

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO,**

**GAS NATURAL Y PETROQUÍMICA**



**“APLICACION DEL PRINCIPIO VENTURI PARA LA RECOLECCION DEL  
GAS DE FORROS DE POZOS CON SISTEMA B.E.S”**

**INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL  
PARA OPTAR EL TITULO DE:  
INGENIERO DE PETROLEO**

**ELABORADO POR:  
JUAN JOSE DELGADO CEBINCHA**

**PROMOCION 1996 - 0**

**LIMA – PERU**

**2013**

## **DEDICATORIA**

A mis padres por haberme brindado las enseñanzas que me permiten que cada día alcance mis objetivos.

A mi hija Gabriella por brindarme su cariño y comprensión.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Empresa Pluspetrol por confiar en el planteamiento del proyecto inicial y su posterior etapa de ejecución.

A los Ingenieros Jairo Díaz, Magno Gonzales y Sixto Izquierdo por su continuo apoyo en la ejecución del presente proyecto.

## SUMARIO

En las operaciones de explotación de la cuenca Marañón ubicado en la Selva del Perú, el principal mecanismo de impulsión de los fluidos en los reservorios es el denominado “empuje de agua” que puede ser del tipo lateral o de fondo. Debido a que los pozos no llegan a alcanzar la energía suficiente para que el fluido llegue hasta la superficie, es necesario usar algún tipo de mecanismo de extracción artificial. Debido a las características de los fluidos, reservorios, etc. en el 98% de estos pozos se utiliza el mecanismo de extracción artificial de “Bombeo Electrosumergible”. En este mecanismo, el fluido es extraído a través de una sarta de producción que consta de un conjunto de fondo (Bomba, sello y motor) el cual viene conectado al cabezal del pozo a través de una sarta de producción que también sirve como elemento de soporte del cable eléctrico el cual alimenta con corriente eléctrica al motor de fondo.

En la zona anular entre el revestimiento y la sarta de producción se tiene un área en cuya zona existe un nivel de fluido dinámico, por encima de éste se encuentra una fase gaseosa cuya masa depende de las características del reservorio, fluido de producción, presión en el revestimiento, etc.

El gas de forros, en la mayoría de los casos es transportado a través de “líneas colectoras de gas” y llevado hacia las baterías de producción. Sin embargo, este sistema es muy adecuado en yacimientos de topografía uniforme o también en pozos cercanos a las baterías. Por otra parte en pozos ubicados en yacimientos con una topografía de terreno muy variable y alejada a las baterías éste sistema resulta ineficiente debido a que produce la condensación del líquido proveniente del gas de forros. Éste tiende a acumularse en las zonas de baja pendiente, ocasionando la disminución del diámetro efectivo e incremento en la presión de forros en la cabeza del pozo y deficiente desplazamiento del gas.

Por consiguiente, en las instalaciones de superficie donde no se dispone de líneas de recolección el gas de forros, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos o consecuencias:

- 1.- Pérdida del gas al medio ambiente, pudiendo recolectarse y usarlo en la generación de energía eléctrica.

2.- Fuente potencial de derrames e impacto al medio ambiente, debido que en casos en los que se detenga el sistema BES y si no es detectado a tiempo, el nivel de fluido puede llegar hasta superficie y el líquido de la zona anular podría liberarse a través de la válvula de alivio instalada.

3.- Adecuación a las normas gubernamentales que prohíben el venteo de gases al ambiente.

Para lograr tener el sistema de recolección de gas de forros eficiente, de bajo costo y cumplir con la normativa gubernamental; se plantearon de que cuando la topografía del terreno no sea compleja y el pozo este cerca a la batería se instalaría líneas recolectoras de gas de forros y en otros casos se buscaría otras opciones. Analizando diversas alternativas, se planteó realizar el “Proyecto Piloto de Recolección de gas de forros usando el principio Venturi”, para ello se tuvo que realizar un modelamiento matemático los cuales permitieron predecir el comportamiento del sistema, determinar las características de cada componente del eductor, generar planos para la fabricación, instalar y evaluar este prototipo.

Este equipo fue instalado y evaluado en el pozo SHIV 1603 ubicado en el yacimiento Shiviyacu (Lote 1AB), cuyos resultados fueron aceptables demostrando que es factible aplicar esta técnica otros los pozos.

# “APLICACION DEL PRINCIPIO VENTURI PARA LA RECOLECCION DEL GAS DE FORROS DE POZOS CON SISTEMA B.E.S”

## INDICE

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
SUMARIO	III
INDICE	V
CAPITULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	1
1.1 Problemática.	1
1.2 Objetivo general.	3
1.2.1 Objetivos específicos.	3
1.3 Justificación.	3
CAPITULO 2: MARCO TEORICO.	5
2.1 Antecedentes.	5
2.2 Bases teóricas.	8
2.3 Marco conceptual.	12
CAPITULO 3: DESARROLLO DEL PROYECTO PILOTO.	15
3.1 Dimensionamiento del equipo educador.	15
3.2. Información para el proyecto piloto (Pozo SHIV 1603).	16
3.3 Modelamiento matemático del educador.	19
3.3.1 Aplicación del programa Chemcad.	19
3.3.2 Aplicación del programa PROSPER.	24
3.3.3 Aplicación del programa AUTOCAD.	25
3.3.4 Fabricación del Equipo Educador.	27
CAPITULO 4: IMPLEMENTACION DEL PROYECTO	29
4.1 Instalación del Prototipo de Educador.	29

4.2 Equipos de automatización y sistemas de control instalados.	29
<b>CAPITULO 5: RESULTADOS DE CAMPO DEL EQUIPO EDUCTOR.</b>	<b>33</b>
5.1 Medición y monitoreo de parámetros.	33
<b>CAPITULO 6: ANALISIS ECONOMICO.</b>	<b>38</b>
6.1 Aplicación: Pozo CORRIENTES 1020.	38
<b>CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>41</b>
<b>CAPITULO 8: BIBLIOGRAFIA.</b>	<b>43</b>

## CAPITULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1.- PROBLEMATICA

Los mecanismos de producción de los yacimientos de petróleo ubicados en el noreste de la Selva Peruana son principalmente de empuje de agua de fondo y/o lateral. Las principales características del fluido y reservorio son: gravedad API, la cual varía de 10° a 35°, viscosidad de 0.7 a 70 cp.; temperatura de fondo de 220° a 298° F, la salinidad del agua producida que varía entre 5,000 ppm y 150,000 ppm de cloruros, el índice de productividad entre 0.2 y 60 BFPD/psi. Adicionalmente, los pozos llegan a alcanzar altos cortes de agua al final de su vida productiva (actualmente en promedio 97%). También, en función a la composición del fluido éste puede desarrollar emulsiones, deposición de asfaltenos, parafinas, carbonato de calcio, sulfatos de bario, productos de corrosión, etc.

En el 98% de los pozos productivos se utiliza el mecanismo de levantamiento artificial por bombeo electrosumergible (B.E.S.). La instalación típica de un equipo B.E.S. consiste principalmente de un motor eléctrico, un sello, un separador de gas y una bomba electrocentrífuga. El cable de potencia transmite la energía eléctrica desde la subestación en superficie hasta el motor. La energía eléctrica para alimentar el motor, proviene de generadores instalados en la locación o centrales eléctricas. En superficie se cuentan con transformadores, tableros o variadores de frecuencia, los cuales se encargan de suministrar el voltaje correcto y las protecciones necesarias al motor de fondo.

También, en superficie tenemos otros componentes que son parte del sistema de producción, estos son: el cabezal del pozo, el sistema de inyección de productos químicos, mini separadores, líneas de producción, etc.

El cabezal del pozo, está diseñado para soportar la sarta de producción y provee un sello entre la tubería - cable B.E.S. instalado y la superficie. El cabezal tiene conexiones y válvulas que permiten controlar la producción del pozo y también las válvulas laterales que controlan la zona "anular" del pozo. En la zona anular entre el revestimiento y la sarta de producción, se tiene un área en cuya zona existe un nivel de fluido dinámico en el cual por encima

de éste se encuentra una fase gaseosa cuya masa depende de las características del reservorio, fluido de producción, presión en el revestimiento, etc.

El gas existente en la zona anular debe ser liberado a superficie y producido hacia las baterías, de lo contrario la zona anular se presuriza ocasionando dificultad para el ingreso del fluido de recirculación y los productos químicos anticorrosivos, anti incrustantes y rompedores de emulsión. También se ha evaluado que en pozos de bajo índice de productividad (PI menores a 0.6) el incremento de presión en el anular ocasiona una disminución en el aporte del pozo.

En los casos en donde no se dispone de sistemas para la recolección del gas de forros trae como consecuencia:

- 1.- Pérdida del gas al ambiente, pudiendo recolectarse y usarlo como combustible en la generación de energía eléctrica.
- 2.- Peligros de derrames, debido que en casos en los que se detenga el sistema BES y no sea detectado a tiempo, el nivel de fluido puede llegar hasta superficie y el líquido puede liberarse a través de la válvula de alivio instalada.
- 3.- No adecuación a las normas gubernamentales que prohíben el venteo de gases al ambiente. Según el D.S. N 032-2004-EM en el Art. 241 (Capítulo III Operaciones de Producción) dice: "No debe operarse los pozos con válvula de tubería de revestimiento abierta al aire. El gas natural debe ser recolectado, usado o enviado a las baterías de producción".

Normalmente, el gas de forros es recolectado a través de líneas de gas y llevado a las baterías o también podría ser venteado al ambiente a través de válvulas de alivio.

El sistema de recolección de gas de forros a través del uso de líneas colectoras, es muy empleado en yacimientos con topografía de terreno uniforme o también en pozos cercanos a las baterías. Sin embargo, en yacimientos con una topografía es muy variable y con pozos alejados de las baterías, éste sistema resulta ineficiente debido a que el gas húmedo empieza a condensarse y se acumula en las depresiones originando restricciones, requiriéndose presiones de forros mayores a las que el

sistema del pozo puede aportar para que se genere un eficiente desplazamiento del gas.

## **1.2.- OBJETIVO GENERAL**

- Desarrollar un sistema alternativo para la recolección de gas de forros en pozos con sistema de levantamiento artificial de bombeo electrosumergible que no dependa de la topografía del terreno.

### **1.2.1.- OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Desarrollar y presentar los resultados del Proyecto Piloto de recolección de Gas de forros de pozos usando el principio Venturi, a través de la instalación de un equipo eductor instalado en la línea de producción de un pozo con sistema BES.
- Efectuar los cálculos y modelamientos matemáticos de flujo a través de un eductor para recolectar el gas de forros.
- Efectuar una comparación económica de esta propuesta y otras alternativas tradicionales.

## **1.3.- JUSTIFICACION**

El sistema de recolección de gas de forros a través del principio "Venturi" es importante porque permite recolectar el gas del anular de los pozos a través del equipo eductor instalado en la línea de descarga de producción del pozo. Las técnicas tradicionales para recolectar el gas de forros constan de la instalación de una línea de 2 pulgadas conectada desde la válvula lateral del carrete de producción hasta un múltiple colector de gas de forros de otros pozos de esta plataforma, el cual se encuentra ubicado en la zona cercana a la plataforma. Desde este punto, se instala una línea de gas de 4 pulgadas que se encargara de transportar el gas hasta la batería, en éste último punto el gas de forros ingresa a un separador, donde la fase gaseosa es recolectada y se une al sistema de gas de los separadores de producción de los pozos.

Sin embargo en las instalaciones de superficie donde no se disponen de líneas de recolección el gas de forros; se instalan sistemas de válvulas de

alivio calibradas a determinada presión, a partir del cual por encima de ésta presión de calibración se libera el gas al ambiente.

Para conseguir un sistema de recolección de gas de forros eficiente, de bajo costo y cumplir con la normativa gubernamental; se plantearon varias alternativas dentro de las cuales se concluyó que cuando la topografía del terreno sea uniforme y el pozo se ubique a una distancia razonable de la batería, se instalarían líneas recolectoras de gas de forros y en los otros casos se buscará nuevas alternativas.

El "Proyecto Piloto de Recolección de gas de forros usando el principio Venturi" consistió en la fabricación de un equipo con un diseño especial a partir de cálculos matemáticos los cuales permitieron predecir el comportamiento del sistema, determinar las características de cada componente del eductor, generar planos para la fabricación, instalación y evaluación del equipo.

Los resultados de este proyecto permitieron instalar equipos eductores a otros pozos y también demostraron ser una alternativa más económica que las técnicas convencionales de recolección de gas.

## CAPITULO 2: MARCO TEORICO

### 2.1.- ANTECEDENTES

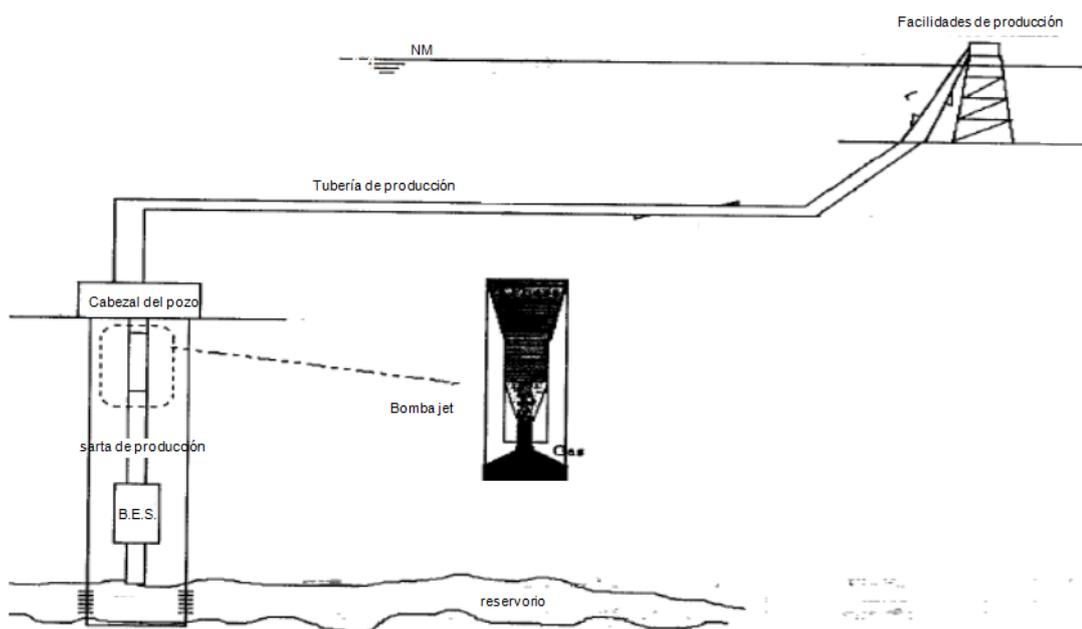
El principio Venturi, tiene diversas aplicaciones en la ingeniería mecánica, aeronáutica, etc. Por ejemplo los eductores de chorro de agua utilizan un fluido de alta presión para manipular un fluido de baja presión y descargar la mezcla contra una presión intermedia utilizando el principio de Venturi. Los eyectores de este tipo se utilizan en operaciones de bombeo y mezcla. Los eductores de chorro se componen de una tobera divergente convergente, un cuerpo y un difusor.

