

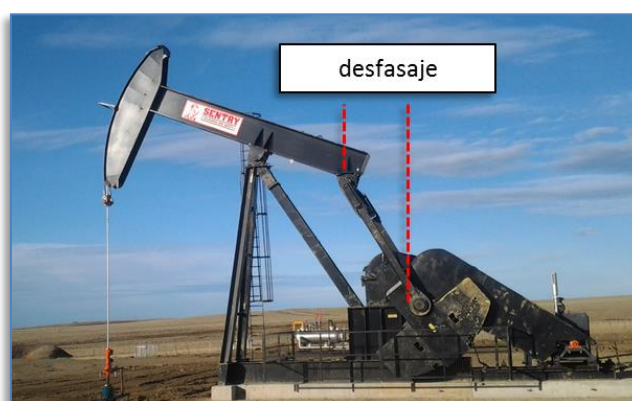
## Análisis Gráfico de las Geometrías Mejoradas en los AIB.

Ver. 1.2

Por Pablo Subotovsky

Fue en el 2005 cuando el Ingeniero **Eduardo Dottore** durante una capacitación *in-house* me explicó las ventajas que una geometría mejorada, ya sea un Mark II o un Reverse Mark, tienen frente a un equipo convencional: El hecho de que la carrera ascendente se realice más lenta que la carrera descendente genera varios beneficios en cuanto al torque neto en la caja reductora y en la sollicitación en la sarta de varillas. También puede generar un mayor sobrerrecorrido del pistón de la bomba de profundidad en ciertos casos. A eso podemos sumarle que, en caso de trabajar con petróleos viscosos, da más tiempo para el llenado del barril mejorando la eficiencia volumétrica del sistema, siempre que no trabajemos a muy altas velocidades (para no superar la velocidad de caída libre de la sarta...).

De ahí en más, simulador mediante, fue aplicar lo aprendido en los nuevos diseños. Varios años después, cuando comencé a dar clases, contaba al igual como me lo explicaron a mí, las ventajas de las geometrías mejoradas. Y si alguien me preguntaba el por qué estas geometrías causaban un perfil tan particular de velocidades entre la carrera ascendente y descendente, entonces respondía sin dudarle que ese efecto se debía al hecho de que el centro pivotante de la manivela (coincidente con el eje lento de la caja reductora) estaba desplazado del punto de apoyo de la barra igualadora en la viga principal. Pero debo reconocer que esta respuesta era similar a la que una persona da cuando alguien pregunta sobre la “famosa” fórmula que descubrió Einstein:  $E = m * c^2$



