

ACIPET

Consideraciones técnicas para aplicaciones de bombeo electro-centrífugo duales encapsulados en pozos altamente desviados

Autor(es): C. Cubas (Baker Hughes), R. Jiménez (Baker Hughes), S. Sandoval (Baker Hughes), G. Sosa (Pan American Energy).

Categoría: Marque con una "X"

- Artículo Técnico
- Tesis Pregrado
- Tesis Posgrado

Resumen

La búsqueda de las mejoras continuas, en las instalaciones de equipos electro-centrífugos, es una prioridad en la industria de aplicaciones costa afuera, lo cual requiere de la implementación y aplicación de nuevas ideas tecnológicas, que optimicen los recursos, mediante el ajuste de tiempos y costos de la operación. En respuesta a ello, se presenta el procedimiento ejecutado en campo, y que se establece como una metodología que podría ser aplicada para otros pozos con características al que se presentó en este caso; a la vez que, una solución técnica, y de ingeniería, para la instalación eficiente, de equipos de bombeo electro-centrífugos duales, en configuración redundante, encapsulados, y ubicados en zonas altamente desviadas, de las cuales no se tiene referencia, convirtiéndose así, en un importante referente para este tipo de aplicaciones tecnológicas en el mundo.

La sinergia alcanzada con las diferentes líneas de producto, y el apoyo del cliente, permitieron elaborar un programa de acción detallado y ambicioso, teniendo en cuenta, la mitigación de riesgos de atascamiento, daños eléctricos, y operativos, que por lo general se presentan en este tipo de instalaciones.

La instalación se efectuó, con la implementación puntual de soluciones técnicas que permitieron mantener la integridad del equipo BEC durante pruebas de presión al pozo, y evitando atascamiento de la sarta, mediante corrida preventiva de una sarta dummy; evitar daño a los cables de potencia, al implementar controles adicionales al arrastre de los protectores; y optimizar la velocidad, basándose en una matriz de velocidad de instalación.

Como resultado, a través de la implementación adecuada de estas acciones, se logró una ejecución al cien por ciento controlada, dentro de los aspectos de operación, y seguridad considerados en la planificación.

Palabras clave: BEC dual, Pozo desviado, Sarta dummy

Abstract

In the continuous search for perfection, in the installations of electro-centrifugal equipment, it is a priority in the industry of offshore applications, which requires the implementation and application of new technological ideas, which optimize resources, by adjusting operation times and costs. In response to this, the procedure executed in the field is presented, through a technical and engineering solution, for the efficient installation of dual electro-centrifugal pumping equipment, in redundant configuration, encapsulated, and located in highly deviated areas, of which there is no reference, thus becoming an important reference for this type of technological applications in the world.

The synergy achieved with the different product lines, and the customer's support, allowed the elaboration of a detailed and ambitious action program, taking into account the mitigation of risks of jamming, electrical damage, and operational, which usually occur in these types of facilities.

The installation was carried out, with the specific implementation of three technical solutions, namely:

- Maintaining the integrity of the BEC equipment during well pressure tests, and avoiding sticking of the string, through a preventive run of a dummy string.
- Avoiding damage to the power cables, by implementing additional controls to the drag of the protectors.

-Optimizing speed, based on an installation speed matrix.

As a result, through the proper implementation of these actions, a one hundred percent-controlled execution was achieved, within the aspects of operation and safety considered in the planning.

Keywords: dual BEC, deviated hole, dummy string

Introducción

El procedimiento que se realizó, y se plantea en este paper, se origina, a petición del cliente, para un pozo, con trayectoria tipo “J”, lo cual llevó a la aplicación de las consideraciones que se exponen; la instalación de un sistema BEC dual encapsulado, en un pozo que responde a los datos mecánicos y profundidades de asentamiento de las cápsulas, que se describen en la tabla 1. Realizar esta instalación, representó un gran reto, en vista, de no encontrarse evidencia con similares particularidades.