En la industria del petróleo la aplicación más común es el mecanismo de extracción artificial denominado bombas tipo "Jet". Éstas operan bajo la acción de un fluido a alta presión y el efecto Venturi que este provoca al pasar a través de un orificio. El fluido motriz a alta presión y baja velocidad es convertido a un fluido de baja presión y alta velocidad al pasar por un orificio. La presión a la entrada de la garganta disminuye, logrando que el fluido proveniente del reservorio ingrese a la succión de la bomba (cámara de mezcla) debido a la mayor presión del mismo. Luego de efectuarse la mezcla en la cámara, comienza la acción de bombeo de la mezcla entre el fluido del reservorio y el fluido motriz. Cuando la mezcla entra en la zona del difusor, se produce una disminución en la velocidad y un aumento en la presión de descarga lo suficientemente alta como para llegar a superficie.

Una aplicación de eductor similar a la efectuada en el presente trabajo, fue propuesta por PM Carvalho (1). Se uso una bomba Jet, en la descarga de la bomba electrosumergible para captar el gas producido por el separador de gas instalado en la bomba electrosumergible. Esta aplicación tuvo por objetivo el recolectar el gas del espacio anular en pozos de alta relación gas petróleo con el objetivo de que el conjunto electrosumergible pueda producir de manera eficiente. La figura 1, contiene un diagrama esquemático de éste sistema, que fue aplicado a un pozo productor de petróleo ubicado en un sector marítimo de aguas profundas. Se observa que la bomba jet fue instalada en una línea de producción debajo del cabezal del pozo.

(1) P.M. Carvalho, A.L. Podio/ Modeling a Jet Pump with an Electrical Submersible pump for Production of Gassy (Paper SPE 48934)

Figura 1

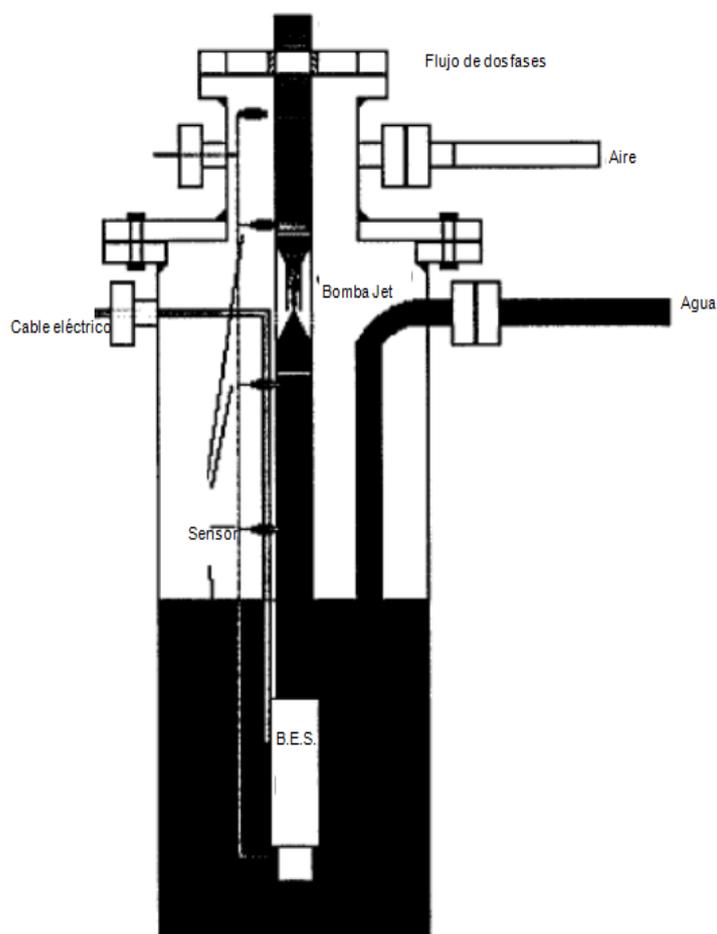


Esquema de aplicación de un sistema BES – bomba Jet aplicado en pozos de aguas profundas. Fuente: Paper SPE 48934

El primer prototipo de éste modelo se efectuó en la Universidad de Austin, Texas. En este proyecto se instaló una bomba electrosumergible de la compañía “REDA” y la bomba jet fue de la compañía “Trico Industries”, a esta última se le efectuaron modificaciones para permitir que el fluido motriz proporcionado por la bomba electrosumergible ingrese desde la parte inferior de la bomba jet. Los demás accesorios, boquillas, gargantas y difusor fueron los mismos que se utilizan para la aplicación liquido-liquido.

La figura 2, muestra el detalle del sistema de completación BES- bomba jet usado. Esta completación se efectuó instalando el equipo BES a 512 pies y la bomba Jet a 129 pies de superficie. La siguiente etapa fue la aplicación de un modelo matemático en el simulador, finalmente dependiendo de los resultados se desarrollaría un modelo 2D para la bomba Jet.

Figura 2



Esquema del sistema BES – JET PUMP aplicado en la Universidad de Texas ad Austin.

Fuente: Paper SPE 48934

En la aplicación, motivo del presente trabajo, el esquema es muy similar a lo planteado en la publicación SPE 48934, es decir el eductor consta básicamente de una boquilla, garganta y difusor insertados dentro de una estructura robusta. En condiciones normales, el fluido multifásico ingresa a la boquilla a una determinada presión; al pasar por ésta y la garganta, genera el efecto Venturi provocando el ingreso del gas de forros, estos dos fluidos se mezclan en la región de la garganta y es desacelerado en la región del difusor. En términos prácticos lo que se busca es generar un vacío en la línea de gas de forros, de modo tal que la presión en forros sea menor a la presión de tubos.

Sin embargo, debido a que la información existente en dicho documento solo consta de un proyecto piloto y la información alcanzada era parcial, se tuvo que efectuar cálculos, modelamientos, diseños y aplicaciones propias.

## **2.2.- BASES TEORICAS**

Un educor trabaja principalmente debido a la transferencia del momento entre dos líneas de flujo adyacentes. El fluido a alta presión pasa a través de una boquilla tiene una energía potencial que es convertida a energía cinética en un jet de fluido a alta velocidad a través de una boquilla y esta energía potencial (energía de presión) es convertida en energía cinética en un chorro de fluido a alta velocidad.

El efecto Venturi consiste en que un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado disminuye su presión al aumentar la velocidad después de pasar por una zona de sección menor. Si en éste punto del conducto se introduce el extremo de otro conducto, se produce una aspiración del fluido contenido en éste segundo conducto. Este efecto, fue demostrado en el año 1797, recibe su nombre del físico italiano Giovanni Batista Venturi (1746-1822).

El efecto Venturi se explica por el Principio de Bernoulli y el principio de continuidad de masa. Si el caudal de un fluido es constante pero la sección disminuye, necesariamente la velocidad aumenta tras atravesar esta sección. Por el teorema de la conservación de la energía mecánica, si la energía cinética aumenta, la energía determinada por el valor de la presión disminuye forzosamente.

Según Noronha (2), el modelo matemático está basado en las ecuaciones de conservación de la energía, momento y masa. En la zona de la boquilla: el fluido motriz se acelera y la energía de presión se convierte en energía cinética." (sección i a la n, Figura 3).

(2) F.A.F. Noronha/ Improved Two-Phase Model for Hydraulic Jet Pumps (Paper SPE Journal, September 1998)

$$P_1 + \rho_1 \frac{V_i^2}{2} = P_s + \rho_1 \frac{V_n^2}{2} + K_n \rho_1 \frac{V_n^2}{2}$$

Reordenando obtenemos:

$$P_1 - P_s = E_k (1 + K_n)$$

En la zona de succión: Entre la cámara de succión y la entrada a la garganta (sección s a la e, Figura 3)

$$(P_1 - P_s)(1 - F_{vs}) + E_k \frac{\gamma_s \phi_s^2 R^2 (1 + K_s)}{(1 + R)^2} + F_{vs} P_s \ln \frac{P_s}{P_g} = 0$$

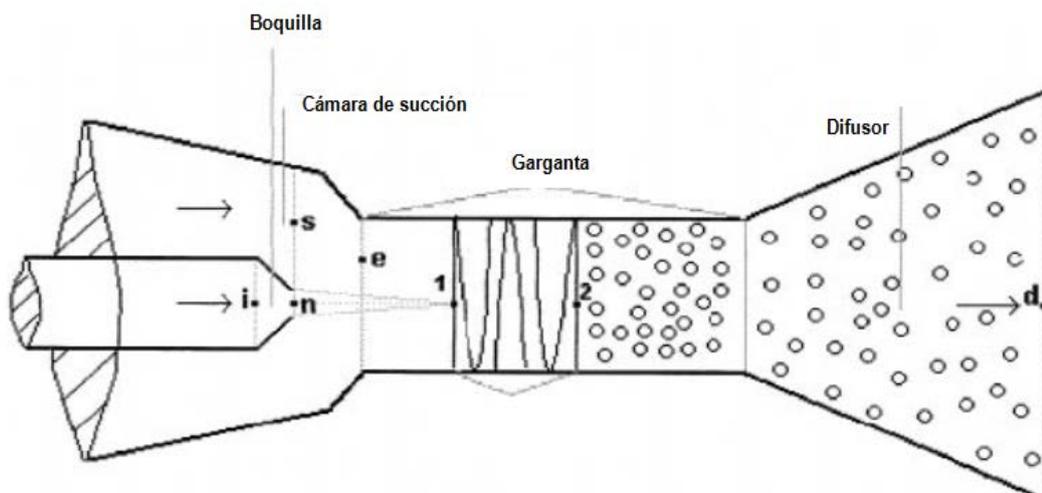
En la zona de la garganta: En esta zona se genera la mezcla del fluido motriz y el succionado. Se considera la siguiente ecuación:

$$(P_2 - P_s) - 2E_k \left[ R + \frac{\gamma_s \phi_s R^2}{(1 - R)} \right] - (1 + \gamma_s \phi_s)(1 + \phi_2) = 0$$

En la zona del difusor: La energía cinética de la mezcla se convierte a presión. Se considera la siguiente ecuación:

$$(P_d - P_2)[1 + (1 - F_{vs})\phi_s] - E_k(1 - K_{td}) \left[ (1 + \gamma_s \phi_s)R^2 + F_{vs} \phi_s P_s \ln \frac{P_d}{P_s} \right] = 0$$

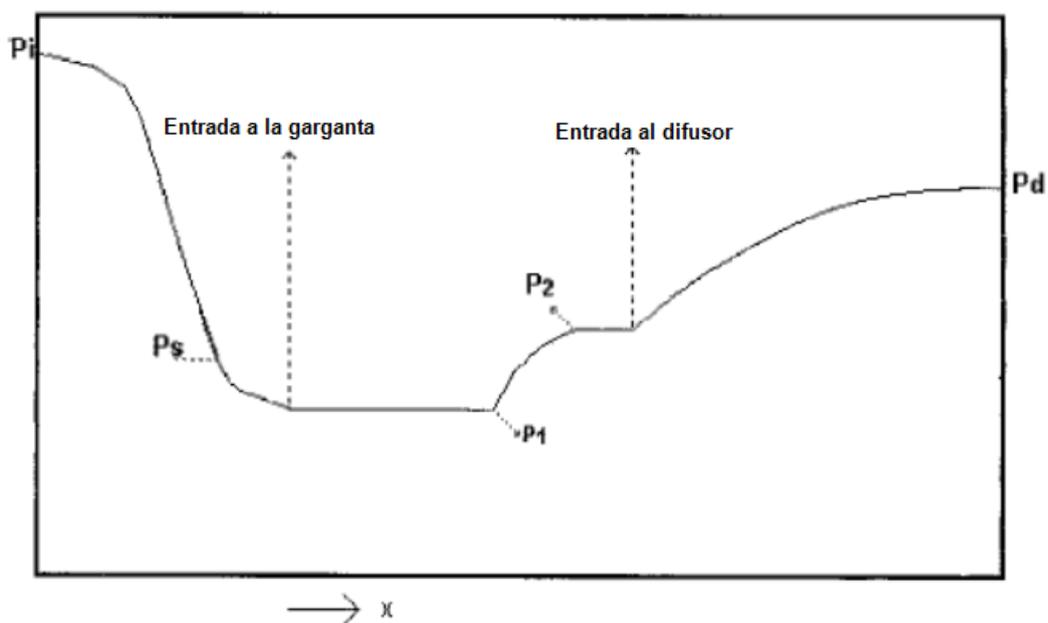
Figura 3



Características del flujo a través del sistema Eductor. Fuente:

SPE Journal, September 1998

Figura 4



Distribución de la presión a través del sistema educador. Fuente: SPE Journal, Set. 1998.

La figura 5 muestra un diagrama de las principales nomenclaturas del diseño aplicado a las bombas a chorro (jet):

$P_n$ : Presión en el orificio.

$P_{ps}$ : Presión de succión de bomba.

$P_{pb}$ : Presión de descarga de bomba.

$Q_n$ : Caudal de inyección.

$Q_s$ : Caudal de succión.

