

USO DE BARRAS DE BOMBEO CON CENTRALIZADORES MOLDEADOS PARA ALTA TEMPERATURA

**Héctor Moyano, Mario Ottulich, Guillermo Morales
Tecpetrol S.A.**

Abstract

Debido a la particular geomorfología del yacimiento El Tordillo, caracterizado por una meseta discontinua con frecuentes mallines y quebradas, es necesario perforar pozos direccionales en reiteradas ocasiones.

En la actualidad existen 45 pozos perforados por Tecpetrol con dichas características. Posterior a la realización de ensayos con diferentes modelos se adoptó el centralizador mencionado en función del rendimiento, durabilidad y recupero posterior a la inspección no destructiva de la barra.

El presente trabajo desarrolla la optimización del sistema de Bombeo Mecánico mediante la utilización de barras con centralizadores moldeados para alta temperatura. Se describe el proceso de fabricación del centralizador y se muestra el corte estructural y la geometría de los pozos en los cuales se implementaron. Se presenta el diseño de sartas con la utilización de simulador, donde se puede observar el diagrama de cargas laterales, así como también el diseño real de instalación.

Introducción

El yacimiento “El Tordillo” se encuentra ubicado en el flanco norte de la cuenca del Golfo San Jorge. Los reservorios desarrollados dentro de la formaciones El Trébol y Comodoro Rivadavia son areniscas de granulometría variable. Dentro de la formación Mina El Carmen, son tobas y areniscas tobáceas con porosidad de origen primario y secundario. En cuanto al estilo estructural regional, está controlado por una serie de fallas extensionales maestras de rumbo general Este-Oeste e inclinación Sur.

Las Formaciones El Trebol y C. Rivadavia Superior producen elevados caudales de fluidos con presencia de sólidos. En la formación Mina El Carmen se produce petróleo con emanaciones de gas.

El yacimiento cuenta con mas de 550 pozos productores, de los cuales el 77.5% están explotados con Bombeo Mecánico, el 15% con Bombeo Electrosumergible, el 3.5 % con PCP y el resto se distribuyen entre Jet Pump, Gas Lift y Surgencia Natural. De los 45 pozos dirigidos ejecutados por Tecpetrol, 22 de ellos producen con Bombeo Mecánico.

Los motivos por los que, en ciertas ocasiones, se necesitan realizar perforaciones direccionales están vinculados con la geología y la topografía.

Razones Geológicas:

- Permanecer en una posición estructural favorable

- Enlazar objetivos estructurales y estratigráficos
- Optimizar áreas de barrido
- Combinación de las anteriores

Razones topográficas:

- Instalaciones de Superficie
- Ecología y de Medio Ambiente

La extracción de los fluidos con Bombeo Mecánico bajo éstas condiciones geométricas es una tarea que puede llegar a resultar en cuantiosas pérdidas de producción y gastos directos de intervenciones. Debido a esto se llevo adelante la experiencia de observar el comportamiento de distintos modelos de centralizadores arribando a los resultados aquí presentes.

Geometría de pozos tipo

La geometría de pozos direccionales tipo existentes en el yacimiento responden básicamente a la observada en la fig. 1. También se muestra en forma ilustrativa los tramos en los cuales se colocan las varillas con centralizadores debido a que las curvaturas generan cargas laterales en la sarta, dando lugar a contacto directo entre barras y tubing.

El diseño de la sarta a bajar se realiza con la utilización de un simulador, como se indica mas adelante, obteniendo las profundidades en las que se necesitan varillas con centralizadores y las cantidades de éstos por barra.

Experiencias Previas

Los modelos que se utilizaron inicialmente fueron los **Centralizadores Bipartidos (Poliamida)** y los **Centralizadores Vulcanizados**. La experiencia se llevó a cabo entre los años 1996 y 1998 con la bajada de instalación en 3 pozos. La perforación de pozos direccionales ejecutados por Tecpetrol se inició en el año 1999, por lo que estos ensayos se realizaron en pozos con desviaciones de baja relevancia.

Debido al aumento de los caudales de producción y los consecuentes incrementos en las dimensiones de la bombas, se acentuaron los problemas de compresión en la parte inferior de la varillas de $\frac{3}{4}$ " (Sarta API 86). Por ello se decidió utilizar barras con centralizadores en las posiciones mencionadas para disminuir los efectos perjudiciales provocados por el pandeo.