Datos	Pozo #
Tubería de producción (in)	4.500
Boca de Liner 9.625" (m D)	
Top Capsula Superior (m D)	3676.382
Entrada de la bomba (m D)	3704.954
Bottom Capsula Superior (m D)	3724.175
Top Capsula Inferior (m D)	3775.711
Entrada de la bomba (m D)	3804.230
Bottom Capsula Inferior (m D)	3823.744
Mayor Angulo de inclinación (°)	67.360
Mayor DL (°)	3.580
Boca de Liner 7" (m D)	3094.000
Sensor de yacimiento	4120.000
Longitud Capsula Superior (m)	47.793
Longitud Capsula Inferior (m)	48.033

Tabla 1. Datos del estado mecánico del pozo

No se encontró evidencia de aplicaciones similares, para pozos con dichas características, sin embargo, se siguieron y aplicaron recomendaciones de documentos internos, y del software autographPC, que en lo que respecta, se utilizó una aplicación de su menú llamada “ASAP” Programa de Análisis de estrés, el cual nos permitió evaluar el bandeo del equipo en el Angulo de inclinación y DL a determinada profundidad. Cabe destacar, que el material referencial que se tomó para la ejecución en campo, también fue algo limitado, por lo cual, la instalación del sistema BEC dual encapsulado, se considera, el primero en instalaciones costa afuera, ya que, de acuerdo a la búsqueda de información que permitió facilitar la ejecución de los procedimientos que se llevaron a cabo; no existe alguna otra experiencia en campo, con las características que se presentan para este pozo; sin embargo, se tuvo a favor, el conocimiento y experticia de un equipo de trabajo, cohesionado, audaz y con la suficiente confianza para lograr a buen término la operación.

Teniendo en cuenta que no se encontró a nivel mundial un registro de instalaciones en este grado de inclinaciones, y con este tipo de configuración, es decir, dual encapsulado con cables expuestos sobre la capsula, significó asumir los siguientes desafíos:

1. Posible daño a los cables de la capsula por movimiento de protectores.
2. Evaluación de una velocidad de una instalación segura.
3. Descartar posible atascamiento de la sarta debido a la instalación de dos capsulas consecutivas de 7” de OD más accesorios dentro de tubería de revestimiento de 9 5/8” 53.5 lb/pie, mediante una sarta dummy.

Este trabajo, se considera un importante aporte para las instalaciones de sistemas BEC duales encapsulados en operaciones costa afuera, a través de una solución técnica, siguiendo la metodología, y consideraciones que dieron como resultado de la instalación en un pozo con las características antes señaladas.

Metodología y datos

Para dar solución al problema planteado con la desviación del pozo tipo “J”, se requirió de meticolosos procedimientos, teniendo en cuenta, las necesidades y propuestas del cliente, junto con la experticia, y experiencia ya acumulada en instalaciones de equipos BEC duales encapsulados costa afuera.

Antes de continuar con cualquier tipo de procedimiento, el survey del pozo, dio mayor claridad para poder dilucidar que tantas serían las limitaciones y los retos que se presentaban, mostrando los siguientes datos:

Ángulo de inclinación y DLS del pozo/ Asentamiento equipos BEC dual encapsulado 67; en la trayectoria del pozo encontramos hasta los 420m D, un DL de 1.38, en la profundidad de 1249 m D, encontramos un DL 3.34 y un ángulo de inclinación de 19. A la profundidad de 1479 m D, encontramos un DL 3.02 y un ángulo de inclinación de 35.31. A la profundidad de 1846 m D, encontramos un DL 2.81 y un ángulo de inclinación de 67.14. Hasta los 3686 y 3786 m D, encontramos un ángulo de inclinación máximo de 67.7 y un DL menor a 1°. Gráfico 1 y 2.

