



EVOLUCIÓN EN LA TECNOLOGÍA PARA EL MANEJO DE GAS EN APLICACIONES DE ESP

Daniel Fleitas, BHGE, Daniel.Fleitas@bhge.com; Raul Oyarzun, BHGE, raul.oyarzun@bhge.com

Palabras claves

Manejo de Gas, GVF, GOR, GLR, ESP, BES,

Resumen

Los Pozos productores, con alto porcentaje de Gas en el Volumen (GVF), son un desafío a la hora de producirlos mediante Bombeo Electrosumergible (BES). Cuando se trabaja con BES, el gas contenido en el fluido se trata de diferentes maneras, se puede evitar, separar o producir. La selección del método de manejo del gas depende de muchos factores, por ejemplo, el caudal total producido, la presión en la Succión, la viscosidad, GOR, la eficiencia requerido / potencia disponible y la presencia de agentes tales como sólidos, parafinas, incrustaciones, etc.

Debido a la dirección del gradiente de presión que se genera dentro del impulsor, en el bombeo de fluidos multifásicos, el gas se acumula en el borde central del impulsor lo que reduce la capacidad del álabe y aumenta las pérdidas al paso del fluido. Este efecto, resulta en una menor carga volumétrica y eficiencia de la etapa. Con el paso del tiempo, si el gas no puede superar este gradiente de presión, continúa acumulándose en la parte central de la etapa llegando a bloquearla totalmente. Esto puede provocar que la etapa deje de bombear y pierda la capacidad de generar Presión para mover el fluido a superficie. A este fenómeno se lo denomina "bloqueo de gas". La clave para el bombeo multifásico es, por lo tanto, minimizar los gradientes de presión opuestos y maximizar la velocidad que empuja el gas hacia la siguiente etapa.

En este trabajo, siguiendo una descripción general de las soluciones implementadas globalmente, se presenta con más detalle la evolución de las tecnologías de manejo de gas según su tipo de flujo, eficiencia, confiabilidad y punto de aplicación. Estos incluyen:

- 1- Baja presión de admisión o "NPSH" por sus siglas en inglés, etapas de flujo axial, para manejo de gas y utilización tipo booster, adecuada para $> 60\%$ GVF y bajo NPSH y funciona en un amplio rango de caudales.
- 2- Bomba de manejo de gas de flujo mixto y multi-vanos, capaz de manejar hasta un 75% de GVF, carga equilibrada y alta eficiencia.
- 3- La etapa final de esta revisión de la evolución de la tecnología es la bomba helico-axial de manejo de gases, que ha demostrado (y se estudiará aquí) una mejora en la vida útil de los equipos, una capacidad eficiente de bombeo y manejo de fluidos multifásicos. Esta bomba es capaz de manejar hasta un 75% de GVF con bajas presiones de admisión, mostrando óptima eficiencia.

