicaremos más adelante. Esta situación que se dio en el pozo en cuestión tiene la característica de poseer un mayor valor de fricción en carrera ascendente que en carrera descendente. Existen inclusive varios casos de pozos con el mismo problema en donde en carrera ascendente se observan elevadas fricciones mientras que en carrera descendente la fricción es prácticamente nula.



*Fig. 14: Otro ejemplo de una carta con sobretensión en carrera ascendente (combinado con movimiento de tubing y golpe de fluido. Notar como la carta también tiene una apariencia de pérdida en válvula viajera. El  $F_o$  real es menor al indicado por un error en la selección del eco correcto.*

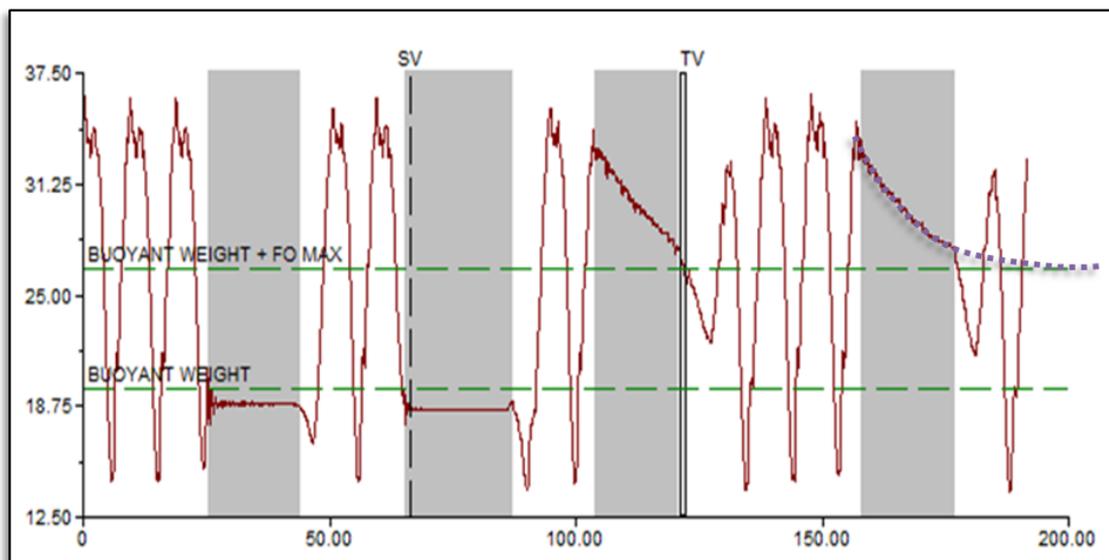
Volviendo a nuestro caso, al ser mucho más exagerada la fricción en carrera ascendente que en la carrera descendente, la carta toma una forma “similar” a la carta característica de pérdida de válvula viajera.



*Fig. 15: Fricción en carrera ascendente y descendente*

## ¿Por qué la prueba de válvulas acusa pérdida en válvula viajera?

Otra vez mas, lo que a simple vista parece una pérdida de válvula viajera, no lo es. Si miramos en detalle, al detener el AIB a mitad de la carrera ascendente, debiéramos ver que el peso registrado en la celda de carga se sitúa de la línea punteada verde superior hacia abajo (esta línea verde representa el peso de las varillas en flotación más el peso de toda la columna hidrostática dentro del tubing, algo similar al  $F_{o_{max}}$  pero medido en superficie). Al detener el equipo para realizar la prueba de válvula viajera, vemos que el peso registrado en la celda de carga es muy superior a la línea verde. Todo ese excedente de peso es ni más ni menos que la fricción. De hecho, lo que aparentaría ser la “perdida en válvula” en realidad es la disipación de las tensiones causadas por la fricción (al detener el AIB, la fuerza de fricción desaparece y las tensiones acumuladas en el sistema por esta causa comienzan a disiparse). Si miramos más en detalle, podemos ver que la carga toma una forma asintótica hacia el valor teórico de la línea verde. Si el operador de dinamometría hubiera esperado unos segundos más, posiblemente podría haber confirmado esto, comprobando que la válvula viajera funciona correctamente.



*Fig. 16: En la segunda prueba de válvula se ve como al detener el equipo tenemos inicialmente una carga superior a la máxima teórica, y luego vemos claramente como la carga tiende a estabilizarse (disipación de las fuerzas de fricción) en el valor de  $F_o$  teórico*