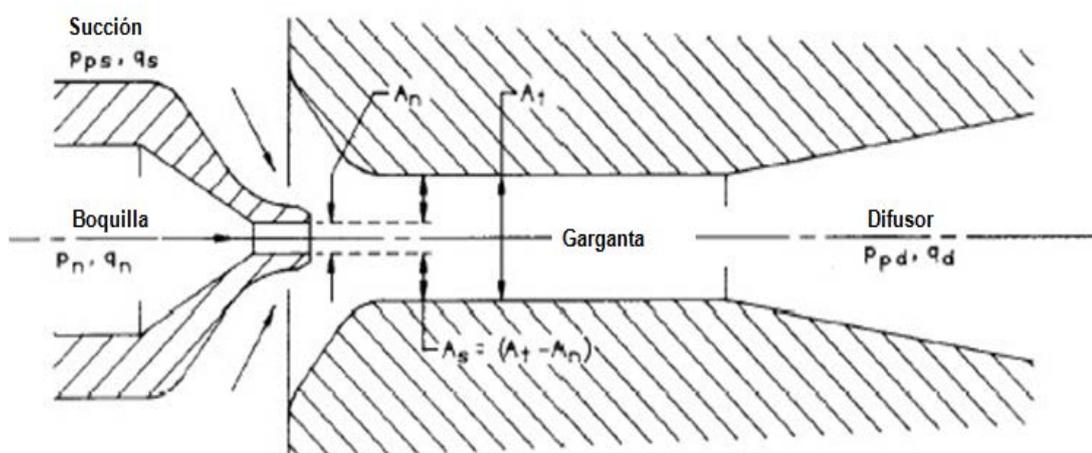
$Q_b$ : Caudal de descarga.

$A_n$ : Área del orificio.

$A_t$ : Área de la garganta.

$A_s$ : Área de succión ( $A_t - A_n$ )

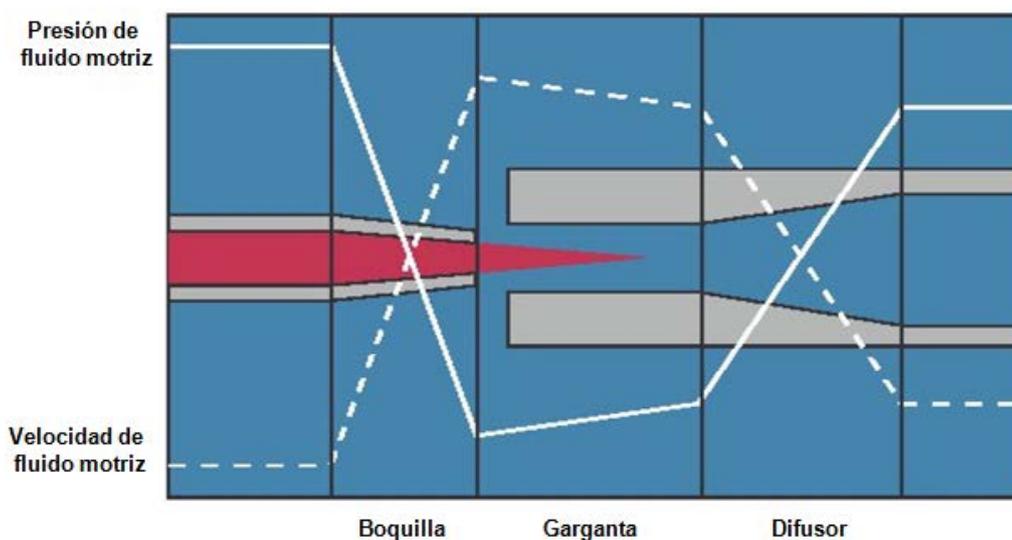
Figura 5



Esquema y partes de un eductor. Fuente: disponible en URL:

[http://www.oilproduction.net/cms/index.php?option=com\\_content&view=article&id=165:conceptos-teoricos-jet-pump&catid=71:pump&Itemid=100](http://www.oilproduction.net/cms/index.php?option=com_content&view=article&id=165:conceptos-teoricos-jet-pump&catid=71:pump&Itemid=100)

Figura 6



Perfil de distribución de la presión y velocidad del fluido a través del sistema eductor.

Fuente: disponible en URL:

[http://www.oilproduction.net/cms/index.php?option=com\\_content&view=article&id=165:conceptos-teoricos-jet-pump&catid=71:pump&Itemid=100](http://www.oilproduction.net/cms/index.php?option=com_content&view=article&id=165:conceptos-teoricos-jet-pump&catid=71:pump&Itemid=100)

En esta aplicación, el fluido multifásico proveniente del pozo se mezcla con el gas del anular del pozo en la garganta, a medida que este fluido sale de la garganta aun conserva alta velocidad y de esta manera mantiene suficiente energía cinética, estos fluidos son suavemente expandidos en el área del

difusor el cual convierte el remanente de energía cinética a energía potencial.

Se puede generar gran variedad de combinaciones que incluyen el tamaño de la boquilla, garganta, la relación de sus áreas de flujo así como también la forma ángulo, longitud, espaciamiento, acabados, material de sus componentes, etc.

Teniendo en consideración que sus componentes han sido optimizados, entonces las áreas de flujo y sus relaciones son los parámetros importantes para su aplicación. A través de la selección adecuada del área de flujo se puede optimizar la capacidad de succión del educor.

El tamaño de la boquilla y garganta determinan el caudal, mientras que su relación de las áreas de flujo determina la compensación entre la “cabeza producida” y el caudal. Por ejemplo, si una garganta es seleccionada de modo tal que el área de la boquilla es el 60% del área de la garganta esto generara alta cabeza y bajo caudal.

### **2.3.- MARCO CONCEPTUAL**

**Levantamiento Artificial.** Cuando la energía natural del yacimiento se ha agotado es necesario implantar una fuente externa con el objetivo de levantar el fluido desde el fondo del pozo hasta el separador. Existen diversos métodos de levantamiento artificial, entre los más comunes tenemos: bombeo electrosumergible, bombeo mecánico, bombeo de cavidad progresiva, bombeo Hidráulico tipo jet, etc.

**Sistema de Bombeo Electrosumergible:** Es un sistema de levantamiento artificial, considerado económico y efectivo para producir altos volúmenes de fluido desde grandes profundidades y en una variedad de condiciones de pozo. Es más aplicable en yacimientos con altos volúmenes de fluido, porcentajes de agua altos y baja relación gas - petróleo; sin embargo, en la actualidad estos equipos han obtenido excelentes resultados en la producción de fluidos de alta viscosidad, en pozos gasíferos, en pozos con fluidos abrasivos, en pozos de altas temperaturas y de diámetro reducido, etc.

**Efecto Venturi:** (también conocido tubo de Venturi) consiste en que un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado disminuye su presión al

aumentar la velocidad después de pasar por una zona de sección menor. Si en este punto del conducto se introduce el extremo de otro conducto, se produce una aspiración del fluido que va a pasar al segundo conducto. Este efecto, demostrado en 1797, recibe su nombre del físico italiano Giovanni Batista Venturi (1746-1822). El efecto Venturi se explica por el Principio de Bernoulli y el principio de continuidad de masa.

**Prototipo:** Es un modelo a escala de lo real, pero no tan funcional como para que equivalga a un producto final, ya que no lleva a cabo la totalidad de las funciones necesarias del sistema final, proporcionando una retroalimentación temprana por parte de los usuarios acerca del sistema. El prototipo se usa para obtener los requerimientos del usuario. Su principal propósito es obtener y validar los requerimientos esenciales, manteniendo abiertas las opciones de implementación.

**Bomba Jet:** Las bombas del tipo "Jet" operan bajo la acción de un fluido a alta presión y el efecto Venturi que este provoca al pasar a través de un orificio. El fluido motriz a alta presión y baja velocidad es convertido a un fluido de baja presión y alta velocidad al pasar por un orificio. La presión a la entrada de la garganta disminuye logrando que el fluido proveniente del reservorio ingrese a la succión de la bomba (cámara de mezcla) debido a la mayor presión del mismo. Luego de efectuarse la mezcla en la cámara, comienza la acción de bombeo de la mezcla entre el fluido del reservorio y el fluido motriz. Cuando la mezcla entra en la zona del difusor se produce una disminución en la velocidad y un aumento en la presión de descarga, lo suficientemente alta como para llegar a superficie.

**Flujo multifásico:** Es definido como el flujo simultáneo de numerosas fases, siendo el flujo bifásico el caso más simple. Las variables más importantes manejadas son: flujo volumétrico de gas y líquido, propiedades físicas de las fases, diámetro e inclinación de la tubería, presión de operación, colgamiento, caída de presión y régimen de flujo. Este último ha sido la variable más importante de estudio, debido a que ésta afecta directamente los valores de colgamiento y caída de presión.

**Gas de forros:** Es el gas proveniente de la zona anular del pozo, es decir la masa de gas existente entre el diámetro interno de la sarta de revestimiento y producción.

**Venteo de gases:** Es la acción realizada en una instalación de hidrocarburos mediante la cual se deja fluir libremente a la atmosfera el gas natural en volúmenes mayores a 0.11 pies cúbicos por segundo.

**D.S. N 032-2004-EM:** Reglamenta las Actividades de Exploración y Explotación de Hidrocarburos, el mismo que contiene siete (7) Títulos, dieciséis (16) Capítulos, trescientos trece (313) artículos, cuatro (4) Disposiciones Complementarias, cuatro (4) Disposiciones Transitorias y un (1) Anexo, el cual forma parte integrante del presente Decreto Supremo.

**D.S. N 048-2009-EM:** Reglamenta las actividades de venteo del gas natural, las acciones de mitigación y las sanciones que resulten aplicables por el no cumplimiento.

**PROSPER:** Es un programa de diseño y optimización de pozos de petróleo y el gas. Ayuda al ingeniero de producción o reservorios a predecir de dinámica de fluidos en el sistema desde el reservorio hasta el separador con una alta precisión y velocidad.

**CHEMCAD:** Es un programa diseñado para simular balance de materia y energía en las plantas de procesos.

### **CAPITULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO.**

El proyecto para la recolección gas de forros a través de la aplicación del principio Venturi, requiere de varias etapas de desarrollo, incluyendo análisis previos, modelamientos matemáticos, selección de los pozos candidatos, dimensionamiento de los equipos, generación de planos y órdenes de compra para la adquisición del prototipo así como la instalación del equipo y las pruebas de campo.

El presente proyecto consistió en instalar un equipo eductor en la línea de descarga de producción del pozo, el cual con el caudal y la presión en cabeza del pozo entregado por el equipo de bombeo electrosumergible instalado, producirá el efecto Venturi para recolectar el gas de forros y transportarlo a través de la misma línea de producción hacia la planta.

En esta aplicación el fluido multifásico proveniente del pozo se mezcla con el gas del anular del pozo en la garganta, a medida que este fluido sale de la garganta aun conserva alta velocidad y de esta manera mantiene suficiente energía cinética, estos fluidos son suavemente expandidos en el área del difusor que convierte el remanente de energía cinética a energía potencial.

En términos prácticos, lo que se busca es generar un vacío en la línea de gas de forros, de modo tal que la presión en forros sea menor a la presión de tubos.

#### **3.1.- Dimensionamiento del Equipo Eductor.**

Debido a que el principio Venturi había sido muy poco aplicado en la industria del petróleo sobre todo utilizando un fluido motriz “multifásico”, encontrándose muy poca literatura al respecto, siendo también estos solo proyectos pilotos. Por lo tanto, se evaluó que para este tipo de aplicaciones, el principio Venturi matemáticamente era factible, pero el efecto de trabajar las ecuaciones de flujo que están desarrolladas para un fluido motriz monofásico, y reemplazar las variables para un flujo multifásico generaba serias interrogantes a la efectividad del sistema. Esto motivó a realizar una serie de modelos matemáticos, para lo cual se utilizaron diversos programas tales como el PROSPER; GAP y el CHEMCAD.

También, se consideraron las características del reservorio, propiedades de los fluidos, esquema de completación del pozo, etc. A continuación se mencionan los siguientes criterios:

- Propiedades físicas del fluido.
- Caudal de crudo, agua y gas.
- Características del agua de producción tales como: salinidad, índice de incrustamiento, índice de corrosión, etc., características del crudo tales como parafínicos, asfálténicos, etc.
- Dimensionamiento del sistema BES.
- Curva característica de bomba instalada en pozo.
- Frecuencia de trabajo actual del pozo.
- Potencia máxima disponible del equipo de fondo y superficie.
- Presión y temperatura de cabeza de pozo.
- Presión máxima requerida o aceptable en forros.
- Contrapresión máxima aceptable en pozo luego de instalar el eductor en superficie, accionado por el fluido de producción.

### **3.2.- Información para el proyecto piloto (Pozo SHIV 1603).**

Con el objetivo de efectuar el diseño del equipo eductor se considero lo siguiente:

**Data PVT del pozo:** En el cuadro 1, se observa las principales propiedades de roca, fluido de las dos principales arenas productivas del Yacimiento Shiviyaçu (Chonta y Vivian).

Cuadro 1

<b>DATA: YACIMIENTO SHIVIYACU</b>		
<b>DATA DE CAMPO</b>	<b>VIVIAN</b>	<b>CHONTA</b>
Profundidad (pie)	9200	10000
Temperatura(F)	247	256
Presion Inicial (psi)	4018	4281
Presion actual (psi)	3500	3830
Mecanismo implusion	water drive	water drive
<b>PROPIEDADES PETROFISICAS</b>		
Permeabilidad avg (md)	1000-2000	80-400
Porosidad avg (%)	17	16.5
Saturacion de agua (%)	29.1	33.4
Compresibilidad de la roca (10 <sup>-6</sup> psi <sup>-1</sup> )	3.98	3.95
<b>PROPIEDADES DEL FLUIDO</b>		
<b>PETROLEO</b>		
API	20.2	34.9
Boi (BlS/STB)	1,063	1,367
Viscosidad inicial (cp)	7,152	0.519
GORi (SCF/STB)	40	545
Presion burbuja (psi)	438	2471
<b>AGUA</b>		
Salinidad (ppm Cl <sup>-</sup> )	35000	120000
Compresibilidadx10 <sup>-6</sup> (psi <sup>-1</sup> )	3.37	2.77
<b>GAS</b>		
Gravedad especifica (aire=1)	0.771	0.875

Información de las propiedades roca-fluido del Yacimiento Shivyacu.