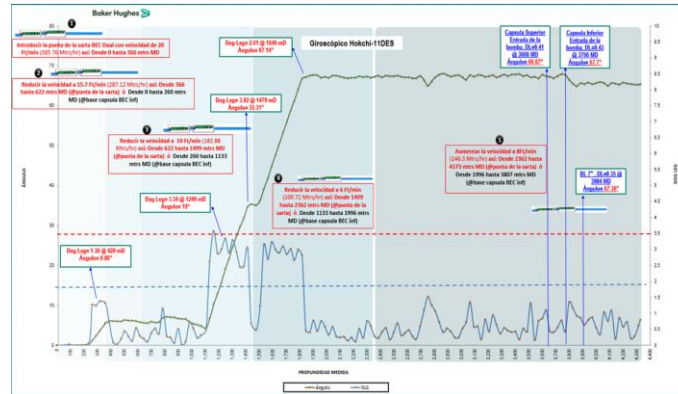


Gráfico 1. Ángulo de inclinación y DLS del pozo

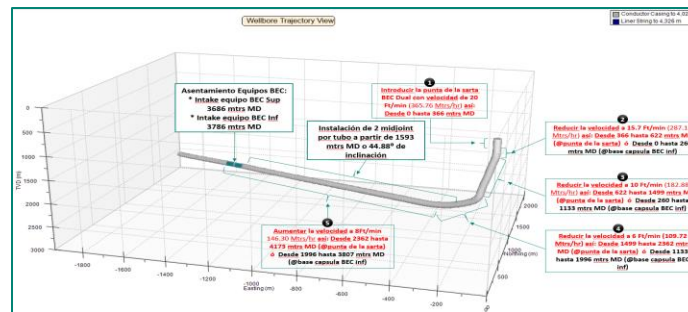


Gráfico 2. Asentamiento equipos BEC dual encapsulado 67°

De esta forma, se configuraron las siguientes actividades, dando respuesta a las limitaciones y retos planteados Tabla 2.

	Limitaciones y retos	Solución técnica propuesta
1	Posible daño a los cables de la capsula por movimiento de protectores	Fabricación de topes para protectores sobre las cápsulas
2	Evaluación de una velocidad de una instalación segura	Matriz de Velocidad de bajada de los equipos
3	Descartar posible atascamiento de la sarta debido a la instalación de dos capsulas consecutivas de 7" de OD más accesorios dentro de tubería de revestimiento de 9 5/8" 53.5 lb/pie	La corrida de la sarta dummy

Tabla 2. Limitaciones y retos, con las soluciones técnicas propuestas.

Fabricación de topes para protectores sobre las cápsulas; debido a la alta inclinación del pozo en 67 grados, y la certeza del alto arrastre que tendría la sarta en el momento de la instalación se concluye que la fabricación de los topes para los protectores sobre la capsula, es la medida más efectiva para este control.

En experiencia previa con el cliente, en un pozo menos desviado se encontró corrimiento de los protectores, lo cual significaba encontrar diferentes alternativas para eliminar los riesgos asociados a daño de los cables expuestos sobre las capsulas, y puntualmente, enfocar la solución en fortalecer los protectores sobre la capsula, o diseñar un sistema de topes que impidiera su arrastre, y de esta manera proteger los cables. Para la fabricación de topes, se realiza un cordón de soldadura resistente sobre la capsula. Dicho cordón no debe superar 1/4 de circunferencia del tubo de la capsula y debe quedar del lado opuesto a la ubicación del cable. (Grafico 1 y 2).

La elaboración de estos topes implica tener en cuenta las siguientes consideraciones, las cuales se estudiaron y resolvieron de la siguiente forma:

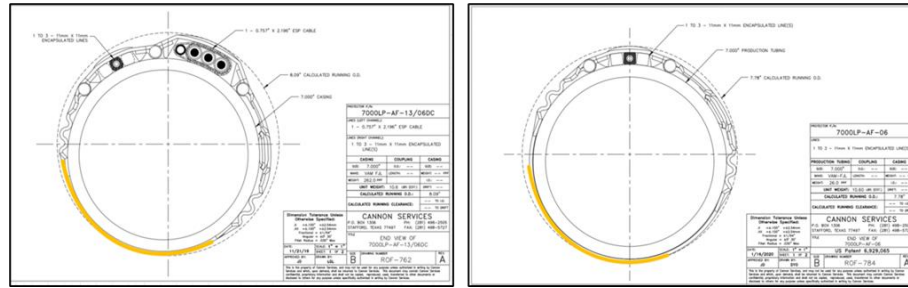


Grafico 1 y 2. De izquierda a derecha protector capsula superior y protector capsula inferior (Soldadura en tubo de color amarillo)

