

1. TÍTULO: NUEVA BOMBA JET PARA USO EN POZOS PETROLEROS QUE INCORPORA UN NOVEDOSO ENSAMBLE DE UN CUERPO DE DESCARGA LARGO QUE CONTIENE ELEMENTOS PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA DE SU PRODUCCIÓN.

5 2. CAMPO DE LA INVENCION:

La presente invención se relaciona con una bomba jet para uso en extracción de petróleo y otros fluidos desde un pozo de petróleo hasta la superficie, rediseñada de manera especial para incrementar el flujo de producción a ser extraído mediante el impulso de fluido motriz. Este rediseño, realizado a partir de modelamiento matemático y dinámica de fluidos, probado en campo para confirmación del incremento de su eficiencia, involucra principalmente la incorporación de un ensamble de un cuerpo de descarga largo y de otros elementos relacionados de la bomba jet, reduciendo caídas de presión dentro del cuerpo de la bomba.

15 3. ANTECEDENTES DEL ESTADO DEL ARTE:

El uso de bombas jet se encuentra descrito en la literatura técnica como una respuesta ventajosa en el levantamiento de petróleo en determinado grupo de pozos. Se ha descrito también las limitaciones de las bombas jet en los campos de producción, pues debido a la calidad de los pozos, la eficiencia productiva de las mismas sigue siendo un limitante en su aplicación, tanto por el caudal de la bomba jet cuanto por las paradas requeridas para su mantenimiento y limpieza, relacionadas especialmente a la contaminación por sólidos en el fluido motriz y en el fluido de producción, todo lo cual incide en elevados costos de extracción y producción.

Para solucionar este problema y mejorar la eficiencia de la bomba jet, se han realizado esfuerzos para mejorar los tiempos de parada para mantenimiento de las bombas jet, así como la eficiencia de producción de la bomba jet en sí misma, lo que ha llevado a realizar investigaciones acerca de estos problemas, como se demuestra en las patentes que citamos a continuación como estado del arte en el campo de la invención. La patente US 6685439 B1, de 3 de febrero de 2004, *Bomba Hidráulica Jet*, se refiere a un diseño único de una bomba jet, describiendo principalmente el recorrido del flujo motriz atravesando la tobera y el recorrido del flujo mezcla a través de una cámara de mezcla y de un miembro deflector hasta su descarga hacia los medios de conducción en superficie; dicha bomba presenta un diseño muy diferente al del presente invento y su “miembro deflector” es el elemento equivalente a los segmentos de descarga existentes en todas las bombas tipo jet, presentando, además, un diseño muy diferente al del “cuerpo de descarga largo” del presente invento. La patente US10309425B1, de 4 de junio de 2019, también se refiere al diseño específico de una bomba jet, y a pesar de que la presenta como una bomba jet de alta capacidad de flujo, no declara el valor del flujo para justificar dicha característica, ni descubre las principales características relacionadas con dicha alta capacidad.

También se conocen patentes dirigidas a mejorar las características de los fluidos motriz y de pozo, con el fin de aplazar las paradas de mantenimiento, como consta en la patente US20150064034 A1, de 5 de marzo de 2015, que se refiere al diseño de un filtro de admisión para