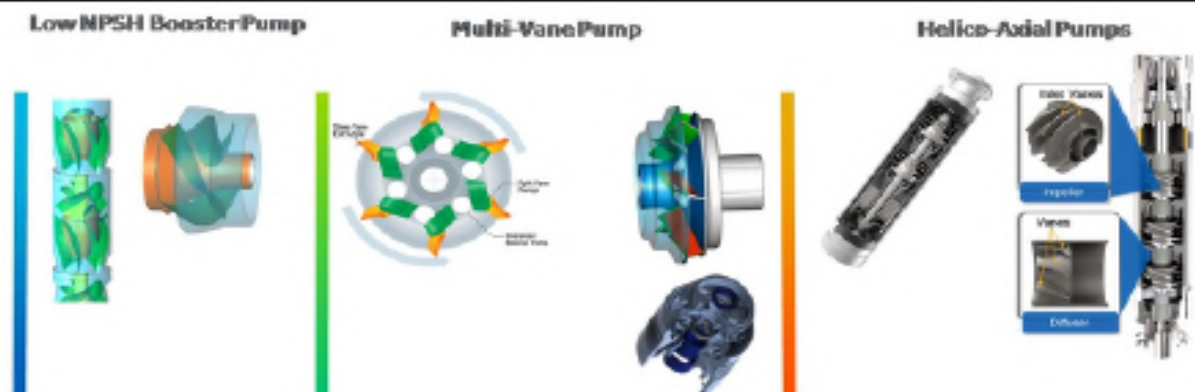
Abstract

Objectives/Scope: Production wells with high Gas Volume Fraction (GVF) face challenges when Electrical Submersible Pumps (ESP) systems are used for artificial lift. In ESP, gas in oil is managed in either by Avoidance, Separation or Handling. The selection of a gas management method depends on several factors; total fluid flowrate, intake pressures, viscosity, GVF, required efficiency / available power and the presence of impurities (solids, wax & scale). Due to the direction of the pressure gradients, in multi-phase pumping, the gas accumulates at the impeller hub leading edge, reduces the loading on the blade, increases the losses in the passage resulting in lower head and efficiency of the stage. Over time, if the gas is unable to overcome these pressure gradients, it will continue to accumulate at the hub leading edge and can lead to the entire blade passage being blocked off by gas. This would cause the stage to stop pumping and lose its entire head. This phenomenon is called “Gas Lock.” The key to multiphase pumping is thus to minimize opposing pressure gradients and maximize the velocity pushing the gas downstream.

Methods, Procedures, Process: In this paper, following the overview of globally deployed gas management solutions, including automated operating techniques, we review in more detail, the evolution of the gas handling pump technologies based on their flow type, efficiency, reliability and unique application points. These include: 1- Low net positive suction head (“NPSH”), axial flow, gas handling & booster pump, suitable for > 60% GVF and low NPSH and operates over a wide range of flow rates. 2 – Multi-vane, mixed flow gas handling pump capable of up to 75% GVF handling, trust balanced and high efficiency. 3- The final aspect of this evolution review is the helico-axial gas handling pump technology, which has been shown (and will be examined here-in) to provide comparatively improved run life, efficient multiphase pumping and handling capability. Helico-axial, gas handling & multiphase pump, capable of handling up to 75% GVF at low intake pressures, with optimal efficiency.

Results, Observations, Conclusions: The use of state-of-the-art design and validation tools has allowed rapid investigation of a wide design space to develop best in class helico-axial multiphase pumps. The result is high efficiency, wide range and high reliability of gas handling pumps, which traditionally, in the presence of gas, the ESP’s efficiency diminishes.

Novel/Additive information: These helico-axial gas handling pumps are specifically designed to deliver a mixed, pressurized multiphase fluid at high velocities to the ESP centrifugal production pump for increased performance without gas locking. In this study, we show, based on testing and field data, the extent and commercial productivity to be experienced by their deployment.



Introducción

Los pozos con alto porcentaje de gas han sido tradicionalmente un desafío muy fuerte para los sistemas de levantamiento artificial, del cual no escapa el sistema de Bombeo Electrosumergible (BES).

Las bombas centrífugas son bombas o dispositivos dinámicos que utilizan la velocidad impartida a un fluido generando la energía suficiente para elevar la columna de fluido hasta la superficie. La altura o “head” en inglés que el fluido es elevado, se encuentra relacionada con la presión, a través de la densidad del fluido.

La ecuación que gobierna el comportamiento de la bomba dinámica relaciona la altura de elevación de cada etapa con su geometría, el caudal y velocidad de rotación. La densidad del fluido no afecta la altura producida por la bomba. Esto significa que una bomba dinámica desarrolla la misma altura de elevación independientemente de la densidad del fluido. Una bomba dinámica diseñada para levantar una columna de 6000 (1830 mts) pies de agua podría teóricamente levantar una columna de 6000 pies de aire a un mismo valor de caudal. Sin embargo, la presión requerida para levantar el agua sería de 2600 psi (180 bar) versus 3 psi (0.2 bar) que necesita para el caso del aire.

La presencia de gas ya sea comprimido o disuelto en la columna de líquido, no es algo enteramente negativo. El gas alivia la columna de fluido en el tubing y reduce la carga de la bomba. El problema se presenta en lograr que el gas se encuentre disuelto o comprimido en la columna de fluido.

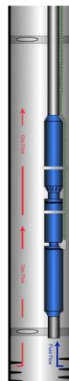
Si las dos fases (gas + líquido) se mantienen homogéneamente dispersas una dentro de la otra, la bomba tiene grandes posibilidades de manejar el fluido correctamente, en caso contrario hay alto riesgo de perder el trabajo realizado para mantener el gas dentro de la solución.