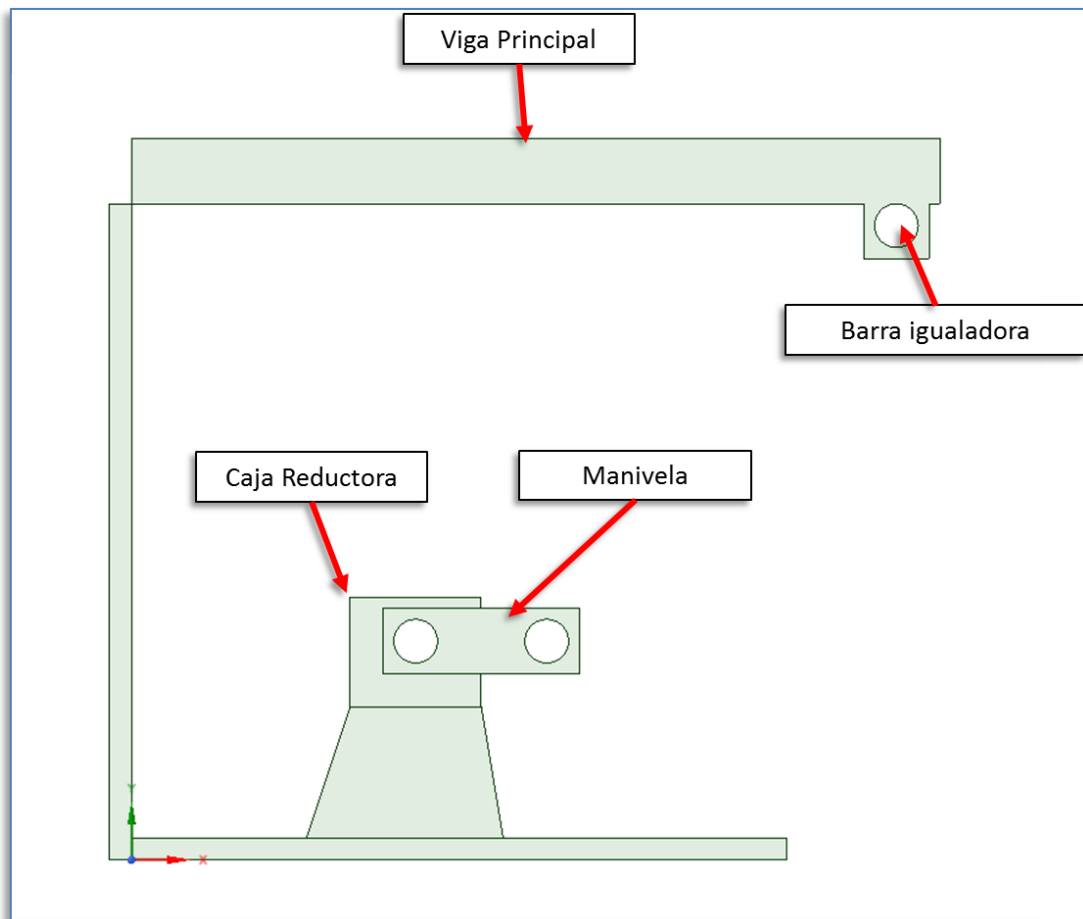
**Fig. 1:** Foto de un RM-912-365-168

Y cuando alguien pregunta qué significa esa fórmula, uno tiende a responder con cierta ligereza que es tan sencillo como decir que la energía es igual a la masa por el cuadrado de la velocidad de la luz...Pero... ¿realmente entendemos lo que quiere decir?.

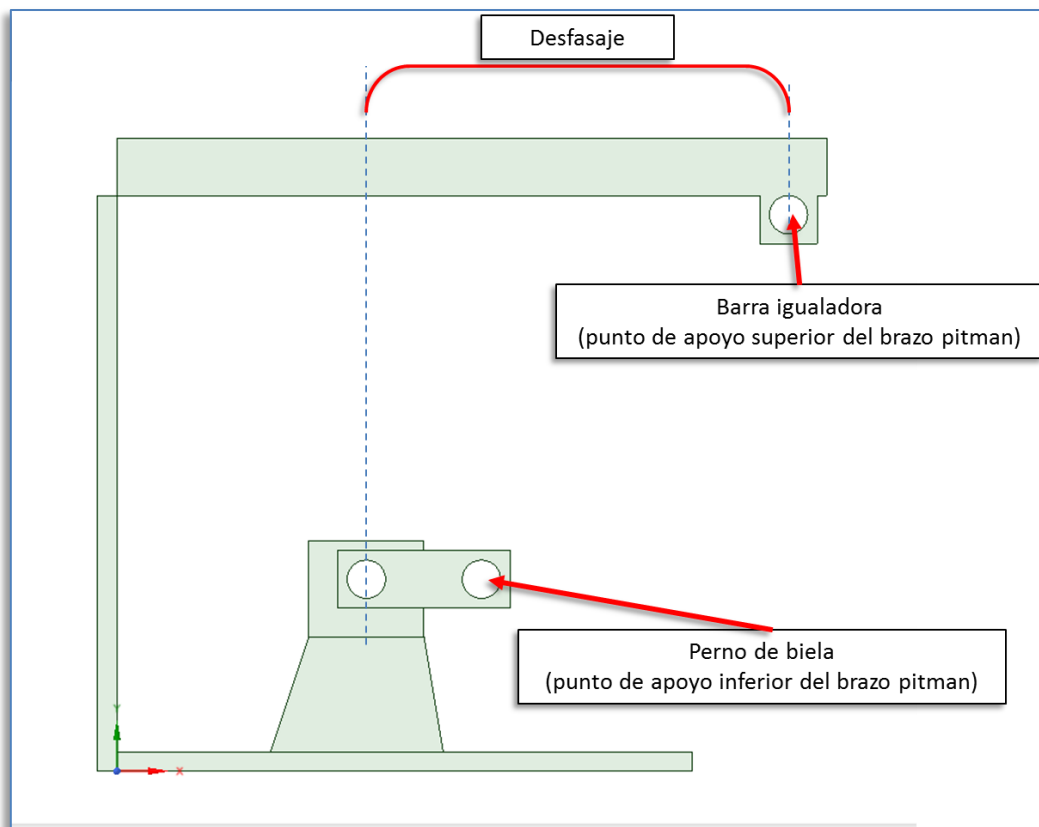
Volvamos a los equipos de bombeo. Estamos de acuerdo en que el perfil de velocidad característico de las geometrías mejoradas se debe al desplazamiento de los puntos anteriormente mencionados. ¿Pero como es que este desplazamiento genera dicho perfil?