Para la ubicación del cable, se identificó su ubicación, se definió la fabricación de los topes con la instalación del POD BASE (Base de la capsula) en el primer tubo de capsula, tomando como guía, el espacio del POD BASE para la ubicación del cable. Posteriormente se realizó el preensamble de los demás tubos de capsula, y con la misma guía del cable del primer tubo, y conociendo las dimensiones del protector del cable, se marcó, la ubicación exacta de los cordones de soldadura espaciados, de acuerdo con revisión previa de ingeniería. (Grafico 3)

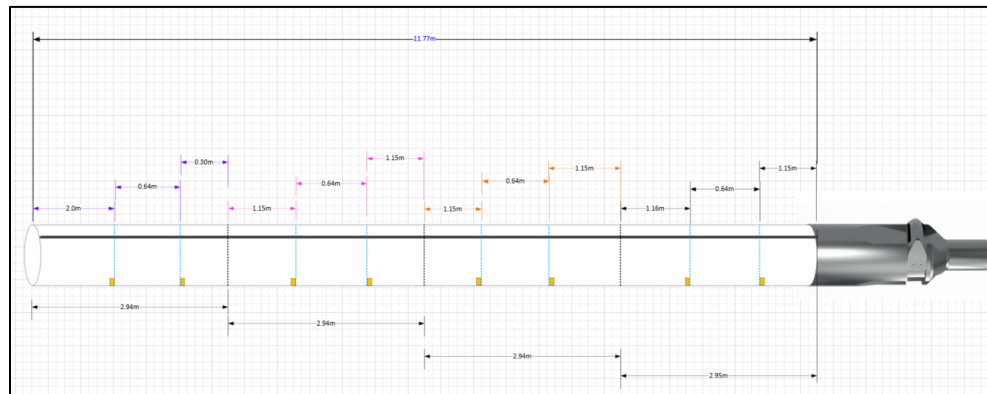


Gráfico 3. POD BASE de capsula, guía para cable y espaciamiento de protectores

De la instalación de los topes, se contempla que, se debe tener en cuenta no realizar topes de soldadura en los puntos donde cierra la cuña y donde se pone la llave hidráulica. Adicionalmente, considerar la ubicación adecuada de la capsula inferior con respecto a la capsula superior para conservar en lo posible la linealidad del cable. Por último, considerar la instalación de doble Mid Joint por tubo, a partir de 45° de inclinación de la sarta en la sección final, en este caso se instaló doble Mid Joint en los primeros 242 tubos sobre la capsula superior.

Matriz de Velocidad de bajada de los equipos; en la región, se tienen establecidas velocidades de instalación conservadoras cuando se trata de instalaciones duales encapsuladas. Sin embargo, se revisó en base a la experiencia de otras regiones, donde se instalan completamientos similares (duales, encapsulados, costa afuera o la combinación de estos, en locaciones como Brasil, Mar del Norte, Colombia, y otros campos en México), la posibilidad de desafiar con argumentos estas velocidades, e incrementarlas para mejorar los tiempos operativos. Como una de las variables que se consideró dentro de la matriz para determinar la velocidad, fue el stress que afecto al equipo al pasar por una zona de DL y ángulo de inclinación.

Adicionalmente, medir la velocidad efectiva de bajada en lugar de velocidad general y cambiar de unidad de tubos, por hora a pies por minuto, es importante para un mejor control de la operación.