En una bomba centrífuga, los fluidos multifásicos raramente se mantienen homogéneos por largo tiempo. Debido a la diferencia de densidad que poseen, las fuerzas centrífugas tienden a segregar las fases con mayor rapidez que la que posee la turbulencia del flujo para volver a mezclarlas.

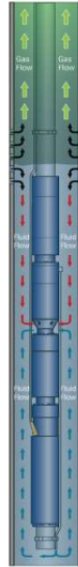
Con las fuerzas centrífugas superando a la capacidad de volver a homogenizar la mezcla de la turbulencia, grandes desafíos aparecen relacionados con la interferencia que el gas libre en la mezcla puede ocasionar.

Los diferentes enfoques que se le fueron dando a lo largo de la historia para conllevar esta situación se dividen en:

- **Evitar el ingreso del gas a la bomba:** Este objetivo puede ser conseguido mediante diferentes técnicas o combinación de ellas como, por ejemplo:
 - Grandes huelgos entre BES y Casing, facilitando la separación natural

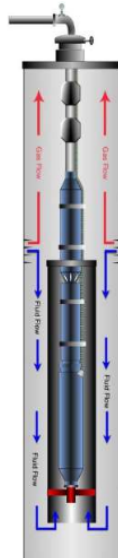


- Operación con niveles dinámicos que se encuentren por encima del punto de burbuja de la mezcla.
- Colocación de la admisión por debajo del punzado con aporte de Gas. Ya sea utilizando sistemas encamisados o con bomba de recirculación



Sistema con bomba de Recirculación

- Utilización de separadores de gas estáticos como, por ejemplo, camisas de refrigeración. Este tipo de completaciones se instalan por debajo de los punzados y obliga al fluido a viajar de forma descendente antes de ingresar a la admisión, facilitando la separación de fases.



Sistema encamisado tradicional

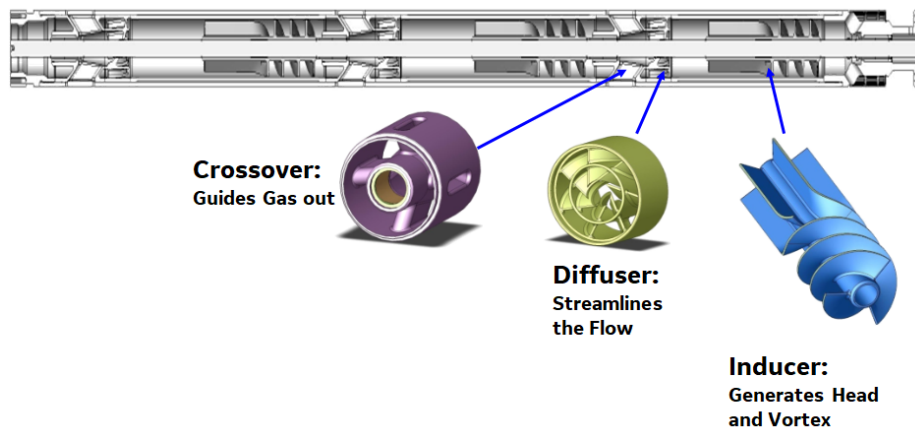


Sistema encamisado con Deep Tube

- Incorporación de admisiones que orientan los orificios de ingreso del fluido en sentido contrario al pasaje de gas.



- **Separación del gas del fluido para su posterior bombeo:** Esta separación se consigue mediante la incorporación de elementos adicionales (una o varias etapas de separación) que, aprovechando la diferencia de densidades existentes entre el gas y la mezcla petróleo + Agua logran la separación de fases previa entrada a la bomba.



- **Régimen de operación variable:** mediante la utilización de un Variador de frecuencia en Superficie y través de un complejo algoritmo, se logra ir adaptando las condiciones de funcionamiento del equipo (frecuencia de operación) para detectar y facilitar el funcionamiento de la bomba centrífuga durante los eventos que preceden el bloqueo por gas, evitando que suceda el mismo.
- **Homogeneizar la mezcla:** Permitiendo de esta manera bombear el gas como parte del fluido de producción. Esta técnica es la que se desarrollará con mayor detalle a lo largo del presente trabajo.