Siempre supe que esto podría ser explicado mediante un modelo matemático y aplicando los conceptos que en ingeniería se estudian en “Mecánica General”. Pero también sabía que tenía que haber una forma más fácil de demostrar este efecto. Si y la raíz de del perfil de velocidades estaba en la geometría, entonces sería la misma geometría quien debiera darnos la explicación.

Comencemos el análisis dibujando un AIB de geometría mejorada. No hace falta que este en una escala correcta, simplemente que el centro pivotante de la manivela y el punto de apoyo en la viga principal estén desfasados.

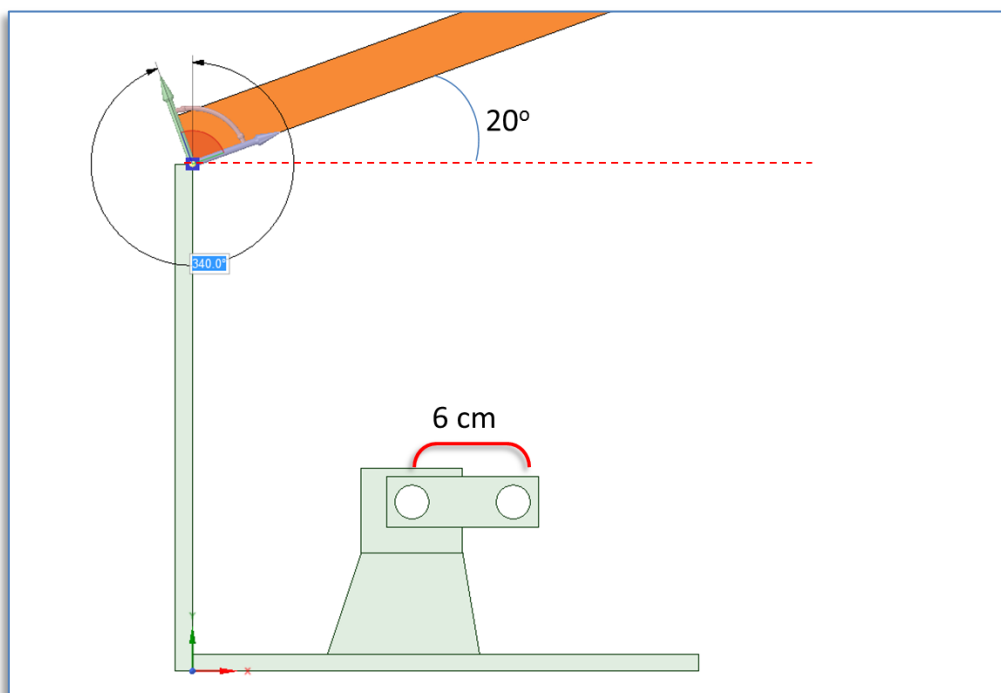


**Fig. 2:** Esquema de una geometría MII con sus partes principales



**Fig. 3:** Concepto geométrico del Mark II

Decidí para mí recién creado AIB que en el punto muerto superior, la viga iba a estar  $20^\circ$  hacia arriba desde la horizontal. Otra cosa que también definí arbitrariamente, es que mi manivela tiene 6 cm de largo.