Una vez revisada toda esta experiencia se decide en realizar una matriz de velocidades para establecer como línea base en las instalaciones. La matriz incluye aspectos como, tipo de pozo (vertical, J, S, horizontal), Clearance, dog leg, análisis de stress, unidades de medida en pies por minuto (Tabla 1)

Es de tener en cuenta que una afectación en la tubería de revestimiento es prioridad sobre la matriz.

Instrucciones:

1. Seleccione el tipo de pozo a evaluar: (Vertical, Inclinado, J, Horizontal).
2. Seleccione el Claro Calculado del punto a evaluar: (0 < Claro <= 0,4, 0,4 < Claro <= 0,75, 0,75 < Claro <= 1,5, 1,5 < Claro <= 3, 3 < Claro <= 6).
3. De Clic en el boton "Clic para Cargar Matriz".
4. Matriz cargada en la sección "DLS vs inclinación" de color azul, cruce el dogleg con la inclinación según corresponda para obtener la velocidad de corrida en tubos por hora del equipo BEC y verifique si el análisis de stress realizado en ese punto aplica alguna condición crítica de la derecha (Tabla Naranja) para restar el valor que corresponda a la velocidad de corrida.
5. Seleccione las profundidades a evaluar del Survey según las premisas descritas anteriormente, criterios de tipo de pozo vs claro, DLS, Inclinación y análisis de Stress ASAP y llene de acuerdo al ejemplo de la tabla 1 para obtener la velocidad de instalación.

Tabla 3. Matriz de velocidad de instalación

Matriz Tipo de pozo vs Claro (Tubos por hora)	Desde Prof MD	Hasta Prof MD	Inclinación	DLS	Esfuerzo	Interferencia	Boca del Liner	Velocidad de Inicio (Tubos por hora)	Velocidad Efectiva de Muestra (ft/día)	Profundidad de velocidad Efectiva de Muestra (ft)
9.5/8	0	240	0° < Incl <= 2°	< 1	< 250 lb	< 0.5 in	no	13	17.26	17.26
9.5/8	240	390	2° < Incl <= 15°	1 < DLS <= 2	< 250 lb	< 0.5 in (-1)	no	11	14.81	13.72
9.5/8	390	1120	2° < Incl <= 15°	< 1	< 250 lb	< 0.5 in (-1)	no	10	15.94	13.72
9.5/8	1120	1200	2° < Incl <= 15°	2 < DLS <= 3	< 250 lb	< 0.5 in (-1)	no	8	10.62	13.72
9.5/8	1200	1590	15° < Incl <= 45°	2 < DLS <= 3	< 250 lb	< 0.5 in (-1)	no	6	7.87	7.87
9.5/8	1590	1823	45° < Incl <= 70°	2 < DLS <= 3	< 250 lb	< 0.5 in (-1)	no	6	7.87	7.87
9.5/8	1823	3700	45° < Incl <= 70°	< 0.5	< 250 lb (-1)	< 0.5 in (-1)	no	8	10.62	10.62

Tabla 3. Matriz de velocidad de instalación

La corrida de la sarta dummy; el trabajo de instalación y completamiento requirió de la corrida de una sarta de prueba o sarta dummy, que garantizó el correcto dimensionamiento, espaciamiento, pruebas de válvulas, y no atascamiento de las capsulas en las zonas de alta inclinación y DLS. Debido a esto se realizó el ensamble de las capsulas sin equipo BEC y sin cables, y se comprobó la corrida sin inconvenientes operacionales, adicionalmente, se confirmó también la correcta ubicación de los topes de los protectores. (Gráfico 6)