**Composición molar del gas:** Esta información se obtuvo a partir de la cromatografía del gas de la zona y efectuando cálculos de balance de materia en el programa Chemcad.

CUADRO 2

COMPONENTE	% molar
Water	26.7
Methane	33.5
Ethane	7.0
Propane	4.7
I-Butane	2.3
N-Butane	1.9
I-Pentane	1.4
N-Pentane	0.9
N-Hexane	0.9
N-Heptane	1.9
N-Octane	2.8
N-Nonane	2.8
N-Decane	3.7
N-Dodecane	4.7
NBP4C	4.7

Composición molar del gas de forros.

Cuadro 3

TEST - SHIVIYACU 1603D																	
TEST DATE	BFPD	BOPD	WC %	BWPD	TP	CP	WHT	GOR	HZ	FL (MD)	BRPD	TDH	PI	RUN N°	PUMP STG - TYPE	MOTORS HP	PWF
24-dic-06	7817	625	92.0	7192	150	40	234	253	60.0	4356	7911	4750	4.41	1	SN8500 x 146	2x450D	1865
07-dic-06	7770	622	92.0	7148	145	40	235	286	60.0	4294	7863	4678	4.42	1	SN8500 x 146	2x450D	1882
13-nov-06	7786	623	92.0	7163	135	30	235	279	60.0	3385	7879	3842	5.12	1	SN8500 x 146	2x450D	2120
24-oct-06	7773	622	92.0	7151	140	15	235	330	60.0	3529	7866	3981	4.94	1	SN8500 x 146	2x450D	2066
03-oct-06	8269	827	90.0	7442	135	30	235	284	60.0	3698	8393	4168	5.14	1	SN8500 x 146	2x450D	2032
03-sep-06	8359	836	90.0	7523	145	20	185	292	60.0	3792	8484	4284	5.09	1	SN8500 x 146	2x450D	1996
16-ago-06	8328	941	88.7	7387	150	39	235	307	60.0	4513	8469	4943	4.57	1	SN8500 x 146	2x450D	1817
01-ago-06	8256	933	88.7	7323	160	35	230	298	60.0	4388	8396	4849	4.60	1	SN8500 x 146	2x450D	1847
23-jul-06	8226	930	88.7	7296	140	35	232	270	60.0	4168	8365	4601	4.75	1	SN8500 x 146	2x450D	1907
15-jul-06	8394	965	88.5	7429	165	39	230	263	60.0	4325	8539	4818	4.74	1	SN8500 x 146	2x450D	1868
15-jun-06	8280	977	88.2	7303	148	38	230	254	60.0	3884	8427	4372	5.01	1	SN8500 x 146	2x450D	1987
11-jun-06	8297	987	88.1	7310	145	38	230	246	60.0	3944	8445	4421	4.97	1	SN8500 x 146	2x450D	1970
05-jun-06	8253	990	88.0	7263	140	40	230	204	60.0	4035	8402	4487	4.88	1	SN8500 x 146	2x450D	1947
30-may-06	8686	955	89.0	7731	130	40	230	210	60.0	4096	8829	4551	5.09	1	SN8500 x 146	2x450D	1932
09-may-06	9160	962	89.5	8198	150	24	225	269	60.0	3186	9304	3829	6.03	1	SN8500 x 146	2x450D	2122
06-may-06	8603	886	89.7	7717	150	20	225	295	60.0	3216	8736	3804	5.62	1	SN8500 x 146	2x450D	2110
01-may-06	9082	817	91.0	8265	148	20	225	318	60.0	3291	9205	3906	5.87	1	SN8500 x 146	2x450D	2092
30-abr-06	9053	815	91.0	8238	135	40	225	323	60.0	3855	9175	4375	5.40	1	SN8500 x 146	2x450D	1963
27-abr-06	9148	823	91.0	8325	148	22	225	306	60.0	3259	9271	3883	5.95	1	SN8500 x 146	2x450D	2103
13-abr-06	9449	661	93.0	8788	145	42	210	318	60.0	2727	9548	3417	6.89	1	SN8500 x 146	2x450D	2268
12-abr-06	9408	659	93.0	8749	170	40	220	329	60.0	2445	9507	3221	6.88	1	SN8500 x 146	2x450D	2272
01-abr-06	9438	661	93.0	8777	145	40	210	333	60.0	2507	9537	3220	6.82	1	SN8500 x 146	2x450D	2256

Historial de producción del pozo.

Diagrama de Completación del pozo SHIV 1603:

Figura 7

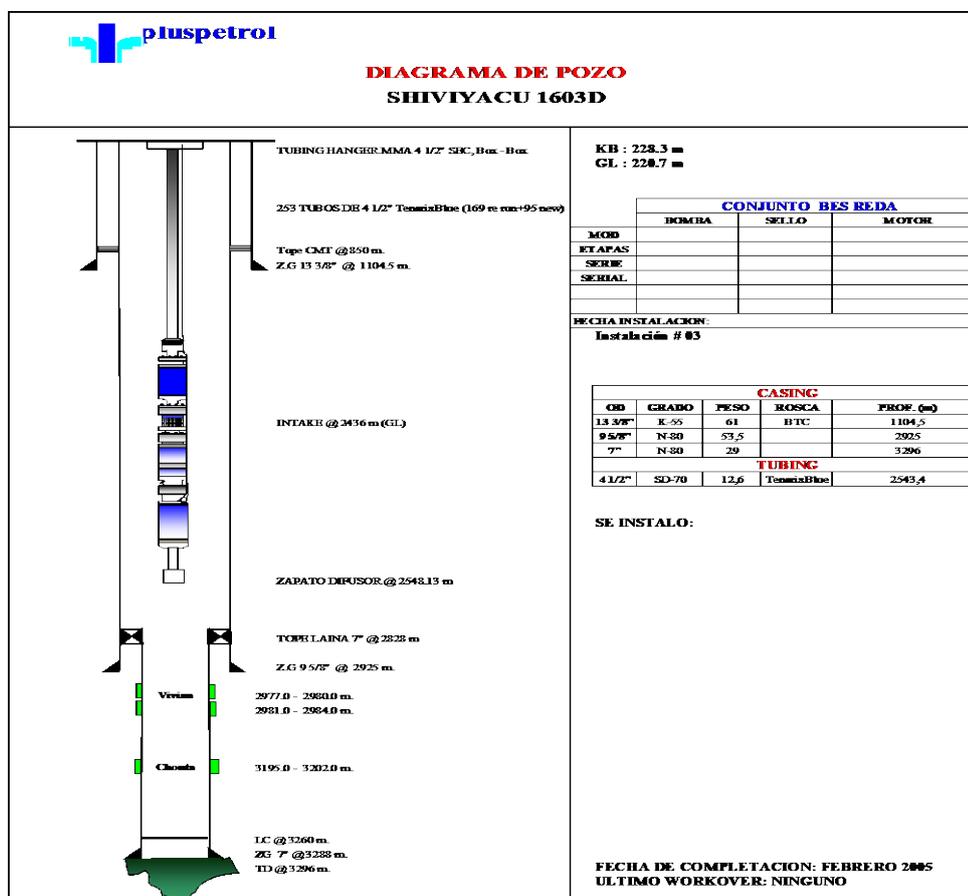


Diagrama de completación del pozo.

### 3.3.- Modelamiento matemático del eductor

En el mes de Junio del año 2006, se realizó la ingeniería básica, diseño del eductor, selección del pozo a aplicarse el proyecto, etc. Para lo cual se aplicaron diversos programas tales como el CHEMCAD, PROSPER, AUTOCAD, etc.

Los siguientes programas tuvieron por objetivo principal:

- CHEMCAD: Diseñar la geometría del eductor.
- PROSPER: Realizar análisis de performance del pozo-sistema.
- AUTOCAD: Grafica a escala del eductor.

#### 3.3.1 Aplicación del programa Chemcad.

Es utilizado principalmente para estudiar y calcular cargas de calores, requerimientos de energía, equilibrios químicos y de fases, el comportamiento de equipos complejos como torres multi-etapas, balances de masa, dimensionamiento de equipos, entre otros cálculos.

En este caso, el programa fue utilizado para simular el efecto de las mezclas de los componentes que actúan en el eductor. Posteriormente esta información es utilizada en las formulas básicas usadas para el diseño de un eductor.

En la figura 8 se observa el diagrama de flujo aplicado en el CHEMCAD.

Figura 8

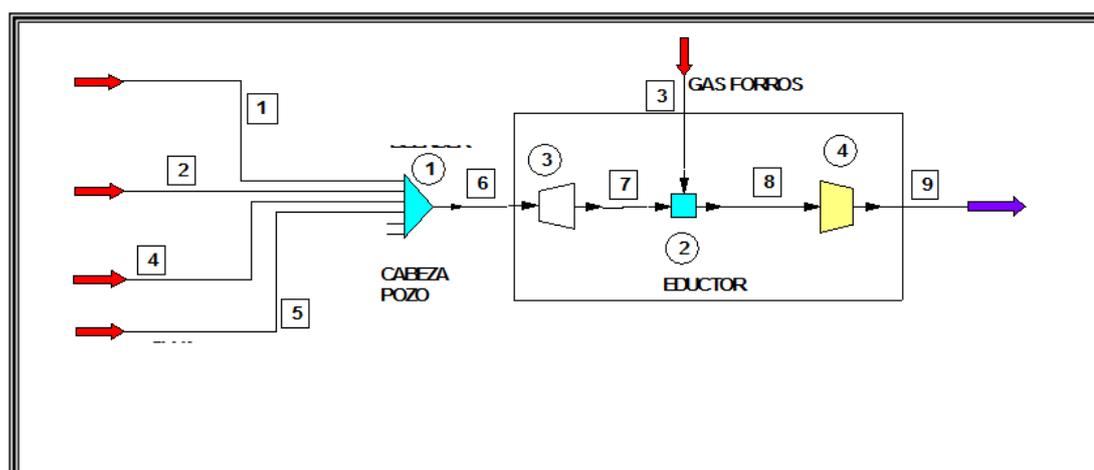


Diagrama de sistema multicomponente en el CHEMCAD.

Los resultados proporcionados por el CHEMCAD son mostrados en el cuadro 4.

Cuadro 4

Stream No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Name	LIVIANO	PESADO	GAS FORROS	AGUA	CL-	FLUJO EN EL POZO	FLUJO EXPANDIDO	FLUJO AL FINAL DE LA MEZCLA	FLUJO A LA DESCARGA DIFUSOR
-- Overall --									
Molar flow lbmol/h	12.1	3.3	11.6	5856.6	108.3	5980.4	5980.4	5992.0	5992.0
Mass flow lb/h	2183.0	1341.9	673.0	105507.5	6330.0	115362.4	115362.4	116035.4	116035.4
Temp F	210.0	210.0	210.0	210.0	210.0	209.9	207.6	207.6	208.1
Pres psia	315.0	315.0	65.0	315.0	315.0	316.0	63.2	185.0	230.0
Vapor mole fraction	0.000	0.000	0.759	0.000	0.000	0.003	0.003	0.005	0.005
Enth MMBtu/h	-0.2	-0.1	-0.6	-706.1	-29.3	-735.7	-735.7	-736.3	-736.2
Tc F	873.9	1159.4	416.3	705.6	5660.3	1059.6	1059.6	1054.9	1054.9
Pc psia	809.9	214.8	1814.7	3208.0	5148.6	8346.0	8346.0	8267.3	8267.3
Std. sp gr. wtr = 1	0.855	0.920	0.570	1.001	2.165	1.027	1.027	1.022	1.022
Std. sp gr. air = 1	6.207	14.034	2.002	0.622	2.018	0.666	0.666	0.669	0.669
Degree API	34.0	22.4	116.9	9.9	-66.1	6.3	6.3	7.0	7.0
Average mol wt	179.8	406.5	58.0	18.0	58.4	19.3	19.3	19.4	19.4
Actual dens lb/ft3	49.3	53.8	0.7	57.4	131.5	58.1	45.4	52.4	54.1
Actual vol ft3/hr	44.3	24.9	962.1	1838.5	48.2	1986.6	2540.9	2212.6	2143.2
Std liq ft3/hr	40.9	23.4	18.9	1690.3	46.9	1801.6	1801.6	1820.5	1820.5
Std vap 60F scfh	4608.3	1252.8	4404.0	2222473.3	41101.6	2269436.5	2269436.5	2273839.8	2273839.8
-- Vapor only --									
Molar flow lbmol/h			8.8			16.2	19.6	29.2	28.8
Mass flow lb/h			307.6			3538.0	3600.3	4236.0	4228.6
Average mol wt			34.9			218.7	183.4	145.2	147.0
Actual dens lb/ft3			0.3			32.1	5.4	12.5	15.7
Actual vol ft3/hr			953.2			110.4	667.3	338.7	268.7
Std liq ft3/hr			10.8			64.5	65.5	83.9	83.8
Std vap 60F scfh			3340.5			6138.5	7449.2	11070.3	10912.5
Cp Btu/lbmol-F			18.1			112.7	76.4	59.8	60.6
Z factor			0.980			0.300	0.300	0.300	0.300
Visc cP			0.011			0.046	0.009	0.014	0.018
Th cond Btu/hr-ft-F			0.019			0.017	0.007	0.011	0.012
-- Liquid only --									
Molar flow lbmol/h	12.1	3.3	2.8	5856.6	108.3	5964.2	5960.8	5962.8	5963.3
Mass flow lb/h	2183.0	1341.9	365.3	105507.5	6330.0	111824.4	111762.1	111799.3	111806.8
Average mol wt	179.8	406.5	130.4	18.0	58.4	18.7	18.7	18.7	18.7
Actual dens lb/ft3	49.3	53.8	40.9	57.4	131.5	59.6	59.6	59.7	59.6
Actual vol ft3/hr	44.3	24.9	8.9	1838.5	48.2	1876.3	1873.6	1873.9	1874.4
Std liq ft3/hr	40.9	23.4	8.1	1690.3	46.9	1737.0	1736.0	1736.6	1736.7
Std vap 60F scfh	4608	1253	1063	2222473	41102	2263297	2261987	2262770	2262928
Cp Btu/lbmol-F	93.4	203.5	78.7	18.2	736.3	31.3		467.0	839.2
Z factor	0.160	0.331	0.029	0.014	0.020	0.014	0.003	0.008	0.010
Visc cP	0.802	8.275	0.313	0.286	88.850	0.317	0.320	0.321	0.320
Th cond Btu/hr-ft-F	0.067	0.068	0.064	0.390	0.494	0.393	0.392	0.392	0.392
Surf tens dyne/cm	21.320	28.932	14.524	58.822	169.249	60.743	60.985	60.992	60.938

Información de Balance de masa simulado por el CHEMCAD.