Manejo de Fluidos Multifásicos:

Los métodos descriptos anteriormente que tienen como objetivo el de prevenir que el gas ingrese a la bomba centrífuga, son válidos en aquellos casos en los cuales la producción de gas sea relativamente baja y se cuente con algún método de captación de gas de entre-columna de baja presión.

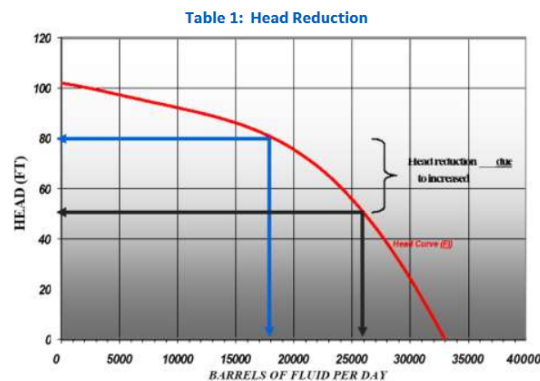
Una BES estándar puede manejar gas libre, dependiendo de la presión de admisión. Como norma general, una etapa radial puede manejar entre un 10-15% de gas libre mientras que las etapas de flujo mixto pueden extenderse hasta un 30% de gas libre antes de tener una degradación importante en su performance. El término “manejar” refiere a hacerlo de una manera eficiente, ya que de hecho una bomba centrífuga podría manejar hasta un 100% de gas libre, sin embargo, lo haría de una manera tan ineficiente que no resultaría práctica su implementación.

En ausencia de alguno de estos requerimientos listados inicialmente, no queda más alternativa que bombear al gas a superficie como parte del fluido de producción. Para que la bomba centrífuga estándar pueda desarrollar esta tarea, de una manera eficiente, es necesario que el gas pase a formar parte de una solución homogénea evitando la interferencia gas libre.

Interferencia por Gas:

Las bombas centrífugas sufren una importante degradación de su desempeño en presencia de Gas Libre. Algunos de los efectos que resultan de la interferencia con gas se listan a continuación:

- **Reducción de la altura de elevación:** cuando el volumen que pasa a través de la bomba se incrementa debido a la presencia de gas libre, el punto de operación de la curva de la bomba se corre hacia la derecha, resultando en una disminución de la altura de elevación.



- **Gas Blocking:** Ocurre dentro del impulsor de la bomba. Las burbujas de gas tienden a separarse y acumularse en el lado de baja presión del vano del impulsor (centro de este). Este paquete de gas bloquea parcialmente parte del área del vano interfiriendo con el flujo del fluido. Esto conlleva a una reducción de la producción en superficie, si las condiciones empeoran, se puede dar lo que se conoce como Gas Locking.
- **Gas Locking:** El fenómeno ocurre cuando el gas entrampado en el vano del impulsor bloquea totalmente el flujo de fluido. Durante el Gas Lock, el fluido se separa por las fuerzas centrífugas creando un anillo de fluido en la parte periférica de la etapa y manteniendo el gas en la parte central. En esta situación la bomba continúa girando, sin embargo, el fluido se ha detenido. Una vez que esto ocurre, la producción en superficie se detiene debido a que no se genera la suficiente presión para levantar la columna de fluido.

Bajo esta condición la temperatura del equipo se incrementa rápidamente debido a la incapacidad del sistema a refrigerarse, lo que lleva a generar un gran deterioro de este.

Tecnología aplicada a la industria.

La utilización de diseño asistido por software de última generación ha permitido el desarrollo de toda una gama de bombas que permiten manejar el fluido en su etapa multifásica, diseñadas específicamente para cubrir todos los escenarios que pudieran presentarse. Las mismas se dividen en tres grandes grupos: bombas de baja presión de admisión, bombas multi-vanos y bombas helicoidales.

Bombas de baja presión de admisión o “NPSH”.