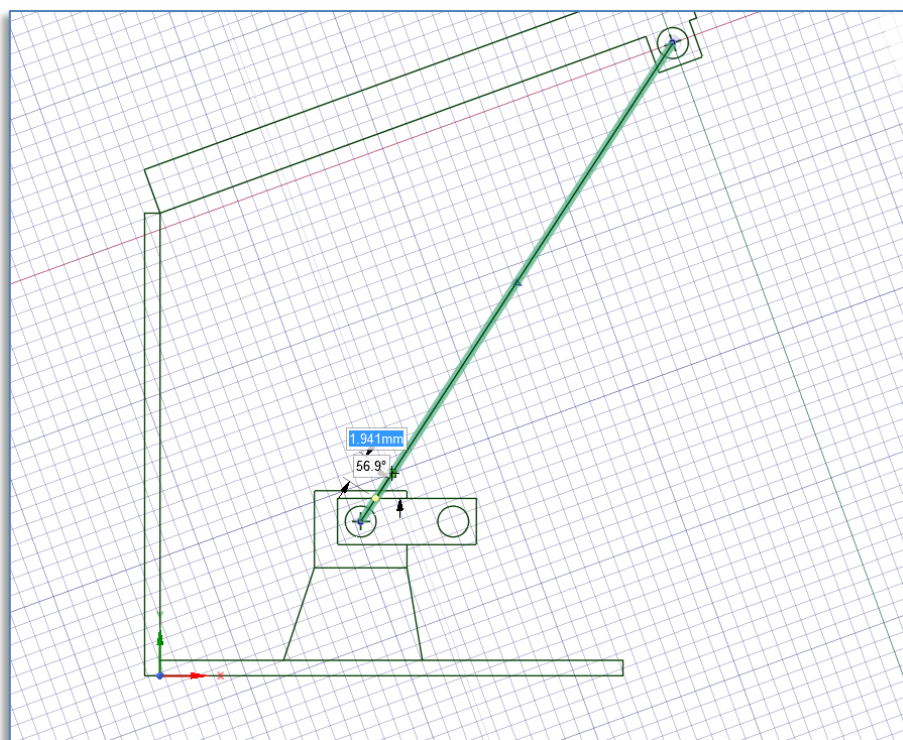


Fijado estos parámetros, el largo de los brazos pitman y la posición de manivela quedan automáticamente definidos.

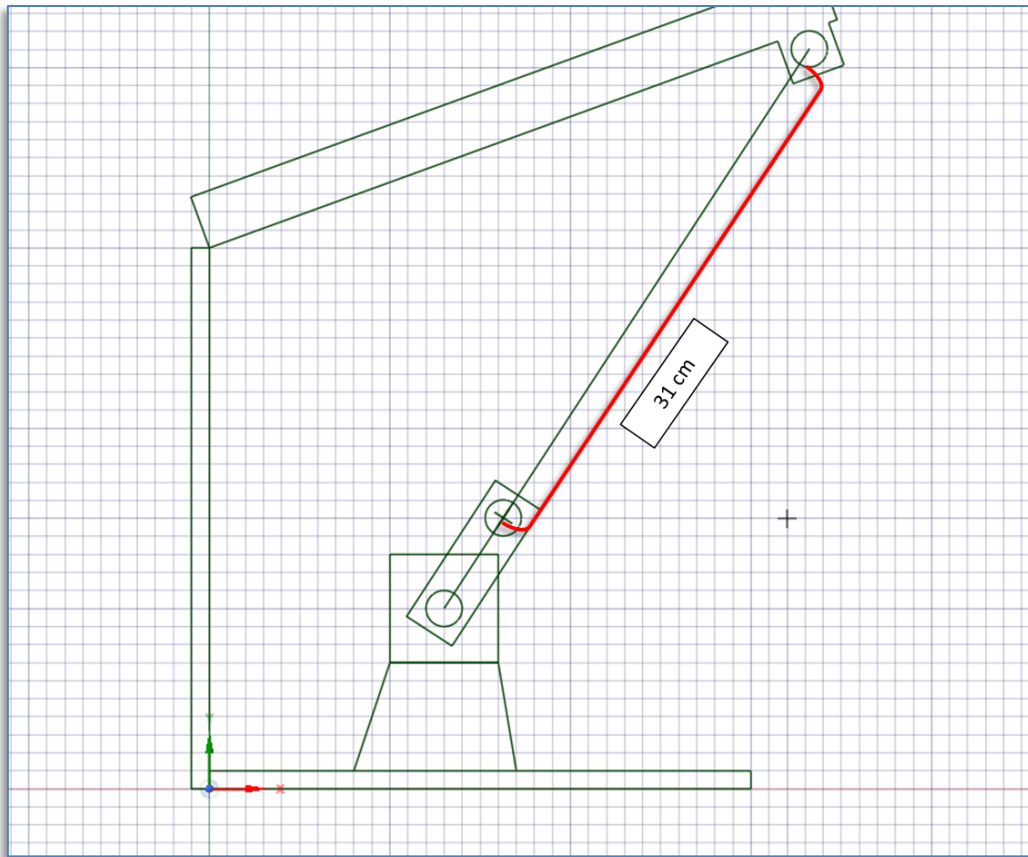
Cuando un AIB se encuentra en el punto muerto superior o punto muerto inferior, el brazo pitman (o su prolongación) se alinea con el eje lento de la caja reductora (esta es una excelente manera de determinar en el campo cuando un equipo se encuentra en el PMS o PMI... por ejemplo para calibrar los sensores de los Pump-off –SAM-). Cabe destacar que esto es válido para cualquier geometría de AIB.