Los principales datos de este cuadro son utilizados en un programa Excel para obtener el dimensionamiento del equipo eductor (cuadro 5.1, 5.2, 5.3).

Cuadro 5.1

CALCULO DE LA PRESION AL FINAL DE LA MEZCLA EN LA GARGANTA																					
RELACION FLUJO MASICO INDUCIDO A MOTIVADOR	RELACION SECCION DE TOBERA A SECCION DE GARGANTA	DENSIDAD DE FLUIDO MOTIVADOR AL INGRESO	DENSIDAD DE FLUIDO INDUCIDO AL INGRESO	VOLUMEN ESPECIFICO DE LA MEZCLA AL FINAL DE LA GARGANTA	FRACCION MOLAR DEL VAPOR AL FINAL DE LA MEZCLA	FRACCION MOLAR DEL LIQUIDO AL FINAL DE LA MEZCLA	FACTOR DE COMPRESIBILIDAD DEL VAPOR FINAL DE LA MEZCLA	FACTOR DE COMPRESIBILIDAD DEL LIQUIDO AL FINAL DE LA MEZCLA	FACTOR DE COMPRESIBILIDAD DE LA MEZCLA	COSNATANTE REAL DEL VAPOR	TEMPERATURA DE LA MEZCLA	PESO MOLECULAR DE LA MEZCLA	PRESION AL FINAL DE LA MEZCLA	VISCOSIDAD DEL VAPOR (INICIO/FINAL)	VISCOSIDAD DEL LIQUIDO (INICIO/FINAL)	FRACCION EN MASA DEL VAPOR (INICIO/FINAL)	FRACCION EN MASA DEL LIQUIDO (INICIO/FINAL)	VISCOSIDAD DINAMICA DE LA MEZCLA (INICIO/FINAL)	DENSIDAD DE LA MEZCLA (INICIO/FINAL)	VISCOSIDAD CINEMATICA DE LA MEZCLA (INICIO/FINAL)	
M	r	r1	r2	vm	fmv	fml	Zv	Zl	Zm	R	Tm	Mm	Pm	visc vapor	visc liq	fv	fl	visc mez	Den mezcla	vis cinematica mez	
		Kg/m3	Kg/m3	m3/Kg						psi*m3/(Kg-mol*°K)	°K	Kg-mol	psia	cP	cP			cP	Kg/m3	m <sup>2</sup> /s	
0.0058	0.0400	996	3.8	0.024876	0.0049	0.9951	0.9593	0.3000	0.3032	1.2053	371	19	281	0.0115	0.8863	0.0225	0.9775	0.8666	129.8794	0.0000067	inicial
	0.8066													0.0120	0.8781	0.0210	0.9790	0.8599	392.1270	0.0000022	final
PERDIDA EN GARGANTA																					
DIAMETRO DE TOBERA	DIAMETRO DE GARGANTA	ANGULO MITAD DE CONICIDAD		DIAMETRO AL EXTREMO DE DIFUSOR	CAUDAL MAXIMO			Fracción de descarga	Longitud	Diámetro	Sección del tubo	Velocidad	Viscosidad cinemática	REYNOLDS	FACTOR DE FRICCION	Peso específico del fluido	PERDIDA EN LA GARGANTA	Total de factores de carga	PERDIDA		
dj	dt	f/2	f2	d2	GPM	BPD	m <sup>3</sup> /s		m	m	m <sup>2</sup>	m/s	m <sup>2</sup> /s				m		METRO	PIES	PSIG
14.15	19.81	3.00	0.05	100.00	227	7,782	0.0143	1.00	0.19814	0.020	0.000308	46.37	4.43E-06	2.0730E+05	0.017349	0.5220064	16.02	0.00	25.95	85.1	19.23

Balance del sistema.

Cuadro 5.2

CALCULO DE LA PRESION AL FINAL DEL DIFUSOR																						
CAUDAL MOTIVADOR			CAUDAL INDUCIDO				RELACION DE FLUJO INDUCIDO AL INICIO DE MEZCLADOR	RELACION DE FLUJO INDUCIDO A FLUJO INYECTADO AL EXTREMO DE MEZCLADOR	RELACION DE FLUJO INDUCIDO AL EXTREMO DE DIFUSOR	PESO MOLECULAR DEL VAPOR EN LA GARGANTA	PESO MOLECULAR DEL VAPOR AL EXTREMO DE DIFUSOR	ESTIMADO DE LA PRESION AL EXTREMO DE LA GARGANTA (LA MEZCLA)	PRESION REQUERIDA A EXTREMO DE DIFUSOR	DENSIDAD DEL LUCIDO INYECTADO AL EXTREMO DE MEZCLADOR	DENSIDAD DEL LUCIDO INYECTADO AL EXTREMO DE DIFUSOR	MODULO DE COMPRESIBILIDAD DE LA FASE VAPOR AL EXTREMO DE GARGANTA	MODULO DE COMPRESIBILIDAD DE LA FASE VAPOR AL EXTREMO DE DIFUSOR	CONSTANTE UNIVERSAL DE LOS GASES	TEMPERATURA AL EXTREMO DE MEZCLADOR	TEMPERATURA AL EXTREMO DE DIFUSOR	DENSIDAD AL EXTREMO DE MEZCLADOR	DENSIDAD AL EXTREMO DE DIFUSOR
Qw	Qw	Qw				M	M1	M2	M1	M2	P1	P2	Γw1	Γw2	Z1	Z2	R	T1	T2	Γm1	Γm2	
gpm	bpd	m <sup>3</sup> /s	MMSCFD	MMSCFD	m <sup>3</sup> /s				Kg-mol	Kg-mol	PSIA	PSIA	KG/M3	KG/M3			PSIA*M3/(Kg MOL*K)	*K	*K	KG/M3	KG/M3	
247.7	8492.1	0.0156	1.5002	0.0231	0.0076	0.3786	0.0037	0.0029	145.2075	147.0469	281.1169	215.0000	955.6839	955.4885	0.3000	0.3000	1.2053	300	300	954	954	

FRICCION EN DIFUSOR																							
DIAMETRO DE TOBERA		DIAMETRO DE GARGANTA		ANGULO MITAD DE CONICIDAD		DIAMETRO AL EXTREMO DE DIFUSOR	CAUDAL MAXIMO			Fracción de descarga	Longitud difusor	Diámetro medio interno	Sección del tubo	Velocidad	Viscosidad cinemática	REYNOLDS	FACTOR DE FRICCION	Peso específico del fluido	CONTRAPRESION	Total de factores de carga	PERDIDA MEDIA		
dj	dt	f/2	f/2	d2	GPM	BPD	m <sup>3</sup> /s		m	m	m <sup>2</sup>	m/s	m <sup>2</sup> /s					m		METRO	PIES	PSIG	
14.15	19.81	3.00	0.05	100.00	368	12,614	0.0232	1.00	0.76502	0.060	0.002819	8.22	3.82E-07	1.2888E+06	0.012902	0.78366486	0.00	11.00	30.16	98.9	33.55		

FACTOR DE FRICCION		FACTOR	COEFICIENTE DIFUSOR	CONVERSION	ACCESORIOS										RUGOSIDAD ABSOLUTA	DIAMETRO INTERNO	FACTOR DE FRICCION			
					Codo 90°	Codo 45°	Tee flujo directo	Tee flujo desviado	Filtro	Válvula de compuerta	Reducción Estrechamiento	Reducción Ensamblamiento	Válvula Check - Swft disc	Ingreso		puigada	puigada	0.000050	141.9042	7.049031
0.0107	0.1000	584.64	0.000145		k	k	k	k	k	k	k	k	k	k		0.00019685	2.359	0.020125	7.049031	8.881971
					0.39	0.21	0.26	0.77	1.29	0.10	2.21	5.17	0.65					0.012676	8.881971	8.800335
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0.012912	8.800335	8.803813
					Parcial	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					0.012902	8.803813	8.803864

Balace del sistema.

Cuadro 5.3

## CALCULO DE LA PRESION DE INYECCION

SECCION DE LA BOQUILLA INYECTORA	DIAMETRO DE BOCA DE INGRESO DE GAS	CAUDAL DE GAS A CONDICIONES DE INGRESO	VELOCIDAD DE INGRESO DE GAS	DENSIDAD DEL GAS A LAS CONDICIONES DE INGRESO	DIFERENCIAL DE PRESION PARA INGRESO DE GAS	PRESION DEL GAS AL INGRESO	PRESION AL INICIO DE GARGANTA DE MEZCLA	CAUDAL DE FLUIDO INYECTADO MOTIVADOR	VELOCIDAD DEL FLUIDO INYECTADO EN LA TOBERA	DENSIDAD DEL FLUIDO INYECTADO A LAS CONDICIONES DE INGRESO	DIFERENCIAL DE PRESION NECESARIA	PRESION ABSOLUTA DE FLUIDO INYECTADO				
m2	pulgada	m	m3/s	m/s	Kg/m3	psi	psia	psia	m3/s	BPD	GPM	m/s	Kg/m3	psi	psia	PSI
0.00016	2.00000	0.05080	0.00757	3.73373	11.20491	1.18790	65.00000	63.81210	0.01417	7712.0	224.9	90.11340	727.27026	428.27786	349.47	334.78
									16.00							
									0.00016							
									90.11	414.03	428.28		207.01	293.94		
													428.28	493.94		
FLUJO INYECTADO	224.61	GPM	$M = Q_g \cdot G_s / (Q_n \cdot G_n)$													

Balance del sistema.

Cuadro 6

CALCULOS DEL DIMENSIONAMIENTO DE LA BOQUILLA-GARGANTA									
Kt	Kj	Ks	Kd	dj	dt	H1	H2	H3	
				mm	mm	m	PSIG	PSIG	PSIG
0.2	0.05	0.05	0.1	15.0	21.21	279	382	150	45
0.2	0.05	0.05	0.1	15.5	21.92	265	362	150	66
0.2	0.05	0.05	0.1	16.0	22.63	253	344	150	84
0.2	0.05	0.05	0.1	16.5	23.33	242	329	150	99
0.2	0.05	0.05	0.1	17.0	24.04	233	317	150	112
0.2	0.05	0.05	0.1	17.5	24.75	226	306	150	124
0.2	0.05	0.05	0.1	18.0	25.46	219	296	150	133
0.2	0.05	0.05	0.1	18.5	26.16	213	288	150	142
0.2	0.05	0.05	0.1	19.0	26.87	208	281	150	149
0.2	0.05	0.05	0.1	19.5	27.58	203	274	150	156
0.2	0.05	0.05	0.1	20.0	28.28	200	269	150	162
0.2	0.05	0.05	0.1	20.5	28.99	196	264	150	167
0.2	0.05	0.05	0.1	21.0	29.70	193	259	150	171
0.2	0.05	0.05	0.1	21.5	30.41	190	255	150	175
0.2	0.05	0.05	0.1	22.0	31.11	188	252	150	179
<b>Kt</b>	Coeficiente de pérdida hidráulica en la garganta (incluye efecto de mezcla)								
<b>Kj</b>	Coeficiente de pérdida hidráulica en la tobera. (tobera o boquilla con geometría adecuada y acabado fino en la								
<b>Ks</b>	Coeficiente de pérdida hidráulica al ingreso de gas de forros a cámara de vacío.								
<b>Kd</b>	Coeficiente de pérdida hidráulica en el difusor (cono de educor)								
<b>dj</b>	Diámetro de tobera o boquilla de educor								
<b>dt</b>	Diámetro de garganta de educor								
<b>H1</b>	Presión antes del educor								
<b>H2</b>	Presión después del educor.								
<b>H3</b>	Presión en forros.								

Dimensionamiento del educor, para diferentes configuraciones boquilla-garganta.

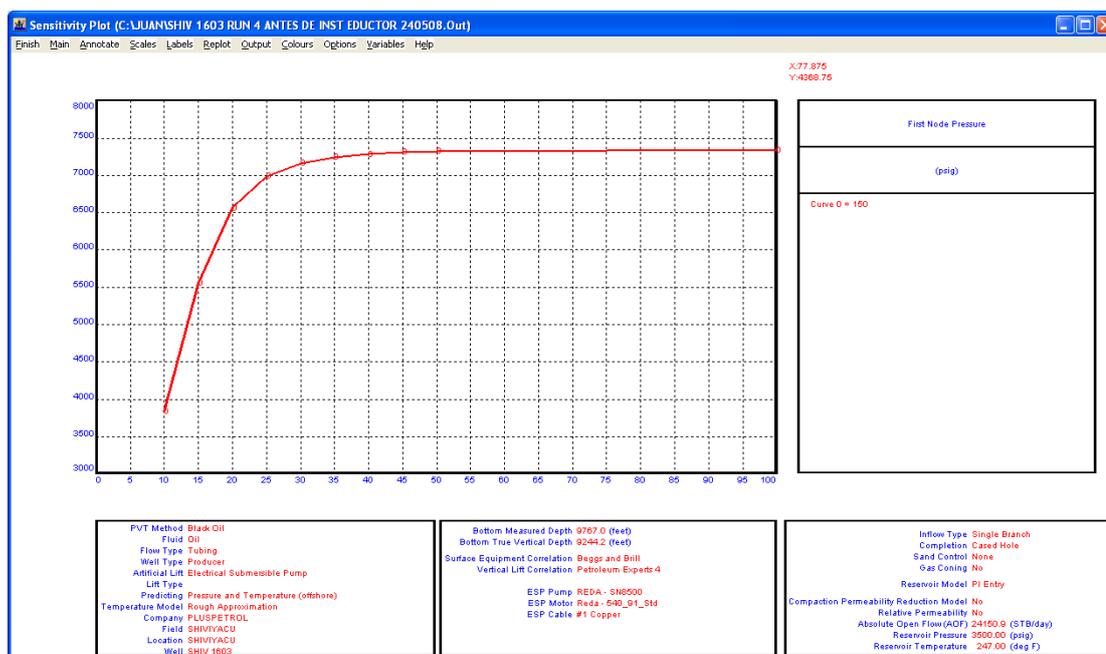
Con la información obtenida del cuadro 6, se observa que para diámetros de boquillas (dj) mayores a 19.5 mm, la presión de forros (H2) se incrementa por encima de la presión después del eductor (H2), por lo tanto éste sería el punto de inflexión. Observar que en este punto, la presión antes del eductor (H1) alcanzaría los 274 psia; por lo tanto, el incremento de presión esperado para esta configuración sería de 124 psia.