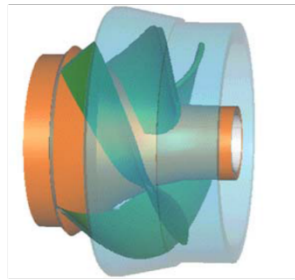
“NPSH” por sus siglas en inglés (Net Positive Suction Head) es la succión que fuerza al fluido a entrar a la bomba.

Existen dos tipos de NPSH la requerida y la disponible.

NPSHA (available, disponible) es función de las condiciones ambientales del entorno en las que se encuentra el fluido antes de llegar a la superficie, Temperatura, Presión, Pérdidas por fricción son algunas de las variables. El NPSHR (requerido) es función del diseño de la bomba y está usualmente especificado por el fabricante de la bomba.

El NPSHR debe ser menor o igual al NPSHA para que la bomba pueda producir evitando el fenómeno de cavitación.

Las bombas de bajo NPSHR tienen la habilidad de manejar grandes cantidades de gas libre a bajas presiones. Los impulsores naturalmente crean zonas de baja y alta presión a lo largo del vano. La zona de baja presión, como se comentó anteriormente, facilita la salida del gas de la solución facilitando el efecto de gas-lock.



Con un diseño apropiado de los vanos, como es el caso de las etapas Gas Insurance de flujo axial, se puede reducir el shock aplicado al fluido en comparación con una etapa de flujo radial o mixto. El suave ángulo de entrada que presenta el diseño del impulsor de estas disminuye el gradiente de presión a través del vano, reduciendo de esta manera las posibilidades de que la bomba se bloquee cuando un fluido con alto porcentaje de gas libre se mueve a través de la bomba.

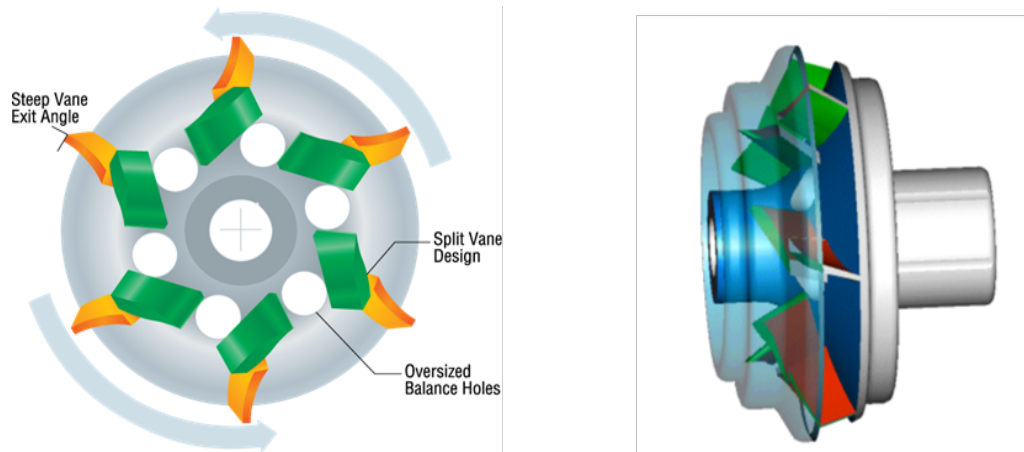
Con este tipo de etapas, la capacidad de manejar gas mejora si la viscosidad del líquido o la de densidad del gas se incrementan. Por ejemplo, para el caso de aplicaciones con CO₂, el sistema puede manejar hasta un 60% de Gas Libre

en el intake de la bomba.

La mejor forma de implementar esta tecnología es utilizándola como bombas booster en sistemas de BES tradicionales.

Bomba de Vanos Múltiples para Fluidos Multifásicos

La utilización de este innovador diseño de las etapas que permite expandir el rango de operación de los sistemas ESP, trabajando con fluidos de alto porcentaje de gas libre de una manera más eficiente. Mediante su implementación, se logra que el sistema BES trabaje de manera continua en ambientes extremadamente gaseosos reduciendo la tendencia a los paros por baja carga producidos por la interferencia con gas. Pudiendo trabajar de esta manera, dentro de las restricciones de la correlación de Turpin, hasta con un 70% de gas libre.