Entonces, si trazamos una línea que va desde la barra igualadora hasta el eje lento de la caja reductora, sabremos que la manivela también tiene que estar alineada con la línea que acabamos de dibujar.

En mi caso, dicha línea forma un ángulo de  $56.9^\circ$  con respecto al plano horizontal, por lo que procedí a girar la manivela en la misma medida.



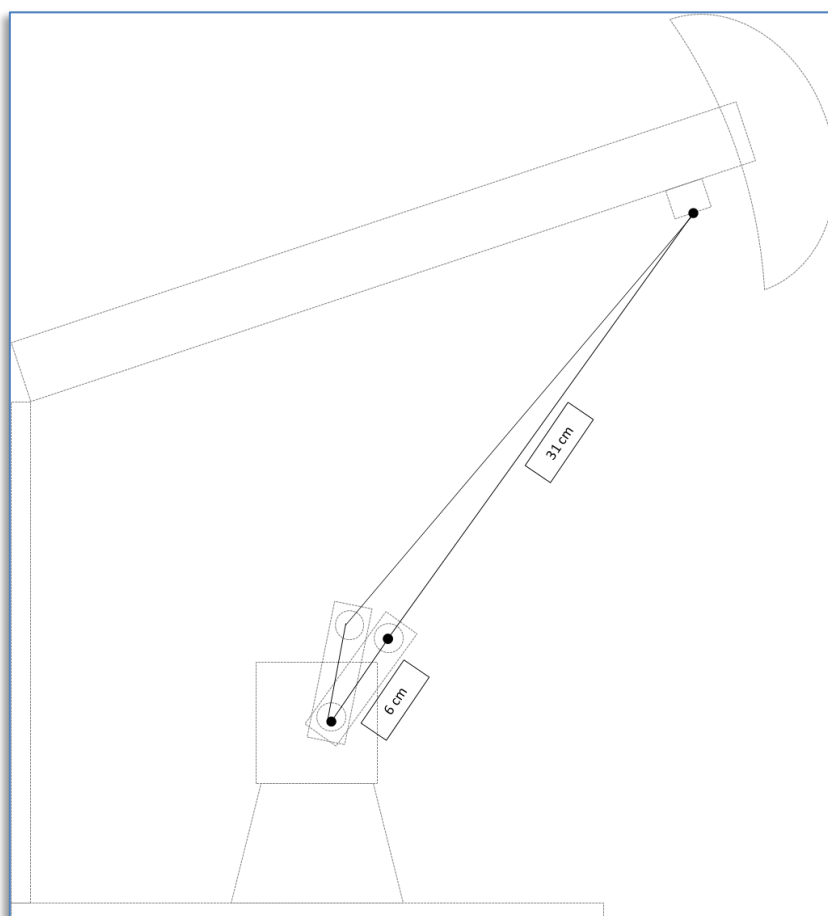
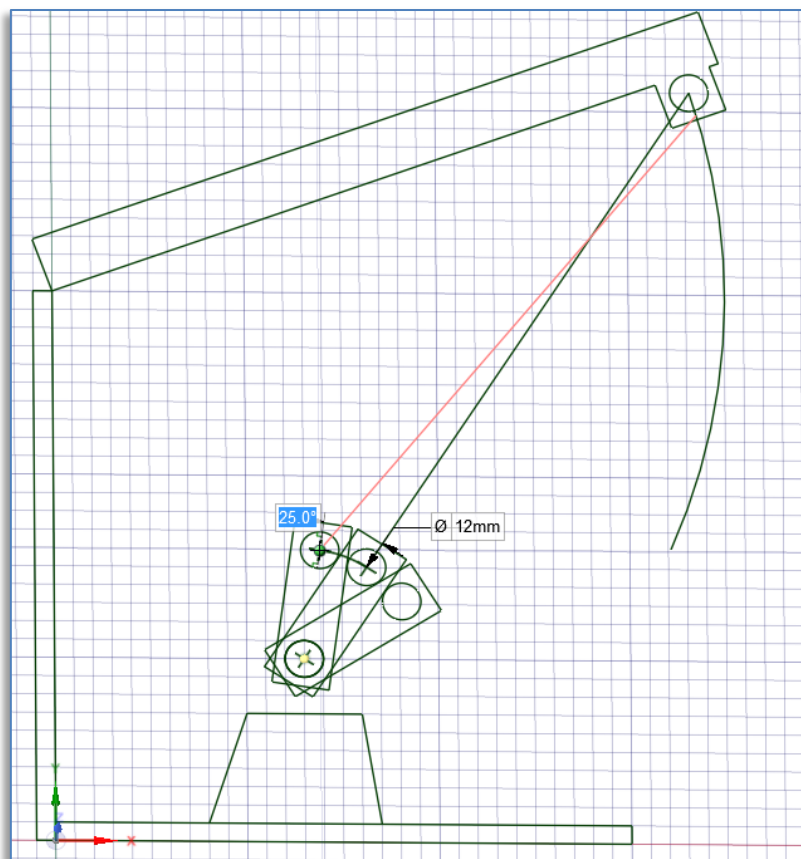
**Fig. 5:** En PMI ó PMS, la manivela se posiciona en la línea que une el eje lento con la barra igualadora