### 3.3.2 Aplicación del programa PROSPER.

Se realizó un análisis nodal evaluando las condiciones actuales del sistema de bombeo electrosumergible especialmente el performance de la bomba y el motor, también se analizó el efecto que generaría la restricción (boquilla del eductor) sobre la producción total.

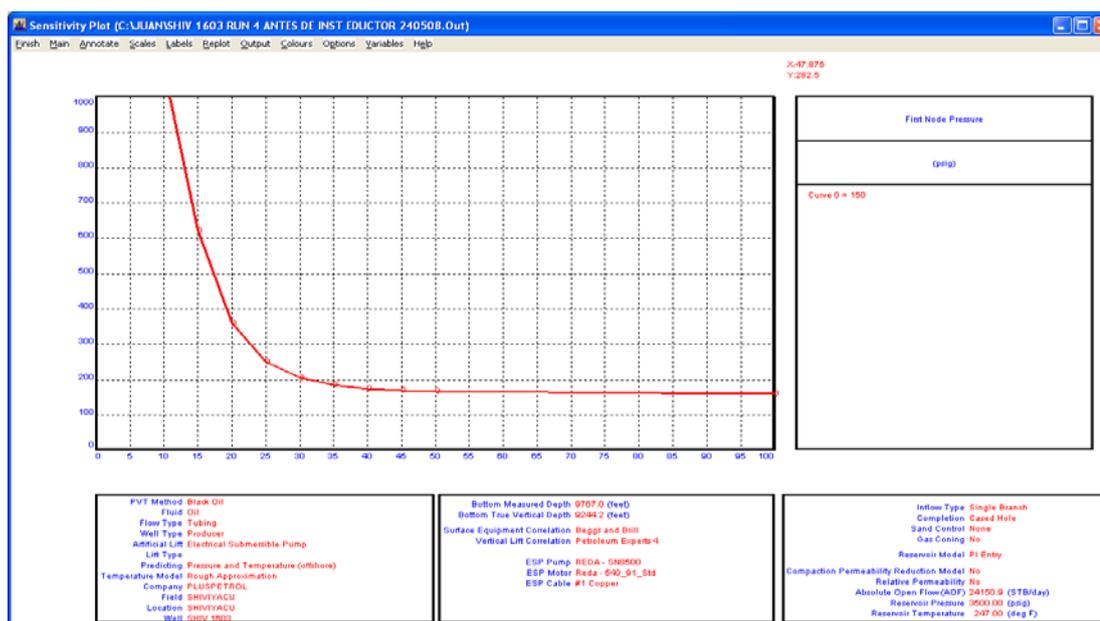
Los resultados proporcionados por el PROSPER son mostrados en las figuras 9 y 10. Se observa que cuando el diámetro del estrangulador (boquilla del eductor) es de 15 mm, se obtendría una presión de Tubing de 600 psi y un caudal de 5500 BFPD. Esto significa que el efecto del estrangulamiento es muy perjudicial ya que generaría presiones muy altas. Esto se debe a que el estrangulador tiene una eficiencia muy baja.

Figura 9



Caudal vs Diámetro de estrangulador.

Figura 10



Presión en cabeza vs Diámetro de estrangulador.

Para un diámetro de boquilla de: 15 mm., se observa que las presiones del Prosper son mayores respecto al Chemcad.

Cuadro 7

CONDICION	Qt BPD	Qo BPD	Presión antes eductor (psi)	Presión después eductor (psi)	Variación de presión (psi)	Perdida de producción BOPD	Hz
INICIAL	7275	473	150	150	0	0	60
CHEMCAD	6400	416	382	150	232	57	60
PROSPER	5550	361	600	150	450	112	60

Comparación de resultados obtenidos usando los diversos software y la condición inicial.

### 3.3.3 Aplicación del programa AUTOCAD.

Con los resultados matemáticos preliminares proporcionados por el Prosper y Chemcad, se efectuó el diseño de detalle de cada componente en AUTOCAD.

También, se decidió enviar a fabricar varias combinaciones de diámetros de "boquilla-garganta".

Las figuras 11, 12 y 13 muestran diversos diagramas de detalle del equipo eductor.

Figura 11

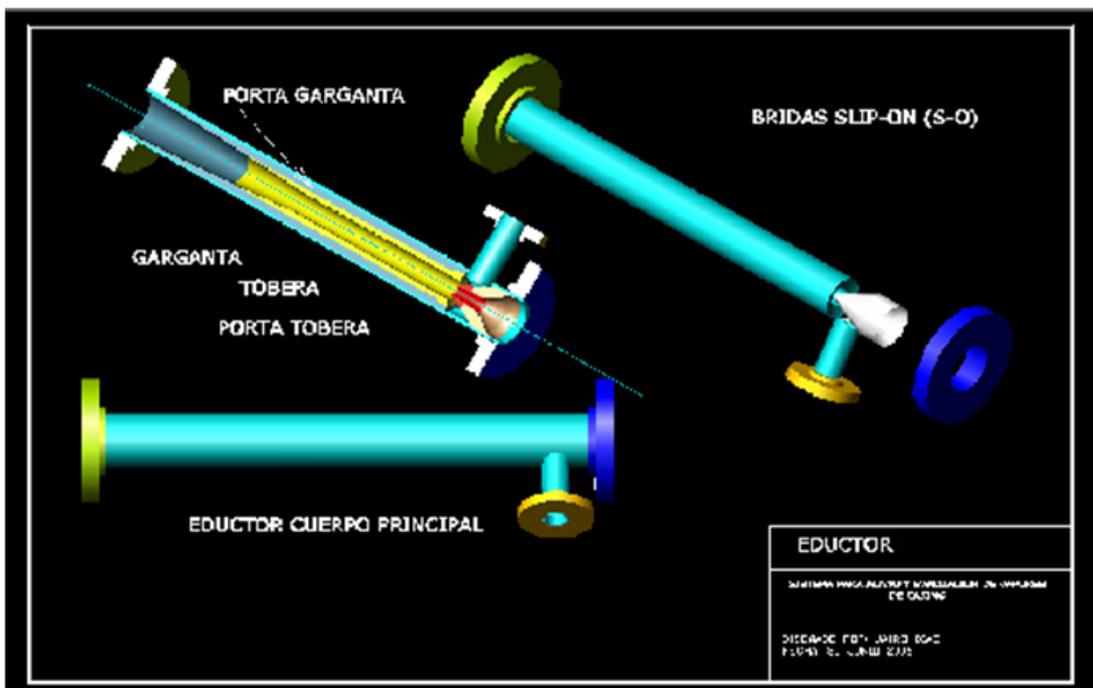


Diagrama Autocad de los diversos componentes del Eductor.

Figura 12

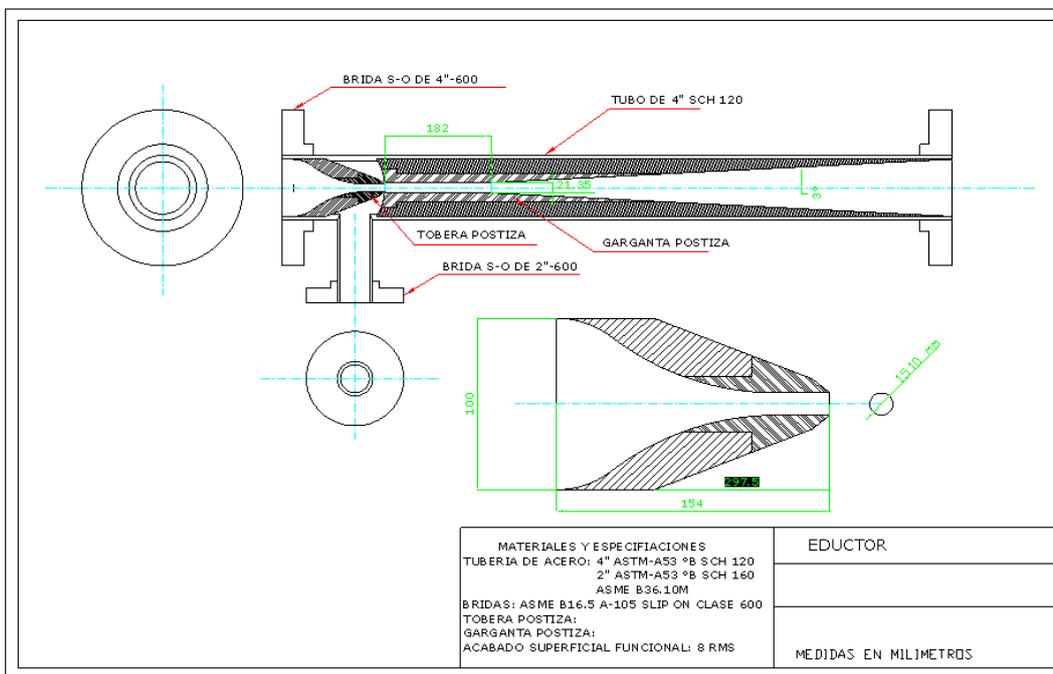


Diagrama Autocad de detalle de los componentes del Eductor.

Figura 13

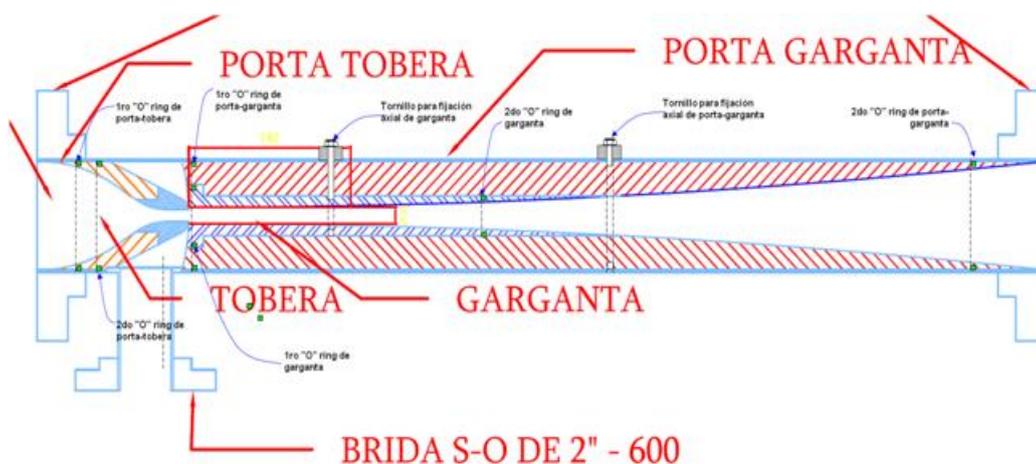


Diagrama Autocad de detalle de fijación de sellos y elementos de detalle.

### 3.3.4. Fabricación del Equipo Eductor:

En Setiembre 2006, se realiza la Orden de Compra para licitar el servicio de la fabricación del prototipo eductor, de acuerdo a lo detallado en el cuadro 8.

Cuadro 8

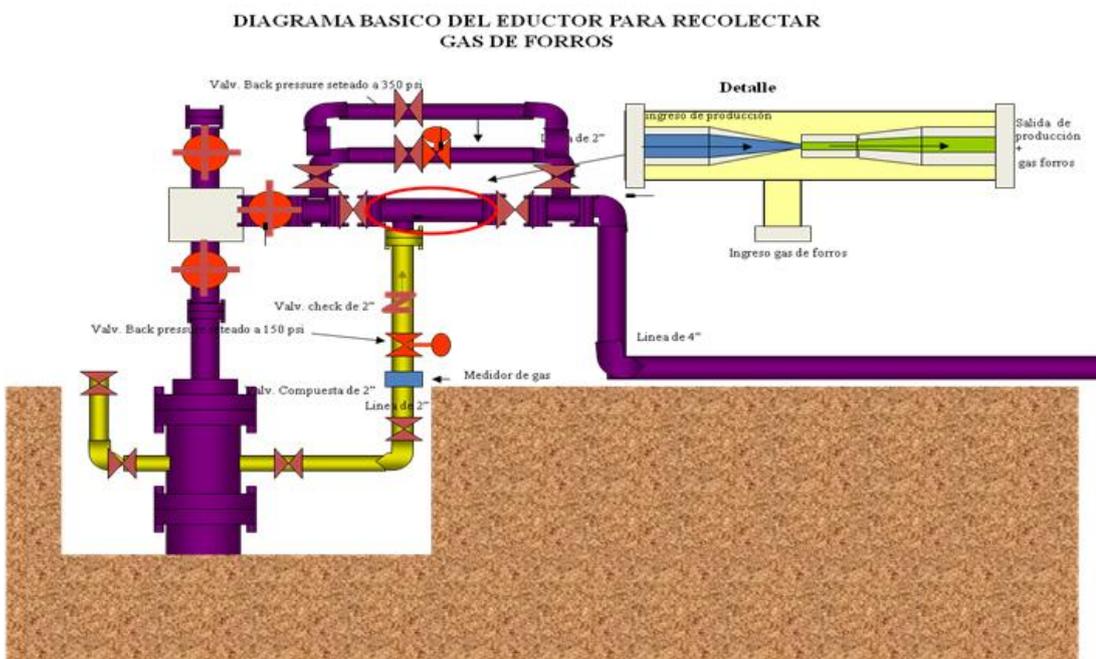
#### 1.0 METRADO

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD
1,0	EDUCTOR COMPLETO, COMPRENDE:	1	EA
1,1	CUERPO EXTERIOR DE TUBO SCH 120 Ø4" LONGITUD DE 1135 mm.		
1,2	INTERNOS REMOVIBLES PORTA TOBERA Y GARGANTA.		
1,3	EXTREMOS DE BRIDAS S-O DE 4" - 600.		
1,4	DERIVACION TUBERIA Y BRIDA S-O DE Ø2"-600.		
1,5	GARGANTA POSTIZA DE ACERO INOX AISI 316		
1,6	TOBERA POSTIZA DE ACERO INOX. AISI 316.		
1,7	SELLOS TIPO "O" RING DE VITON.		
1,8	ACABADO SUPERFICIAL INTERNO DE 8 RMS.		
1,9	PROTECCION EXTERIOR CON EPOXICO A 4 MILS.		
2,0	GARGANTA POSTIZA DE ACERO INOX. AISI 316.	10	EA
3,0	TOBERA POSTIZA CON ASIENTO DE ACERO INOX. AISI 316	10	EA
4,0	JUEGO "O" RING TOBERA, MATERIAL VITON PARKER ( 6 UNID. )	10	KT
5,0	JUEGO "O" RING CUERPO PORTA TOBERA, MATERIAL VITON PARKER ( 6 UNID. )	10	KT
6,0	JUEGO "O" RING GARGANTA, MATERIAL VITON PARKER ( 6 UNID. )	10	KT
7,0	HERRAMIENTA EXTRACTORA DE TOBERA POSTIZA	1	EA
8,0	HERRAMIENTA EXTRACTORA DE GARGANTA POSTIZA	1	EA
9,0	LLAVE PARA AJUSTE DE TOBERA.	1	EA
10,0	PLANOS Y ESPCIFICACIONES (Dimensiones, tolerancias, materiales, tratamientos térmicos, acabados y normas completas aplicadas)	1	ST

Accesorios y componentes de un sistema eductor.