Los puntos destacados de este diseño son:

- 1- *Los agujeros de balanceo*, que están diseñados para mitigar las diferencias de presión y disminuir la carga. Si el gas comienza a liberarse debido a las zonas de baja presión, éste puede fácilmente escapar a través de estos agujeros previniendo su acumulación.
- 2- *El diseño de alabe partido*. Como regla general, en el majo de gas, cuanto más homogéneo sea el fluido mejor. El alabe partido facilita la mezcla que genera el régimen turbulento, lo cual mejora sustancialmente la performance en el manejo de fluidos gaseosos.
- 3- *El escarpado ángulo de descarga* de los impulsores con vanos múltiples transmite una mayor cantidad de energía cinética al líquido, resultando en una mayor capacidad de elevación del mismo en bajos caudales.

Este tipo de bombas pueden ser usadas como bombas booster o bien directamente como las bombas principales del sistema BES.

La performance de este diseño de etapas disminuye en proporción inversa al incremento de gas libre en la succión, sin embargo, se ve fortalecida en proporción al aumento de la presión en el mismo punto.

Bombas Helico-Axiales

El diseño de las etapas de esta bomba, más parecido al perfil de las etapas de una turbina que al de una BES tradicional, está orientado a trabajar en conjunto como una herramienta con la bomba principal del sistema. Su función es la de tomar el fluido con grandes porcentajes de gas libre y entregar una mezcla presurizada y con alta velocidad a la entrada del primer cuerpo de la bomba de producción principal.

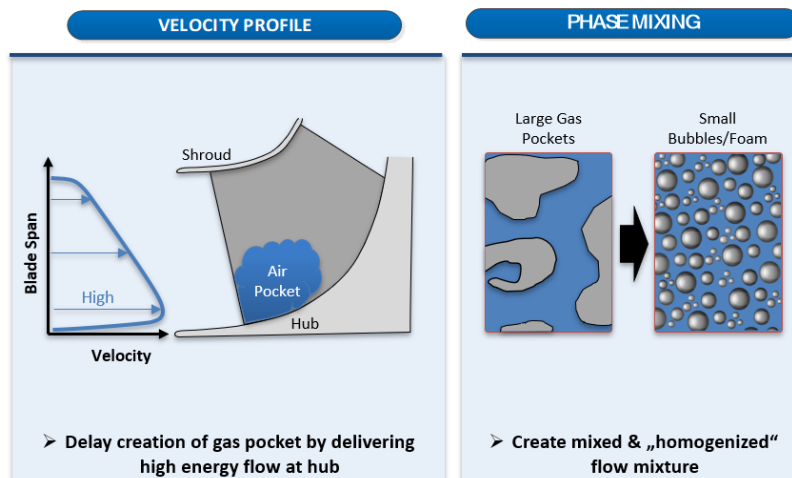


Principio de Funcionamiento

Los impulsores de flujo axial con su particular diseño helicoidal, tienen una performance mejorada en presencia de Gas libre debido a que esta geometría minimiza los gradientes de presión maximizando el momento axial (o la velocidad) empujando el gas hacia la siguiente etapa. En contraposición, esta falta de gradiente de presión conlleva una pérdida en la capacidad de elevar fluido de estas etapas en comparación con etapas de flujo mixto o radial.

La forma Helico-axial del impulsor permite manejar hasta un 75 % de GVF (Fracción Gas - Volumen) en función de la presión de admisión. El camino que recorre el fluido a través de esta geometría facilita la mezcla de las fases mientras que el difusor promueve una salida del caudal de alta velocidad en la zona del buje para arrastrar cualquier acumulación de gas en el “ojo” (entrada) de la siguiente etapa.