- un sistema modular para aplicaciones de succión diferentes a los pozos petroleros. La aplicación se refiere a la retención de impurezas mucho más pequeñas que aquellas relacionadas con pozos de petróleo, por lo que requiere de componentes porosos y no de 2 láminas metálicas perforadas, una interior y otra exterior, como ocurre con el filtro que se aplica en el presente
- 5 invento, cuyas perforaciones son de diámetros mucho mayores, con el objetivo de retener impurezas de tamaños mayores, como las que se indican en la Memoria Técnica para el filtro de succión ubicado en el lado inferior de la bomba jet, aguas abajo a continuación del cuerpo de descarga largo.
- 10 Pese a los esfuerzos descritos, persisten problemas de baja eficiencia en bombas jet y alto costo de mantenimiento. Considerando además que existen pozos de producción de petróleo cuyas características requieren preferentemente utilizar bombas jet, por encima de bombas eléctricas o de émbolo, la presente invención, a diferencia de lo existente en el estado de la técnica, se
- 15 orienta a un rediseño integral basado en la incorporación de un tubo de descarga largo especialmente diseñado, diferente a lo conocido en el estado de la técnica, así como a la incorporación, en la sección superior a la boquilla, de un filtro de doble etapa con el objetivo de eliminar sólidos y evitar daños en la boquilla, y, en la sección inferior al cuerpo de descarga largo, de un filtro de doble malla que reduce los contaminantes sólidos presentes en el fluido a ser
- 20 extraído del yacimiento, facilitando la obtención de fluido de producción de mejor calidad, y, por tanto, mejorando la eficiencia de la bomba jet. Se ha rediseñado también las partes interiores de la bomba, permitiendo reducir caídas de presión ocasionadas por turbulencias internas, en comparación con la bomba jet descrita en la patente US 9,297.239 B2 de 29 de marzo de 2016, del mismo inventor, mencionada como referencia, pero no de modo limitativo.
- 25 El nuevo diseño de la bomba jet responde a mejorar los flujos motriz y de producción, que, como hemos indicado, siguen involucrando un problema en el campo de aplicación de bombas jet para el levantamiento de petróleo, para lo cual se realizaron varios estudios de campo y de modelos matemáticos basados en dinámica de fluidos, orientados a mejorar la eficiencia de la bomba jet, incrementando el caudal de producción a ser extraído. Para ello se amplía y se modifica la sección
- 30 de descarga de la bomba; aumentando el caudal de ingreso del fluido motriz y del flujo de extracción del pozo, reorientando de mejor manera estos flujos y especialmente el flujo de mezcla de los fluidos motriz y de extracción hacia el espacio anular, y otros mejoramientos en el espacio interior de la bomba, por ejemplo, el espacio en la garganta, del difusor y de la extensión del tubo de descarga. Se introducen también modificaciones en el ensamble de la boquilla y en
- 35 el espacio entre la boquilla y garganta de la bomba jet, al eliminarse el asiento de la boquilla aplicado en el estado de la técnica. Con las modificaciones y mejoras indicadas, se consigue mejorar el caudal del fluido de producción, con mayor rendimiento de la bomba jet. En cuanto a la mejora en uso y costos de mantenimiento, se logra incrementar los lapsos de mantenimiento de las bombas gracias al uso de los filtros en la parte superior de la bomba jet y en el ingreso
- 40 inferior de la misma, además de aumentar los caudales de ingreso de los flujos motriz y del fluido del pozo. El nuevo diseño conjunto contribuye a mejorar la eficiencia de la bomba.

Así, la presente invención presenta una bomba jet más eficiente para levantamiento de petróleo respecto a aquellas del estado de la técnica, y de menor costo de mantenimiento, solucionando

problemas específicos que siguen siendo significativos en la industria, pues pese a las deficiencias descritas, que presentan en el estado de la técnica, las bombas jet son necesarias en varios escenarios, frente a otras como las bombas eléctricas, de costos más altos, más contaminantes y de mayor dificultad para su instalación, operación y mantenimiento.

5

4. BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS:

La Fig. 1 representa una completación de pozo para extracción de petróleo, que incorpora una camisa deslizante de circulación en el fondo de la tubería de producción (*tubing*).

10

La Fig. 2 representa una completación de pozo de extracción de petróleo, para un sistema con tubería flexible (*coil tubing*), en donde no se requiere de una camisa de circulación deslizante.

La Fig. 3 representa una vista en corte longitudinal de la bomba jet, con identificación de sus componentes principales, según el presente invento.

15

La Fig. 4 representa una vista en corte longitudinal de la bomba jet con vistas de detalle de sus conjuntos componentes más relevantes, según el presente invento.

La Fig. 5a representa una vista en corte longitudinal que muestra el recorrido del fluido de succión por el interior de la bomba jet en normal funcionamiento, según un propósito del presente invento.

20

La Fig. 5b representa una vista en corte longitudinal del recorrido de los fluidos motriz y de descarga dentro de la bomba jet en normal funcionamiento, según un propósito del presente invento.