También se efectuó un diseño de las facilidades y conexiones que se requerirán para la instalación en superficie, el cual es mostrado en las figuras 14 y 15.

Figura 14



Esquema básico del circuito del equipo eductor a instalarse en el pozo.

Figura 15

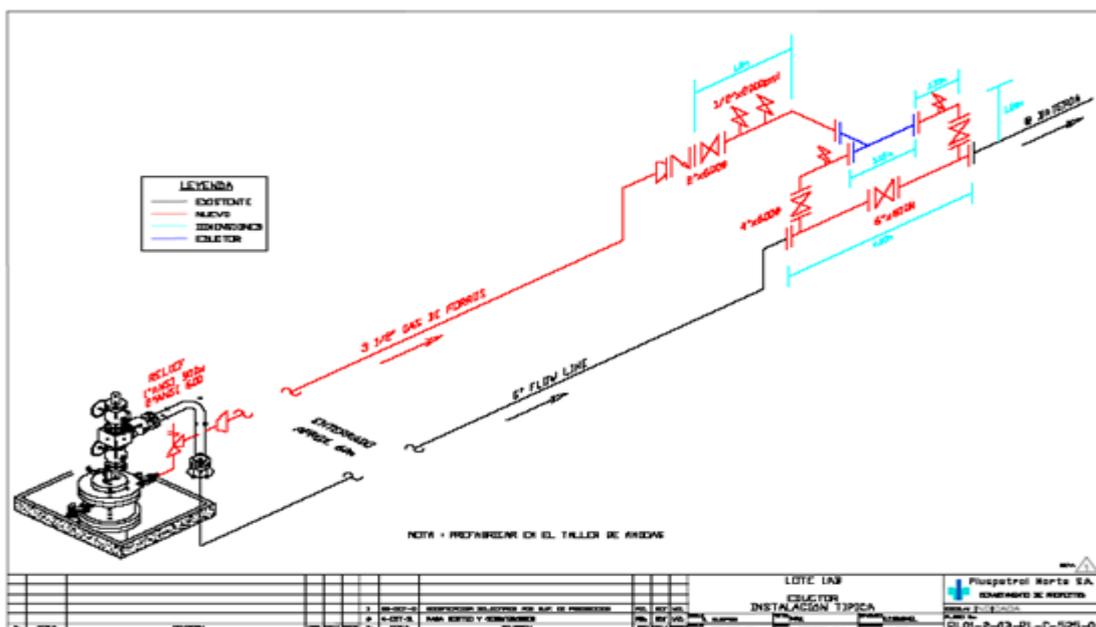


Diagrama Autocad de líneas de flujo en superficie incluyendo el eductor.

## **CAPITULO 4: IMPLEMENTACION DEL PROYECTO PILOTO.**

Debido a las características de los pozos y las facilidades existentes, se decidió efectuar el proyecto en el Pozo SHIV-1603 (pozo ubicado en el Yacimiento Shiviyaçu. Lote 1AB).

Así mismo, se decidió optimizar la aplicación de este equipo “educor” permitiendo que recolecte la producción de gas de forros de los otros pozos que corresponden a esta plataforma (SHIV 19, SHIV 1601, SHIV 1602 y SHIV 1603).

### **4.1 Instalación del Prototipo de Eductor.**

Una característica importante por el cual se selecciono este pozo fue porque tenía como accesorios adicionales:

- Un sensor de fondo de última tecnología. Este sensor va acoplado al motor de fondo y nos permite adquirir información del comportamiento BES y parámetros del pozo tales como la presión a la altura de la entrada de la bomba.
- Un sistema de monitoreo vía satelital, el cual permite transmitir y registrar en tiempo real información proporcionada por el sensor de fondo (Presión de entrada, temperatura entrada, temperatura del motor, vibración, fuga de corriente, etc.). De los cuales la información a evaluar para este caso será la presión de entrada, ya que nos reflejará una medida continua de las variaciones del nivel de fluido.
- Transductores de presión, medidores de gas, los cuales se conectarían con el sistema para un mejor control de los diversos parámetros a evaluar.

### **4.2 Equipos de automatización y sistemas de control instalados.**

En Mayo 2007, se realizaron las modificaciones del sistema de descarga de la línea de producción y de forros del pozo SHIV 1603, además se agregaron otros accesorios electrónicos para la medición de otros parámetros tales como:

- Trasmisor de presión: permitió transmitir la presión antes y después de eductor y presión en el eductor ó presión de forros.

- Multivariable: sistema que permitió cuantificar el volumen de gas captado por el eductor.
- Manómetros: para observar las variables de presión antes del eductor, presión después del eductor y presión de forros.
- Registrador tipo Barton: para registrar las presiones de las variables a monitorear.
- Válvula de alivio de 2 pulg x 150 psi: instrumento de seguridad.
- Interconexión de los enlaces de control de los instrumentos con el módulo de control UNICOM, este permitió almacenar y transmitir las variables a evaluar.

Las modificaciones y distribución de los diversos accesorios son mostradas en las figuras 16 y 17.

Figura 16

**DIAGRAMA PROPUESTO PROYECTO GAS FORROS POZO SHIVIYACU 1603**

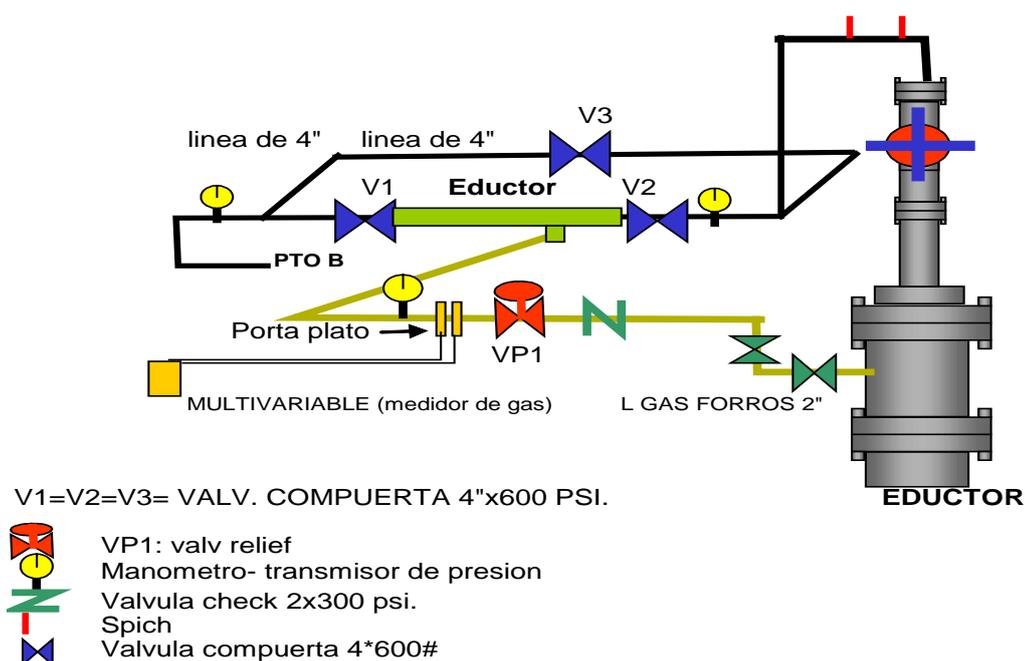


Diagrama de componentes instalados pozo SHIV 1603.

Figura 17

### CALCULO ESTRUCTURAL PARA INSTALACION DEL EDUCTOR EN POZO SHIV 1603

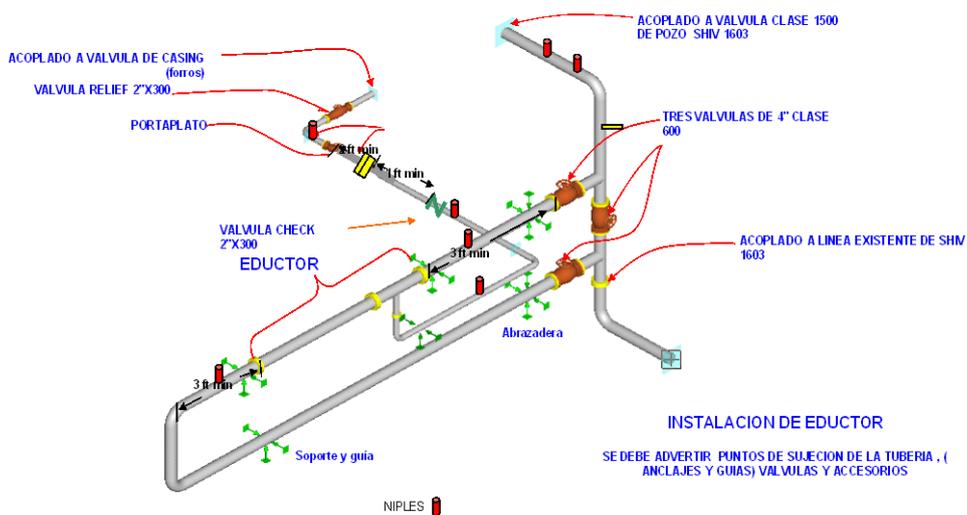


Diagrama de diseño estructural pozo SHIV 1603.

El equipo eductor fue recibido en el campo en Julio del 2007, pero debido a prioridades operativas (cero vertimiento de las aguas de producción) no se pudo instalar inmediatamente.

En Febrero del año 2008 se iniciaron los trabajos de metal mecánica de los accesorios y conexiones adicionales requeridas.

Finalmente, el prototipo de eductor, quedó instalado en Marzo del año 2008.

Las figuras 18, 19 y 20, muestran el detalle final de la instalación.

Figura 18



Fotografía del equipo eductor instalado en Pozo SHIV 1603.

Figura 19



Fotografía del equipo eductor instalado en Pozo SHIV 1603.

Figura 20



Fotografía de los accesorios instalados en Pozo SHIV 1603.

## CAPITULO 5: RESULTADOS DE CAMPO DEL EQUIPO EDUCTOR.

El prototipo “educator” fue instalado en Marzo del 2008, las primeras pruebas fueron realizadas a partir de esta fecha. Las acciones que se tomaron fueron las siguientes:

En los 4 pozos de la locación se conectó el gas de forros de estos, para recolectar con el equipo educador instalado en el SHIV-1603. Se calibró los 2 medidores de gas (del tipo multivariable y el medidor tipo Barton).

### 5.1 Medición y monitoreo de diversos parámetros

El 30 y 31 de Mayo del 2008 se realizaron las pruebas de campo, el sistema educador trabajó en forma continua, los resultados fueron:

#### Medición del gas de forros:

FECHA	VOL. GAS FORROS RECOLECTADO (SCFD)
30/05/2008	9,460
31/05/2008	8,283
30/09/2008	8208
01/10/2008	6099

#### Medición del caudal:

El efecto de instalar en el educador una boquilla de 19 mm (0.748 pulg.) de diámetro, generó una pérdida de producción que es mostrado en el siguiente cuadro:

COMPARACION	BFPD	BOPD	WC%	BWPD	TP	CP	HZ	FL	PWF
con educador	6795	367	94.6	6428	290	45	60.0	3862	2126
sin educador	7245	391	94.6	6854	142	50	60.0	3894	2122
Variacion	-450	-24			148				

#### Presiones promedias obtenidas:

Presión antes del Educador: 300 psi.

Presión después del Educador: 150 psi.

Presión de forros: 55 psi.

En la figura 21, se puede observar el comportamiento de las diversas variables monitoreadas.