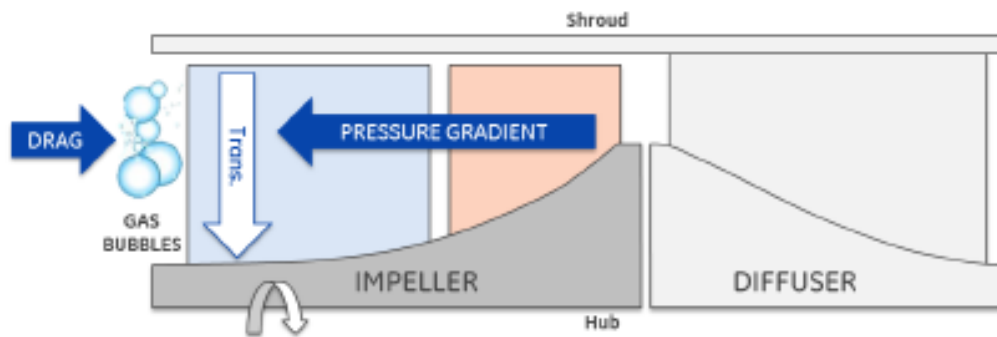
Este particular diseño, permite adicionalmente entregar una mayor cantidad de altura de elevación en comparación con otros diseños de manejadores de gas, lo que ayuda a reducir la cantidad de etapas necesarias para un mismo GVF.



Diseño

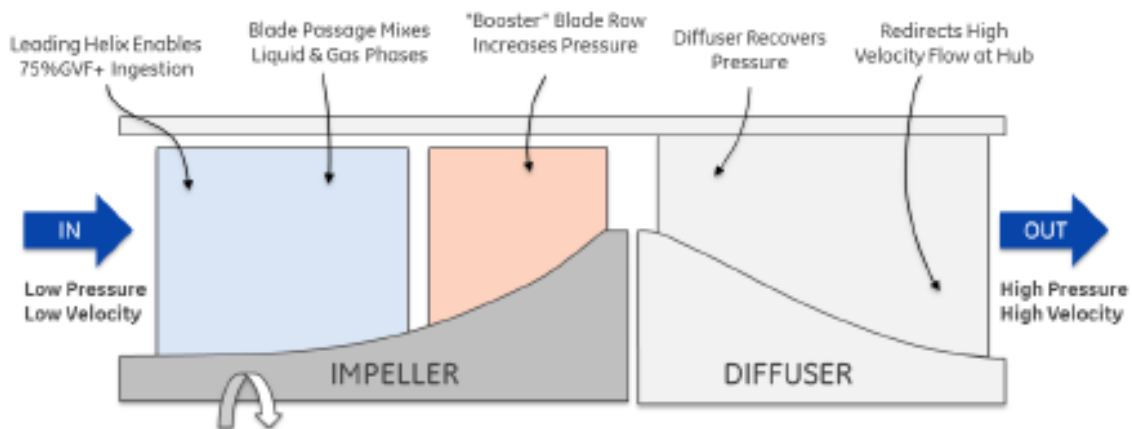
La figura debajo muestra el mecanismo de funcionamiento detrás de una etapa helico-axial. El gradiente de presión axial dominante se opone al movimiento de las burbujas de gas, mientras que el flujo que se encuentra viajando genera un arrastre que empuja las burbujas hacia adelante, facilitando el transporte de las mismas.

El gradiente transversal de presión, más débil, influencia la distribución de las fases desde el Shroud (cubierta exterior) a el Hub (parte central)



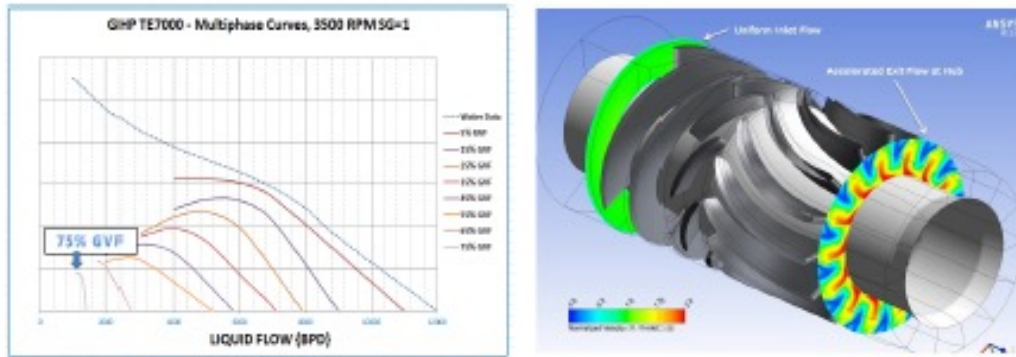
El entendimiento del modelo físico y la capacidad de modelarlo, permiten alcanzar un diseño que posee el balance ideal entre las fuerzas que actúan descritas en el párrafo anterior.