**Fig. 6:** Largo de los brazos Pitman

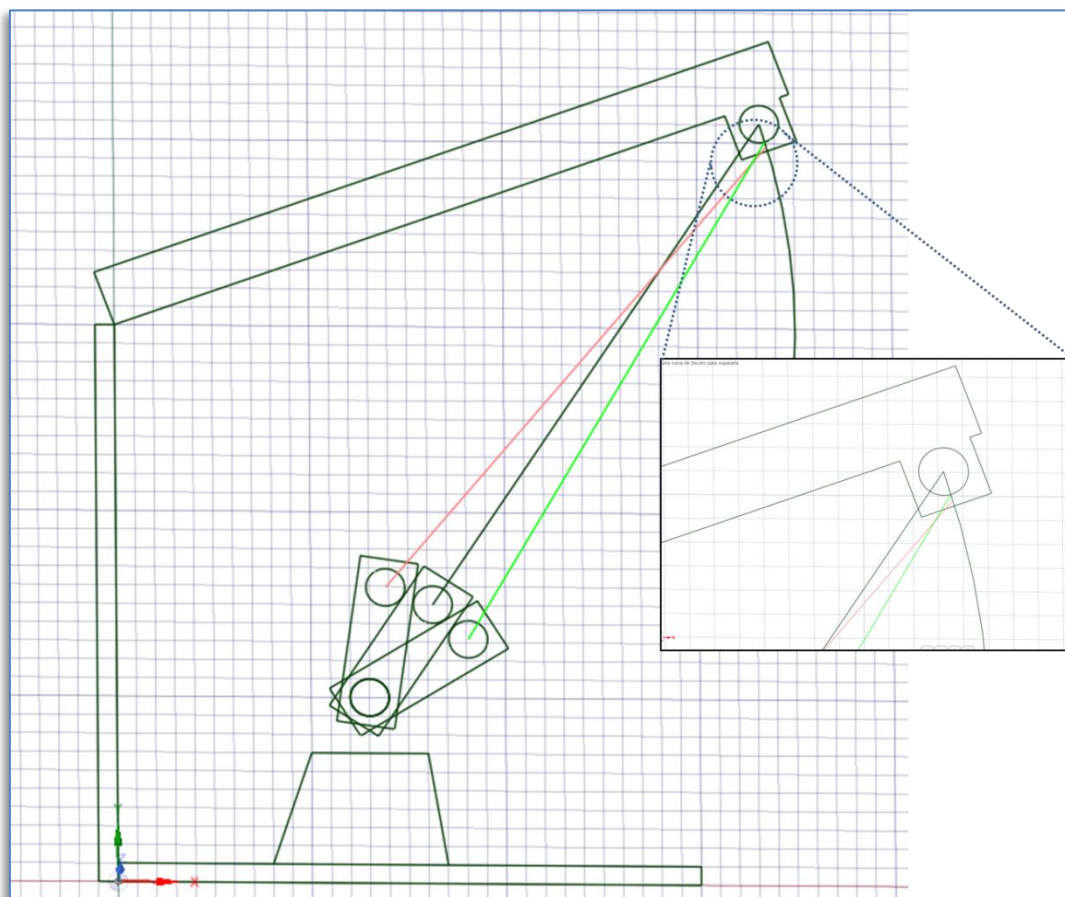
Colocado la manivela en posición, ya nos queda definido el largo de nuestro brazo pitman. En mi caso, fue de 31 cm.