## **Conclusión:**

---

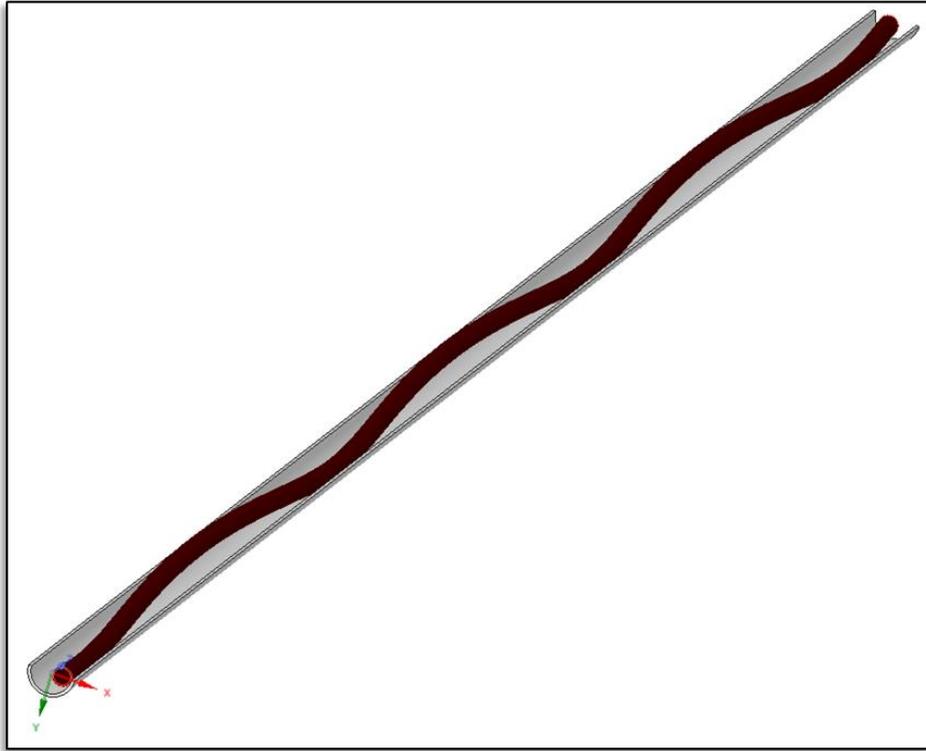
Luego de un análisis más en detalle de los datos adquiridos, podemos concluir que la bomba en si está funcionando correctamente, mientras que tenemos presente una excesiva fricción que se manifiesta principalmente en carrera ascendente. Uno de los causantes de fricción en carrera ascendente es cuando por algún motivo tenemos bucking en el tubing.

## **Epílogo:**

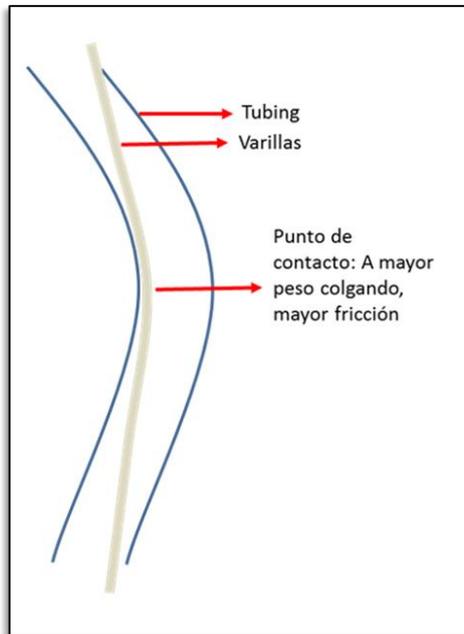
---

De una población bastante chica de AIB que teníamos en funcionamiento, varios pozos comenzaron a presentar este comportamiento. No nos llevó mucho tiempo darnos cuenta que el problema era de excesiva fricción, pero si nos costó bastante lograr determinar el por qué. Luego de muchos análisis concluimos que la explicación más lógica (una teoría) radicaba en una falla del ancla de tensión. La misma no se soltaba completamente, sino que fallaban las mordazas ascendentes. Esto causaba que con el tiempo el ancla comenzara moverse hacia arriba, mientras que las mordazas descendentes evitaban que el ancla pudiese bajar, forzando a la cañería a tomar bucking. El bucking en el tubing genera una fricción mucho más marcada en carrera ascendente que en carrera descendente (es por esta misma razón que siempre que se interviene un pozo con un Wire line, un slick line o inclusive un CTU, se suele hacer un pull-up test cada cierta cantidad de metros, ya que uno puede no notar valores anómalos de tensión al ir bajando dentro del pozo, pero al querer subir podemos encontrarnos en problemas).

Fue muy gratificante algunos meses más tarde cuando varios de los pozos fueron intervenidos con el equipo de pulling pesado, poder comprobar que nuestra teoría era en efecto lo que estaba sucediendo. Si bien no tengo conocimientos específicos de qué fue lo que falló del ancla, optamos como solución inmediata utilizar packers de tensión a los que se le habían removido las gomas para actuar como anclas. Estos packers resultaron ser mucho más robustos (también algo más costosos) que las anclas por lo que no volvimos a tener este tipo de fallas.



**Fig. 17:** Representación de un tubing con bucking dentro de un casing.



**Fig. 18:** Fricción entre varillas y tubing generada por bucking.