25

La Fig. 6a representa una vista en corte de un cuerpo de descarga de una bomba jet según el estado de la técnica, con la indicación del recorrido del flujo de descarga.

30

La Fig. 6b representa una vista en corte del cuerpo de descarga largo según diseño de la presente invención, con la respectiva indicación del flujo de descarga.

La Fig. 7a representa una vista en corte y una vista superior del cuerpo de descarga según el estado de la técnica, indicando el recorrido del flujo de succión.

35

En la Fig. 7b se representa una vista en corte y una vista superior del cuerpo de descarga largo según la presente invención, indicando el recorrido del flujo de succión.

En la Fig. 8a se representa una vista exterior frontal con una vista superior y una vista en sección del cuerpo de descarga, utilizado en bombas jet del estado de la técnica.

40

En la Fig. 8b se representa una vista exterior frontal con una vista superior y una vista en sección del cuerpo de descarga de la bomba jet de la presente invención.

5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION:

Los requerimientos para el desempeño de bombas en fondo de pozo son muy específicos, siendo los principales problemas que afectan la eficiencia y mantenimiento de las bombas jet, los siguientes:

1. El incremento del corte de agua en los yacimientos, que influye en la calidad de los fluidos a ser extraídos de los pozos;
2. La declinación de las presiones de yacimiento, lo que conlleva a un requerimiento de mayor potencia en superficie, para mejorar la presión de extracción del fluido del pozo, con importantes incrementos de costos y mayor contaminación ambiental;
3. Un mayor contenido de sólidos en suspensión, que al depositarse en las bombas generan turbulencias internas y taponamientos más frecuentes, obligando a proporcionar mantenimiento con mayor frecuencia.

La presente invención se refiere a una bomba jet modificada en su diseño, que involucra, por un lado, una ampliación considerable en la sección de descarga de la bomba jet y, de otro, el rediseño de una conducción del sistema de circulación de fluidos, respondiendo a estudios de simulación y modelamiento matemático de los mismos, de las turbulencias ocasionadas por los fluidos motriz y de pozo, a fin de minimizar pérdidas de presión al interior de la bomba, incrementando la eficiencia productiva en pozos de las condiciones mencionadas, al disminuir o eliminar causantes de caídas de presión dentro de la bomba. De las gráficas señaladas en esta descripción y de los elementos geométricos modificados, se desprende que responden a evitar turbulencias dentro del espacio de la bomba, causadas por los flujos motriz y de producción, calculando y desarrollando los diseños sobre la base de modelamientos matemáticos corroborados posteriormente en campo.

Otro de los problemas a solucionar con la bomba jet modificada de la presente invención, es el mejoramiento en la calidad de los fluidos que ingresan a la misma, ya sea el fluido motriz o el de producción, para lo cual se incorporan filtros para el ingreso de cada uno de ellos, eliminando los sólidos en suspensión. Además de mejorar el caudal, se proporciona un diseño mejorado que disminuye considerablemente los depósitos en las partes interiores de la bomba jet, reduciendo caídas de presión y turbulencias debidas a esos obstáculos, conllevando además menor frecuencia de mantenimientos, incidiendo en eficiencia y menor costo de mantenimiento.

Adicionalmente, el rediseño de la bomba jet de esta invención le permite también, por el tamaño y distribución interna de sus elementos, trabajar tanto en fondo de pozo en una implementación con camisa, como en el sistema de tubería flexible en pozos cuya completación no incluye camisa, también conocidos como *coil tubing*.