Este es un buen momento para mostrar, geométricamente, por qué el PMI ó PMS se da cuando el pitman se alinea con el eje de la caja reductora. Veamos qué ocurre si giramos 25 grados la manivela para cualquier lado...



Se observa en el diagrama que al girar la manivela, se forma un ángulo entre el plano de la manivela y el del brazo pitman. Si antes la distancia que separaba el eje de la caja reductora estaba dado por la suma del largo de la manivela (6 cm) más el largo del brazo pitman (31), ahora esta distancia es menor. Esto genera que la viga principal descienda.

Si por el contrario giramos 25 grados hacia el lado opuesto, vemos que se genera el mismo efecto: La viga principal también baja.

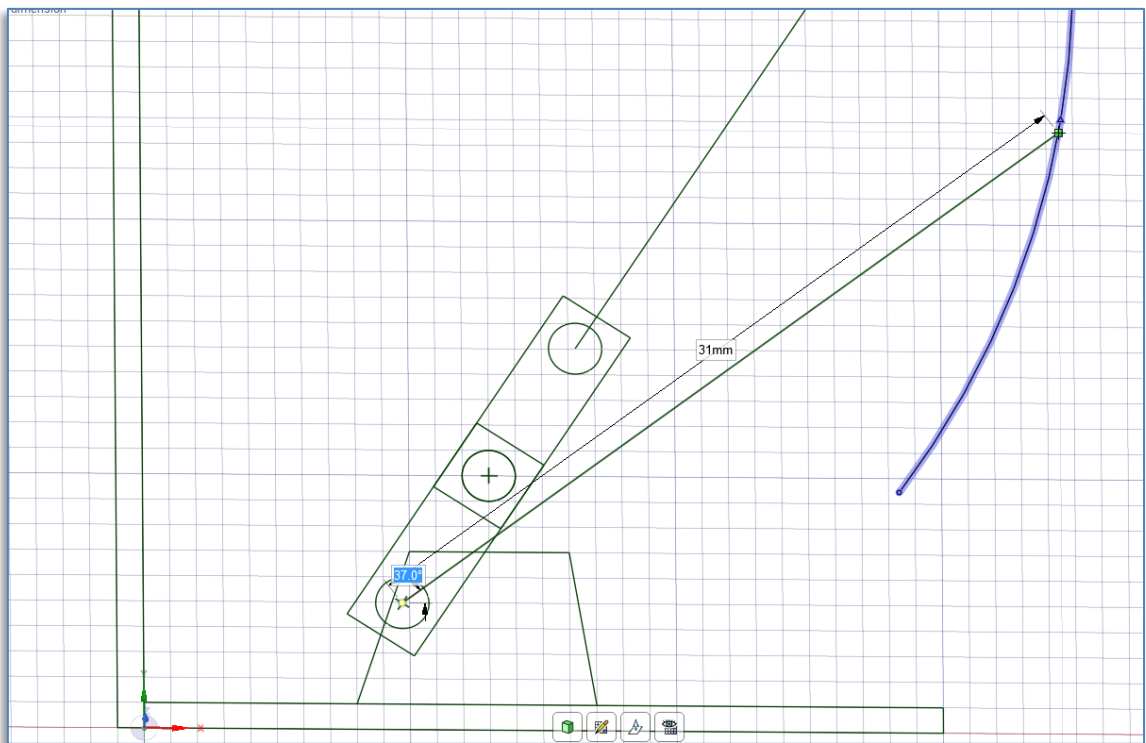


**Fig. 9:** Equipos en posición del PMS, 20° antes y 20° después.

Algo interesante es que habiendo girado la misma cantidad de grados para uno u otro lado, en cada caso la distancia que baja la cabeza de mula es distinta...