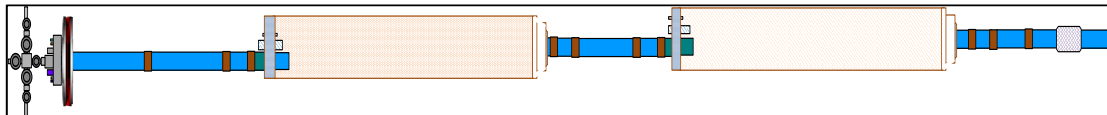


Gráfico 4. Sarta dummy o sarta de prueba

Discusión

La instalación de un sistema BEC encapsulado dual, tiene su propósito principal en tener un equipo de respaldo, y evitar costos operativos de otra instalación cuando el equipo superior haya fallado. Con este fin, se debe hacer una instalación eficiente, en tiempo, y que al finalizar, queden los dos equipos encapsulados asentados con buen aislamiento. Los puntos más importantes considerados, fueron los cordones de soldadura (sobre las capsulas de OD 7") para mitigar el arrastre de los mismos y dañe los cables (cable de potencia plano #1 y cable de señal del sensor de fondo 11mm x 11mm), esta actividad se realizó considerando las pruebas necesarias para asegurar que las soldaduras fueran la más adecuadas para estas capsulas. El otro punto es la corrida de la sarta dummy, donde encontramos algunos puntos de tope en la BL, lo cual incidió, en administrar bien el tiempo en la instalación principal. El otro punto, fue la matriz de velocidad, realizada con históricos de instalación, donde se vio el tipo del pozo, los DL, ángulo de inclinación, tubería de revestimiento, tubería de producción y boca de liner. La obtención de los anteriores indicadores, además de la información del resultado de los analisis que se realizaron con el software AutographPC, con la función ASAP, fue necesario ajustar las velocidades de bajada efectiva del equipo. El análisis de la velocidad, continúa con cada una de las instalaciones, donde se toman como referencia para que se mejoren los tiempos.

Esta instalación ha estado libre de acciones como girar la tubería de producción, que se debe evitar, las pautas previas a la instalación, la centralización de la plataforma.

Es la primera publicación donde se considera como reto, el asentar dos capsulas en un ángulo de inclinación de 67 grados y haber pasado un DL de 3.5, con cables expuestos tanto en la capsula superior como inferior y tener los dos equipos con buen aislamiento, la bomba de la capsula superior tiene más de 450 días y produciendo >7500bpd.

Conclusiones

Como hemos señalado en líneas anteriores, las operaciones estándar, en este caso, no garantizaban que la ejecución de la instalación en este pozo, por el grado de complejidad de la sarta, se pudiera llevar a buen término, por ello, se decidió tomar medidas desafiantes para

mitigar fallas en la instalación. Una vez implementadas las medidas, y finalizada la instalación obtenemos que:

- Las estrategias técnicas implementadas permitieron finalizar de manera acertada, sin retrasos operacionales, y sin incidentes de calidad y de seguridad.
- Las medidas eléctricas realizadas durante la instalación, demuestran que, a pesar del arrastre de la sarta, el cable fue protegido eficientemente, por tanto, los controles de topes para los protectores de capsulas e instalación de doble mid joint fueron efectivos.
- Con la implementación de la matriz de velocidades, se estableció una línea base para acordar con el cliente, las velocidades de instalación, las cuales superaron las velocidades conservadoras utilizadas en la región.
- La corrida de la sarta dummy fue fundamental para el espaciado final evitando una maniobra de sacada del cable y adicionalmente elimino la exposición del equipo BEC a las pruebas de presurización y despresurización realizadas al pozo.
- Se identifico el tiempo efectivo de bajada del equipo de esta manera también se identificó los tiempos de actividades que no tenían que ver con el tiempo de velocidad de bajada. Asegurando que esta velocidad sea la más prolija para la bajada del equipo.
- Se logró un trabajo de campo impecable, con un equipo multidisciplinario cohesionado, audaz y dispuesto para asumir retos.

Agradecimientos

Se agradece al grupo Hokchi (Panamerican Energy), por permitir el desarrollo e implementación de nuevas técnicas y tecnologías en pro de la mejora del servicio de instalación e integridad de los equipos.

Se agradece al equipo multidisciplinario conformado por personal de ingeniería, operaciones, taller y otras líneas de servicio de la región por el apoyo, por sus aportes y la especial atención que requería la ejecución de estas tareas inusuales las cuales fueron ejecutadas con calidad y profesionalismo.