Para alcanzar el mejoramiento de las condiciones del flujo motriz en la bomba jet de este invento, se han desarrollado las siguientes modificaciones:

En la sección superior de la bomba correspondiente al ingreso del fluido motriz (Fig. 5a, ítem 19), entre el extremo superior y la boquilla, se incorpora un filtro de doble etapa (Fig 3, ítem 13) caracterizado porque tiene dos mallas de filtrado, una a continuación de otra en sentido de aguas abajo, con perforaciones que son: la primera en un rango de 3.5mm a 4,5mm de diámetro: y, la segunda, en un rango de 2,5mm a 3,0mm de diámetro. Inmediatamente, en el mismo sentido hacia abajo (considerado hacia el yacimiento (Figs. 1 y 2, ítem 5)), se tiene la sección que contiene el alojamiento de la boquilla (Fig. 3, ítem 22 y Figs. 5a y 5b, ítem 22) y la boquilla (Fig. 3, ítem 14, fig. 4, ítem 14 y figs. 5a y 5b, ítem 14), eliminándose, como se puede observar en las gráficas respectivas, el asiento de la boquilla existente en las bombas jet del estado de la técnica, dejando libre dicho espacio con el objetivo de ampliar el mismo para permitir el ingreso de un mayor caudal del fluido succionado desde el yacimiento (Figs. 1 y 2, ítem 5), como se detalla en las Figs. 3, 4 y 5a, ítem 38).

A continuación, en el detalle de la bomba, se observan las secciones de la garganta (Figs. 3 y 4, ítem 15), desde donde fluye la mezcla de los fluidos motriz y del pozo, hacia el difusor (Fig. 3, ítem 28) y posteriormente hacia la extensión del tubo de descarga (Fig. 3, ítem 31); tales secciones han sido modificadas en la presente invención, incrementándose sus dimensiones con relación al estado de la técnica actual, de conformidad con el resultado de los estudios de fluidos realizados, logrando un flujo laminar sin turbulencias y minimizando las caídas de presión existentes en las bombas del estado de la técnica, y que son responsables de limitar la producción requerida. Se obtiene así, de forma satisfactoria, una bomba de levantamiento de petróleo con mejor rendimiento y eficiencia.

A continuación, y siguiendo con la descripción de las innovaciones realizadas en la bomba jet de esta invención, se tiene, en el sentido de aguas abajo, la sección del cuerpo de descarga largo de la bomba (Figs. 3 y 4, ítem 16; Fig. 6 b, Fig 7 b y Fig. 8 b), que se constituye en la principal diferencia con las bombas jet del estado de la técnica ya que este elemento, de mayor longitud que el cuerpo de descarga (Figs. 6a, 7a y 8a) de aquellas, ha sido especialmente diseñado para la bomba innovada, con el propósito de facilitar el flujo en su interior eliminando turbulencias, tras conseguir, con ajustes de estudios de modelamiento de fluidos, un flujo laminar que responde a la longitud específica y a la conducción del fluido a través de los ductos del interior del cilindro especialmente diseñado, en número y en relación radial mediante el cual se alcanza un flujo laminar en el que se disminuye la turbulencia causada en este espacio de descarga, con relación a las bombas del estado de la técnica, desde el momento de comunicarse con la extensión del tubo de descarga (Fig. 3, ítem 31) para recibir los fluidos de mezcla y conducirlos directamente hacia el espacio anular (Fig. 2, ítem 39) cuando se trata de completaciones con tubería flexible (*coil tubing*) (Fig. 2) o en completaciones que tienen camisa de circulación (Fig. 1, ítem 7) en el fondo del pozo a través de las ventanas de dicha camisa, hacia el espacio anular (Fig. 1, ítem 8). Lo anterior se comprueba experimentalmente aplicando el software *Flow Simulation* de *Solid Works*, que muestra la reducción de caídas de presión de manera significativa en este espacio de descarga, incrementando significativamente la producción de la bomba, y eliminando así las restricciones que se observan en las bombas jet conocidas en el estado de la técnica, al tiempo que se amplía su campo de aplicación hacia su utilización en pozos petroleros con completaciones

de tuberías que incluyen (Fig. 1) o no (Fig. 2) una camisa de circulación, lo cual incide directamente en la mayor flexibilidad de su aplicación.