El resultado es una etapa capaz de transportar el gas y acondicionar la producción para la siguiente etapa de bombeo.



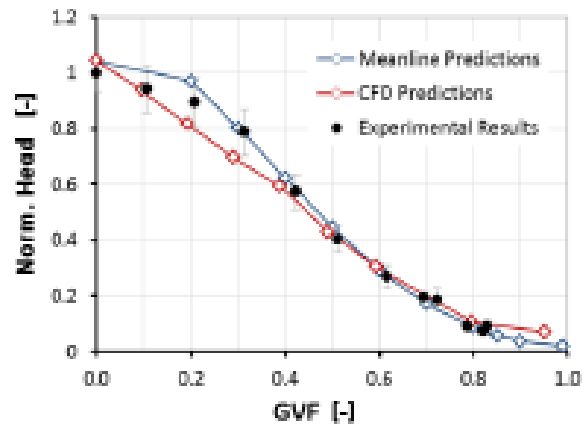
La utilización de sistemas asistidos por computadora para simular fluidos monofásicos y multifásicos permiten acelerar y optimizar los diseños pudiendo validar un amplio rango de geometrías y condiciones de operación.

En el caso debajo se presenta un flujo uniforme a la entrada, el fluido multifásico es luego mezclado en su paso por el impulsor para luego ser acelerado en el difusor. El resultado de varias simulaciones muestra la capacidad de esta etapa de manejar hasta un 75% de gas Libre en Volumen.



En el siguiente gráfico se presenta la comparación entre las predicciones realizadas con el modelo computacional y los resultados experimentales obtenidos en el laboratorio.

Los resultados presentados a continuación fueron normalizados a la condición de agua pura (0%GVF). Como se puede apreciar, tanto los resultados presentados con la herramienta de diseño, como los predichos por el modelo se ajustan a los resultados experimentales obtenidos en laboratorio. Esto es un fuerte respaldo al método de diseño utilizado.



Conclusiones

Con el pasar de los años las aplicaciones se han ido corriendo hacia lugares mas desafiantes donde hubiera sido impensado colocar sistemas de levantamiento artificial.

Pozos a mayor profundidad, fluidos más viscosos y pozos con altas producciones de gas mezclado con crudo han ido desafiando tanto la tecnología disponible como así también la imaginación y creatividad de aquellos que tienen la responsabilidad de aplicarla.

Esto ha traído aparejado la creación de múltiples soluciones que cubren un amplio abanico de problemáticas, como así también un set de herramientas que permiten desarrollar y/o actualizar con mayor velocidad nuevas alternativas.

Como se intentó describir en el presente trabajo, las alternativas son variadas y en muchos casos parecen solaparse. Sin embargo, las sutiles diferencias que existen entre ellas hacen que, para cada condición particular, se destaquen de manera individual.

El desafío hoy en día consta en:

- Tener el conocimiento de todas y cada una de las alternativas para encontrar la combinación que mejor se desempeñe en nuestros campos.
- Tener la proactividad de plantear y probar nuevas combinaciones (incluso incorporando nuevamente viejas técnicas) desafiando los estándares establecidos.
- Estudiar y profundizar no solo los casos de éxito sino también aquellos que no lograron satisfacer las necesidades. Basados en este análisis y con las herramientas que las nuevas tecnologías nos ponen al alcance de la mano (simulaciones, modelización, impresiones 3D en metales para rápida evaluación de prototipos) continuar trabajando en el desarrollo de nuevos productos.

El objetivo final es volver a poner en valor aquellos activos que ya sea por su producción o por la complejidad que representan se encuentren actualmente marginados.

Para aquellos casos que actualmente están explotados, mejorar la eficiencia y la confiabilidad de estos, es también un objetivo permanente.

Referencias:

BHGE, 2018 *“ESP Gas Handling Guidelines”*

BHGE, 2016 *“Gas Handling Pumps White Paper”*

Breve Cv:

Raul Oyarzun

Ingeniero Electrónico recibido de la “Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco”.

Gerente de ingeniería de Baker Hughes GE, basado en Comodoro Rivadavia.

16 años en la industria

Miembro del SPE seccional Golfo San Jorge