Figura 21

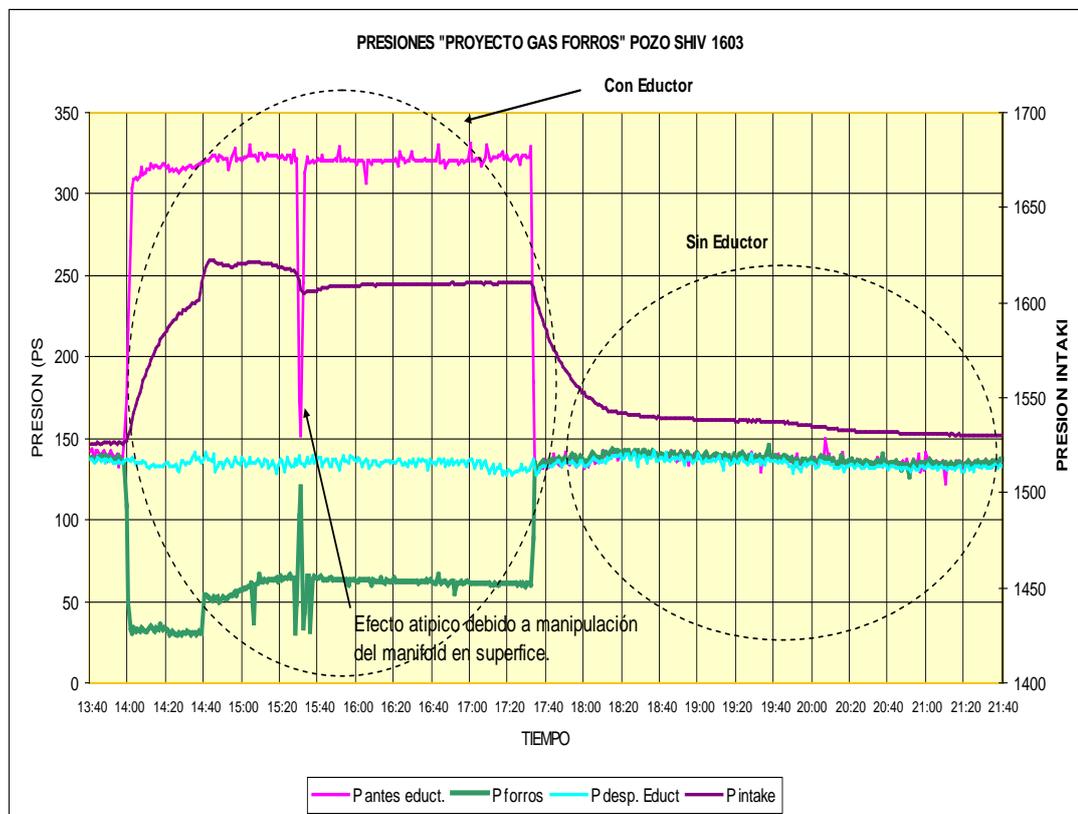


Grafico de comportamiento de las presiones en el proyecto piloto.

El volumen de gas de forros succionado por el equipo eductor, es mostrado en las siguientes hojas de registro (cuadro 9 y cuadro 10).

Cuadro 9

DATOS PRUEBA DEL EDUCTOR POZO 1603							
FECHA	9/30/2008	FLOW LINE		CASING DE POZOS	PRESION DE CASING	TEMPERATURA	GAS MULTIVARIABLE
POZO	HORA	PRES ANTES EDUCTOR	PRES DESPUES EDUCTOR	PRESION	ANTES DEL EDUCTOR	CASING	PC
CV-19	10:00:00 a.m.						
CV-1601							
CV-1602							
CV-1603							
CV-19	11:00	290	136	50	48		601679
CV-1601				24			
CV-1602				51			
CV-1603				51			
CV-19	13:00	300	134	54	51.5		602404
CV-1601				26			
CV-1602				48			
CV-1603				54			
CV-19	15:00	300	136	53	50		603112
CV-1601				26			
CV-1602				48			
CV-1603				54			
CV-19	17:00	297	131	51	48		603879
CV-1601				14			
CV-1602				46			
CV-1603				52			
CV-19	21:00	297	130	49	46.6		605407
CV-1601				13			
CV-1602				42			
CV-1603				50			
CV-19	1:00	298	130	46	44		606918
CV-1601				14			
CV-1602				40			
CV-1603				48			
CV-19	5:00	298	135	44	44		608137
CV-1601				14			
CV-1602				38			
CV-1603				46			
CV-19	9:00	298	133				609158
CV-1601							
CV-1602							
CV-1603							
							<b>Gas Total ( pies cubicos)</b>
CV-19	11:00	298	130	45	42		609887
CV-1601							
CV-1602							
CV-1603							

Monitoreo de diversos parámetros del sistema eductor.

Cuadro 10

FECHA	10/1/2008	FLOW LINE		CASIIG DE POZOS	PRESION DE CASIIG	TEMPERATURA	GAS MULTIVARIABLE	OBSERVACIONES
POZO	HORA	PRES ANTES EDUCTOR	PRES DESPUES EDUCTOR	PRESION	ANTES DEL EDUCTOR	CASIIG	PC	
CV-19	15:00	298	132	46				
CV-1601								
CV-1602								
CV-1603					42		610677	
CV-19	17:00	300	130	45				
CV-1601								
CV-1602							610958	
CV-1603					42			
CV-19	19:00	297	135	42	40		612366	
CV-1601				14				
CV-1602				44				
CV-1603				44				
CV-19	1:00	297	136	41	40		613279	
CV-1601				14				
CV-1602				36				
CV-1603				43				
CV-19	5:00	297	134	41	40		614277	
CV-1601				17				
CV-1602				36				
CV-1603				44				
CV-19	7:00	298	132	40	40		615026	
CV-1601				30				
CV-1602				36				
CV-1603				44				
CV-19	10:00	300	132	40	40		615506	
CV-1601				36				
CV-1602				34				
CV-1603				42				
CV-19	12:00	300	130	40	40		616026	
CV-1601				30				
CV-1602				34				
CV-1603				42				
CV-19	15:00	300	128	37	40		616776	
CV-1601				35				
CV-1602				36				
CV-1603				42				
CV-19								<b>Gas Total ( pies cubicos)</b>
CV-1601								<b>6,099</b>
CV-1602								
CV-1603								

Monitoreo de diversos parámetros del sistema eductor.

Pruebas posteriores son mostrados en el cuadro 11.

Cuadro 11

FECHA	BRUTA	NETA	PERDIDA	GAS	FW	P. ANTES EDUCATOR	P. DESP. EDUCATOR	PRES. FORROS	SALINIDAD	NF	PRES. INTAKE	OBSERVACIONES
	BFPD	BOPD	BOPD	MPCD	(%)	PSI	PSI	PSI	PPM	PIES	PSI	
07/09/2008	7,366	390		106	94.7	145	145	40	40,215	3,642	1,524	SIN EDUCATOR
04/10/2008	6,928	374	16	86	94.6	298	145	42	40,215	4,051	1,596	CON EDUCATOR
12/10/2008	7,237	383		77	94.7	145	145	45	40,215	3,894	1,526	SIN EDUCATOR
13/10/2008	6,788	360	23	86	94.7	290	145	43	40,215	3,862	1,613	CON EDUCATOR
28/10/2008	6,801	361		93	93.0	280	145	42	40,105	3,956	1,609	CON EDUCATOR

Monitoreo de pruebas de pozo SHIV 1603.

Se observa que el sistema educor, funciona eficientemente, sin embargo genera una pérdida de flujo por el efecto del incremento de presión del educor instalado, por lo tanto la perdida de producción promedio fue de aproximadamente 20 BOPD.

## **CAPITULO 6: ANALISIS ECONOMICO.**

Para efectuar un análisis económico, se muestra la implementación de este equipo al pozo Corrientes 1020, ubicado en el Yacimiento Corrientes (Lote 8).

### **6.1 Aplicación: Pozo CORRIENTES 1020.**

El Pozo CORRIENTES 1020, es un pozo de extensión perforado el año 2007 ubicado en la zona Norte del Yacimiento Corrientes, fue completado y puesto en producción el 04 de Julio del año 2007.

El 10 de Abril del año 2009 fue cerrado por OSINERGMIN debido a que el sistema de línea de producción no cumplía con el nuevo "Reglamento de Transporte de Hidrocarburos por ductos" dado en el D.S. N°081-2007-EM y además del no cumplimiento del Decreto Supremo Nro 048-2009 EM, en el cual el artículo 19 prohíbe el venteo del gas natural.

Para cumplir con estas normativas, recuperar la producción diferida de 150 BOPD, extraer las reservas remanentes de 208MBO, optimizar los costos y adecuación a las normas; se efectuó el programa de adecuación del sistema de líneas para cumplir con el reglamento de transporte de hidrocarburos por ductos y en el tema correspondiente al cumplimiento del decreto supremo que prohíbe el venteo de gas, se plantearon las siguientes alternativas:

- Alternativa 1: Instalar una línea recolectora de gas de forros desde el cabezal del pozo Corrientes 1020 hasta el sistema colector de la plataforma 1007 (distancia 9 km, diámetro de la línea de 2pulg).
- 
- Alternativa 2: Implementar el sistema de recolección de gas de forros utilizando un equipo eductor.
- 

#### **Análisis de costos de la Alternativa 1:**

Para instalar 9 km de línea recolectora del gas de forros, se planteo instalar una línea de 2 pulg. Según el análisis económico, este trabajo requería una inversión total de 350MUS\$ el cual incluía material, tendido, soldado y prueba hidrostática de la línea.

### Análisis de costos la Alternativa 2:

Para instalar un equipo eductor en la descarga de la línea de producción del pozo Corrientes 1020, el costo ascendía a 40MUS\$, el cual incluía la adquisición de equipo eductor y válvulas, trabajos de metal mecánica para la adecuación de las líneas e instalación del eductor, válvulas y accesorios.

Cuadro resumen de las alternativas:

ALTERNATIVA	COSTOS (MUS\$)
1	350
2	40
AHORRO	310

Por consiguiente, debido al ahorro significativo que se obtenía comparando ambas alternativas, se decidió instalar un equipo eductor.

En la Figura 22 se muestra el equipo eductor, el cual es revisado cuando llegó al Lote 8.

Figura 22



Fotografía del eductor durante el proceso de desembalaje.

En la Figura 23 se observa al personal de metal mecánica durante el proceso de instalación del equipo eductor.

Figura 23



Fotografía del eductor durante su instalación al pozo CORRI 1020.

Terminado los trabajos de implementación, el pozo fue puesto en producción el 28 de Abril del 2010 con el equipo eductor instalado, funcionando en condiciones satisfactorias y lográndose cumplir con las normativas gubernamentales.

Pruebas de pozo posteriores, mostraron los siguientes resultados:

Fecha	POZO	BRUTA	O.P.D (Bls)	AGUA (Bls)	% AGUA	Gas (Mpc)	P. ANTES EDUCTOR	P. DESP. EDUCTOR	P. FORROS	Freq Hz	NIVEL FLUIDO	AMPERAJE	OBSERVACIONES
30-abr-10	CORR-1020	5624	157	5467	97.2	21.7	430	320	250	55	1860	98-105-104	CON EDUCTOR
02-may-10	CORR-1020	5479	153	5326	97.2	21.2	430	320	250	55	1860	100-106-104	CON EDUCTOR
28-may-10	CORR-1020	5844	164	5680	97.2	20.5	320	320	320	55	2449	100-97-98	SIN EDUCTOR
29-may-10	CORR-1020	5874	159	5715	97.3	19.8	320	320	320	55	2480	100-96-98	SIN EDUCTOR

## CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. El proyecto piloto para recolectar el gas de forros usando el principio Venturi, el cual fue instalado en el pozo SHI 1603 del Lote 1AB fue exitoso y permitió aplicar esta técnica a otros pozos con sistema BES.
2. Los resultados estimados de presión arrojados por el programa Prosper son mucho mayores a los obtenidos en los resultados de campo, esto se debe a que en el modelamiento el “estrangulador” tiene una eficiencia muy baja y precisamente busca generar una alta restricción. Sin embargo, los resultados obtenidos con el programa Chemcad se tienen un bajo margen de error, esto debido a que las boquillas y gargantas se diseñan con una forma geométrica especial para lograr una menor caída de presión.
3. La optima presión de succión en los forros, depende de las características de los fluidos, así como también de la selección del diámetro de la boquilla y garganta.
4. Es posible obtener el efecto “Venturi” usando como fluido motriz “un fluido multifásico”.
5. El eductor con la boquilla de 19 mm (0.748 pulg) y garganta de 26.87 mm. (1.057 pulg.) de diámetro instalado en el pozo SHIV 1603, generó un incremento de presión en cabeza del 100%, una reducción de la producción en 6 % y una presión de succión en forro de 55 psi.
6. Se evaluó que para que el sistema eductor genere un vacío en la línea de forros, se debe instalar un equipo cuya configuración de diámetros boquilla-garganta sea la más óptima, buscando la menor pérdida de producción posible.
7. La implementación de sistema para recolectar el gas de forros es mas oneroso que el sistema de recolección convencional.

### **Recomendaciones**

1. Aplicar esta metodología en pozos con sistemas de levantamiento artificial BES, y en locaciones o reservorios donde por las características de los fluidos, la topografía lo permitan.
2. Se sugiere seguir investigando el fenómeno de flujo multifásico a través de un eductor y aplicar a sistemas de completación múltiple como podría ser el sistema dual B.E.S.- Bomba Jet. Este sistema aun no desarrollado, posibilitará optimizar la producción en pozos que tienen varias arenas productivas cuyos valores de presión de reservorio e índice de productividad son muy diferentes. Como consecuencia de que el fluido descargado por la bomba electrosumergible va a ser utilizado como fluido motriz para el sistema eductor.
3. En plataformas donde existe más de un pozo, se recomienda instalar el equipo “eductor” en un solo pozo y recolectar el gas de forros de los pozos vecinos.
4. Realizar el análisis comparativo de instalar un equipo “eductor” vs colocar “una línea colectora de gas”.

## CAPITULO 8: BIBLIOGRAFIA

- P.M. Carvalho, A.L. Podio (1998). Modeling a Jet Pump with an Electrical Submergible pump for Production of Gassy. Paper SPE 48934.
- Hatzlavramidis.D.T (1991). Modeling and Desing of Jet Pumps. Paper SPE 19713.
- Noronha.F.A., Franca F., Alhanati F. (1998). Improved two Phase Model for Hydraulic Jet Pumps. Paper SPE 50940.
- Higgings. H. W. (1964). Water Jet Air Pump Theory and Performance. Tesis para la Obtención del Título de Maestro en IngenieríaMecánica. Pensylvania State University.
- Petroleum Engineer Handbook. (1987).
- Manuales sobre Jet Pump. Compañía Sertecpet.
- Manual de Entrenamiento de Ingeniería de Aplicaciones (2006). Departamento de Ingeniería Baker Hughes. U.S.A.
- J.L. Steimke. (1998). Analysis of eductor performance.
- Hal Petrie, Phil Wilson. The Theory Hardware and Application of the Current Generation of oil well Jet Pumps.
- American Society of Mechanical Engineers (ASME). 1971. Fluid meters: Their theory and application. Edited by H. S. Bean. 6ed.