5 El cuerpo de descarga largo (Figs. 3 y 4, ítem 16) ha sido especialmente diseñado en una sola pieza metálica, sin componentes desmontables, la cual es maquinada de manera que por su interior tiene un ducto axial (Figs. 6b y 8b, ítem 40) que no lo atraviesa, con siete ranuras longitudinales de forma ovalada alargada, distribuidas circunferencialmente y de forma equidistante, que por su parte superior se comunica con la extensión del tubo de descarga de la bomba (Fig. 3, ítem 31) para recibir el fluido mezcla y, lateralmente, cada una de estas ranuras se comunica con cada uno de siete ductos radiales de sección ovalada alargada (Figs. 6b, y 8b, ítem 42) distribuidos circunferencialmente que comunican cada una de las siete ranuras del ducto axial para conducir (Figs. 5b, 6b, 7b y 8b) directamente el fluido mezcla hacia el espacio anular (Fig. 2, ítem 39), para completaciones sin camisa de circulación (Fig. 2) o a través de los puertos de la camisa de circulación (Fig. 1, ítem 8), para completaciones con camisa de circulación (Fig. 1). Así mismo, en este cuerpo de descarga largo se han taladrado siete ductos axiales (Figs. 7b, ítem 41) distribuidos circunferencialmente, equidistantes, paralelos entre sí, y paralelos al eje de la bomba, que lo atraviesan con el objetivo de dirigir el flujo de producción succionado (Figs. 5a, 7b y 8b, ítem 18) desde el yacimiento (Figs. 1 y 2, ítem 5) hacia la boquilla (Fig. 5a, ítem 14), siguiendo las rutas preestablecidas (Fig. 5a), absorbido por el vacío ocasionado por el efecto Venturi al paso del fluido motriz (Fig. 5a, ítem 19) por dicho elemento.

Los valores que se han modificado en esta sección del cuerpo de descarga largo, respecto del estado de la técnica, y que tienen que ver con el mejoramiento de la producción del fluido y el aumento del caudal, como se aprecia de manera comparativa en las figuras (Figs. 6b, 7b y 8b, vs Figs 6a, 7a y 8a, respectivamente), se encuentran dentro de los siguientes porcentajes:

VALORES MODIFICADOS	incremento
ALTURA TOTAL	22%
DIÁMETRO NOMINAL DEL CUERPO	20%
DIÁMETRO DE LOS DUCTOS LONGITUDINALES	26%
ALTURA DE RANURAS DE DESCARGA RADIALES	30%
DIÁMETRO INTERNO DE DESCARGA LONGITUDINAL	36%

Es decir, que las dimensiones principales del cuerpo de descarga largo (Figs. 3 y 4, ítem 16) de la bomba jet de este invento estarían en los siguientes rangos: altura total en un rango entre 20 cm y 25 cm; su diámetro estaría en un rango entre 6,5 cm y 7,5 cm; y la altura de la ventana de cada uno de los ductos (Figs. 6b y 8b, ítem 42) radiales de descarga de los fluidos en un rango entre 13 cm y 15 cm.

Este rediseño con nuevas dimensiones ha mejorado considerablemente las condiciones de caudal medidas de conformidad a las presiones, para aumentar el flujo de la mezcla de fluido

motriz y de producción, atenuando las turbulencias que son comunes dentro de estas bombas, y reduciendo consecuentemente las pérdidas de presión, como se demuestra a partir de los datos experimentales de pruebas realizadas para 4 casos que se resumen en la Tabla 1 a continuación, mejorando así su eficiencia, especialmente en flujos donde el caudal secundario del pozo llega a 4.000 bpd, en donde, según se puede apreciar, se ha incrementado la eficiencia mecánica en un 30% respecto de una bomba del estado de la técnica más cercana. Estos datos han sido comprobados por mediciones de prueba de laboratorio y confirmadas en experimentos realizados en campo.

10 Tabla 1. Datos de resultados experimentales.

	Caso 1		Caso 2		Caso 3		Caso 4	
	Estado de la técnica	Bomba de la invención	Estado de la técnica	Bomba de la invención	Estado de la técnica	Bomba de la invención	Estado de la técnica	Bomba de la invención
Presión motriz (psi)	6068	6068	5236	5236	6349	6349	5694	5694
Presión descarga (psi)	3422	3422	3429	3429	3444	3444	3423	3423
Caudal secundario (bpd)	1194	1194	1194	1194	2000	2000	4000	4000
Presión de entrada (psi)	2573	2533	2488	2447	2300	2190	3275	3072
Caudal motriz (bpd)	1336	1339	2114	2121	2576	2594	2019	2062
Eficiencia mecánica (%)	28.7	30.0	29.4	30.6	30.6	33.3	12.9	30.0