Bien, entontes primero pasaremos a demostrar por el absurdo que las velocidades en carrera ascendente y descendente no son las mismas. Si así lo fueran, al girar 180 grados la manivela nos debiéramos de situar en el PMI (como ocurre en una geometría convencional).

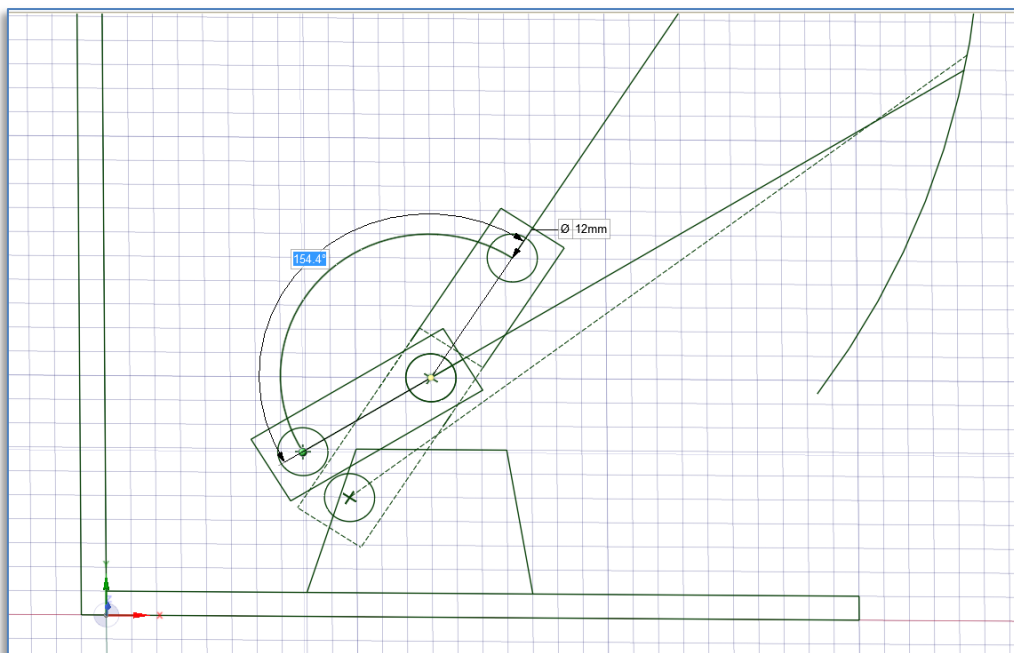
Veamos que sucede:



**Fig. 10:** Manivela en posición 180° del PMS

Al girar la manivela 180 grados, vemos que no nos situamos en el PMI. Esto lo podemos notar fácilmente ya que el brazo pitman no está alineado con el eje de la caja reductora.

De hecho, en este ejemplo, basta con girar 154 grados (y no 180) para llegar al PMI.



**Fig. 11:** Manivela en posición de PMS y PMI

Asumiendo que el equipo gira en sentido antihorario y a una velocidad constante, como la distancia desde el PMS al PMI es menor (154 grados) que la distancia a recorrer desde el PMI al PMS (206 grados), esto significa que el equipo va a completar en menos tiempo la carrera descendente que la ascendente. O sea, que la velocidad descendente es mayor a la velocidad ascendente.

Y de esta manera podemos en forma gráfica observar el por qué es que estas geometrías generan este perfil de velocidades particular. Es interesante notar también que, si este equipo girara en sentido horario, entonces la distancia larga sería la correspondiente a la carrera descendente mientras que la distancia corta la de la carrera ascendente. Dicho en otras palabras, si giramos un equipo Mark II en sentido horario, invertiremos el perfil de velocidades, haciendo que la carrera ascendente sea más rápida que la carrera descendente (existen algunos pilotos en donde se ha hecho esto en forma intencional). Es por esta razón que todos los equipos Mark II o Reverse Mark deben girar indefectiblemente en un sentido en particular (anti-horario para el Mark II, y horario para los RM) para lograr el perfil de velocidades deseado, mientras que un equipo convencional puede girar para ambos lados en cuanto al perfil de velocidades se refiere.

**Nota:** Agradezco la colaboración del ing. César Tonelli por la corrección en cuanto al sentido de giro de los equipos Reverse Mark.