Referencias

Software : AutographPC

Plataforma de documentos internos de www.bakerhughes.com

Submersible Pump Handbook 11th edition, Baker Hughes Incorporated 200 W. Stuart Roosa Dr. Claremore, Oklahoma 74017
www.bakerhughes.com/artificial-lift

Nomenclaturas

BEC: Bombeo Electro Centrifugo

DLS: Dog Leg Severity (Angulos severos en la trayectoria)

OD: Outside Diameter (Diametro externo)

POD BASE: Base de la capsula (xover 7" x 3.5")

Sarta Dummy: Sarta de prueba

Trayectoria profesional del autor y coautores:

Autor

Carlos Alberto Cubas Castillo -Especialista en Sistemas Artificiales de Producción con 20 años de experiencia en la industria del Petróleo y Gas, e Ing. En Electrónica. Ha participado en proyectos de investigación que incluyen mejoras en los sistemas de producción, evaluación e implementación de nuevas tecnologías, diseño y optimización de sistema BEC, evaluación de fallas-BEC, instructor nacional e internacional en equipos de superficie BEC. Inicio trayectoria laboral en Baker Hughes (Venezuela), y desde el 2009 labora en México para Baker Hughes desempeñando como Ingeniero líder en aplicaciones para el cliente PAE (Campos Hokchi y Xaxamani).

Coautor

Sarita Sandoval Pérez -Especialista en Sistemas Artificiales de Producción con 21 años de experiencia en la industria del Petróleo y Gas, es Ing. de Petróleo con Maestría en Mecánica. Ha participado en proyectos de investigación que incluyen mejoras en los sistemas de producción, evaluación e implementación de nuevas tecnologías, diseño optimización de sistema BEC y BN, análisis de productividad de pozos, evaluación de fallas-BEC, instructor nacional e internacional. Inicio su trayectoria laboral en PDVSA-INTEVEP en proyectos de producción e investigación de SAP, desde el 2012 labora en México para Baker Hughes y actualmente es Gerente de Ingeniería para

C. CUBAS (BAKER HUGHES), R. JIMÉNEZ (BAKER HUGHES), S. SANDOVAL (BAKER HUGHES), G. SOSA (PAN AMERICAN ENERGY).

México liderando proyectos especiales para Pemex y empresas internacionales (Hokchi, ENI, PERENCO, Fieldwood).

Coautor

Raul Darío Jimenez Morales - Ingeniero electrónico y especialista en telecomunicaciones inalámbricas de la Escuela Colombiana de Carreras Industriales. Actualmente ingeniero de aplicaciones para Baker Hughes Colombia.

Tiene 12 años de experiencia en bombeo electro-centrifugo y ha participado en la implementación de nuevas tecnologías como sistemas booster encapsulados para bombeo electro-centrifugo, preserveced unit, medición en tiempo real durante la instalación, aplicaciones costa afuera duales encapsuladas en altas inclinaciones y bombeo electro-centrifugo con bombas invertidas.

También a prestado sus servicios en áreas de tecnología en el sector financiero durante 10 años. En el sector de los hidrocarburos ha desempeñado funciones en servicio de campo e ingeniería de aplicaciones para proyectos en tierra y costa afuera para empresas como (Ecopetrol, Perenco, Frontera Energy, PAE-Hokchi, CEDCO, Las Quinchas Resources).

Coautor

Gustavo Miguel Sosa - Ingeniero de Petróleos de la Universidad de la Patagonia San Juna Bosco Argentina. Actualmente ingeniero Líder de Producción costa afuera de PAE en Mexico. Tiene 23 años de experiencia en la industria del Petróleo y Gas, para empresas como (PAE, GE, Wood Group ESP).

Ha participado en diseño y selección de equipos electro-centrífugos, confección de programas de intervención a pozos y análisis de pozos a ser intervenidos en conjunto con ingeniería de producción y recuperación secundaria.