15 Siguiendo con la descripción de la bomba jet según la presente invención, en su parte inferior (Fig. 3, ítem 36) en sentido vertical con relación al pozo, se ha reducido el diámetro de su sección con relación al de las bombas jet del estado de la técnica, con el objetivo de incrementar el respectivo espacio anular con relación a la tubería de producción (Fig. 1, ítem 2) o a la tubería flexible (*coil tubing*) (Fig. 2, ítem 9) para permitir un mayor caudal del fluido desde el yacimiento (Figs. 1 y 2, ítem 5) ingresado desde el lado de succión (Fig. 5a, ítem 18) hacia el espacio donde está la boquilla (Fig. 5a ítem 38). En esta misma sección, entre el ingreso del fluido del yacimiento (Fig. 5a, ítem 18) y la sección de extensión inferior (Fig. 3, ítem 34), se incorpora un filtro de doble

20 malla que comprende una malla exterior (Fig. 3, ítems 17) y una malla interior (Fig. 3, ítem 35)

con el objetivo de evitar el ingreso de sólidos que pudieran provocar taponamientos en los recorridos de succión o a la salida de la boquilla, mejorando así la operación de la bomba jet de la presente invención, alargando también los períodos de mantenimiento, lo que a su vez incide directamente en el rendimiento de las bombas jet.

5

Por su diseño, la bomba jet de la presente invención presenta gran versatilidad. Puede utilizarse con sistemas de tubería flexible (*coil tubing*) (Fig. 2), para lo cual solo se requiere incorporar los accesorios estándar correspondientes, tales como medios de conexión superior e inferior para tubería flexible (Fig. 2, ítem 9) y las empaquetaduras (Fig. 2, ítem 12) necesarias entre tubería flexible (Fig. 2, ítem 9) y tubería de producción (Figs. 2 ítem 2). Adicionalmente, la bomba jet de la presente invención puede utilizarse en fondos de pozo con completaciones que tienen camisa (Fig. 1), ya que sus medidas se acoplan para las mismas, y también se fabrican para las diferentes dimensiones de tubería ATM usualmente utilizadas para la extracción en pozos petroleros.

10

15

Por lo tanto, las ventajas de la bomba jet de la presente invención sobre aquellas existentes en el estado de la técnica son las siguientes:

20

25

1. Incremento importante de producción asociada al aumento en el rendimiento de la bomba, lo que resulta de especial trascendencia cuando se tienen flujos de producción de 4000 bpd en los que se ha incrementado, además, hasta un 30% en la eficiencia. Así, la bomba jet objeto de esta invención presenta notable ventaja sobre las existentes en el estado de la técnica, resultando especialmente recomendables y competitivas para campos en que, por sus características especiales con relación a otras, como las bombas eléctricas o las de émbolo, se requiere el uso de bombas jet, atendiendo a sus ventajas de menor costo.

30

2. Optimización de los parámetros de producción en superficie (presión y caudal), ya que, como se ha demostrado, se mantienen estables ciertas presiones, permitiendo que sus requerimientos de bombeo en superficie sean controlados mejor, al igual que los caudales obtenidos.

35

3. Incremento de plazos entre mantenimientos, mejora de producción, disminución de paradas de producción, y optimización de costos de operación asociados a mantenimiento, debido a la reducción de taponamientos de la bomba por acumulación de residuos sólidos en las partes inferior y superior.

40

4. La bomba jet de la invención es muy versátil, pudiendo utilizarse en pozos con completaciones con o sin camisa de circulación y sin restricciones en cuanto a su diámetro, debido a que se puede aplicar con sistemas de tubería flexible (*coil tubing*) o sin éste, según los requerimientos del pozo, mediante la simple aplicación de accesorios estándar requeridos.

5. Son bombas que se usan en tuberías de producción con diámetros estándar ASTM, de aplicación en el campo petrolero, para producción de pozos.