Las profundidades promedio fueron de 2500 m con temperaturas del orden de los 125 °C. En la experiencia se observó que los **centralizadores bipartidos** se desplazaron respecto a su posición original y en la mayoría de los casos se desacoplaron parcial o totalmente de la barra. Se llegó a la conclusión de que la mala performance de este modelo fue debida principalmente a las altas temperaturas de trabajo las cuales provocaron alteraciones en las propiedades físicas del material. Con respecto a los **centralizadores vulcanizados** los resultados observados tampoco fueron favorables. En este caso el deterioro del material se generó debido a la baja resistencia mecánica del modelo, lo cual se acentuó por presencia de fluidos con alto contenido de sólidos y las elevadas temperaturas antes mencionadas.

En ambas experiencias, al disminuirse la acción centralizadora, se produjeron pescas prematuras en las varillas próximas a la bomba, como así también se observaron guías de vástago con excesivos desgaste y pérdidas de tubing debido al rozamiento con varillas y

cuplas. Asimismo se registró el período promedio entre intervenciones de pulling, el cual fue de 2 a 3 meses.

Experiencia con Centralizadores Inyectados

Como se mencionó anteriormente, en el año 1999 Tecpetrol comenzó la perforación de pozos direccionales surgiendo la necesidad de utilización de algún modelo de centralizador con capacidad de trabajo en un medio de temperaturas elevadas. Teniendo en cuenta los malos resultados obtenidos con los modelos ensayados, se recurrió a la utilización de los centralizadores moldeados por inyección de PPS (Sulfuro de Polifenileno). Las características de profundidad y temperatura promedio no difieren de las reinantes en las experiencias previas (2500 m y 125 °C).

En la aplicación también se montaron rotadores de sarta para permitir un desgaste parejo en todas las aletas.

Los datos recopilados corresponden a los 22 pozos direccionales perforados por Tecpetrol con Bombeo Mecánico. En la experiencia se observó que el estado general de los centralizadores posterior a la utilización era muy bueno, observándose desgastes mínimos en relación a los períodos de funcionamiento. No se observaron desplazamientos con respecto a las posiciones originales ni desprendimientos de material. La frecuencia de intervenciones está asociada con las condiciones extractivas de cada pozo pero en general se superó el año de trabajo sin intervenciones asociadas directamente a los efectos perjudiciales de desviación. Mas aún, se registran actualmente pozos con mas de 2,5 años de operación con intervenciones intermedias no asociadas a desgastes cupla-varilla-tubing, conservando los centralizadores un estado aceptable.

En las figuras 2 y 3 se pueden apreciar distintas varillas y centralizadores luego de su utilización antes y después de las inspecciones no destructivas correspondientes.

Propiedades y Características del Uso de Centralizadores

Protección contra el desgaste

Una de las principales funciones de las varillas con centralizadores es la protección contra el rozamiento entre varillas y tubing en: pozos dirigidos, pozos con “dog-legs” y en las zonas de compresión de la sarta, como se ha mencionado previamente.

Este contacto dinámico permanente que se produce bajo condiciones de cargas elevadas genera desgaste prematuro en cuplas, varillas y tubos; provocando pinchaduras en tubings y pescas en sartas.

El centralizador actúa como elemento de “sacrificio”, cuyas propiedades le otorgan una capacidad mayor para trabajar bajo cargas de rozamiento. De esta manera se evita el contacto metal-metal y se logra la absorción de las cargas laterales.

Control de Parafinas

En algunos yacimientos son importantes los problemas de deposición de parafinas sobre las paredes del tubing. La utilización de los centralizadores para bombeo mecánico con rotadores

de varillas es una buena alternativa para controlarlos. En este caso las varillas con centralizadores se colocan en la parte superior de la sarta donde la deposición es crítica. De acuerdo a la carrera del AIB se selecciona la cantidad de centralizadores a utilizar por varilla para asegurar el desplazamiento efectivo de los mismos en toda en todo el tramo de tubing en que se colocan.

Debido a las características y condiciones de extracción de los fluidos, en el yacimiento El Tordillo no se presentan inconvenientes de importancia causados por la deposición de parafinas por lo que la aplicación de los centralizadores para estas condiciones no se practica.

Calidad de Diseño

El diseño de los centralizadores inyectados ha sido realizado, de manera de maximizar el área de contacto con el tubing y simultáneamente, proveer un área de pasaje de fluido importante.

El perfil hidrodinámico del centralizador fue concebido para minimizar las pérdidas de carga y las “turbulencias” en el flujo. Comparativamente la pérdida de carga generada por una unión pin-cupla-pin es equivalente a la pérdida de carga generada por 6 centralizadores inyectados. Además la pérdida de carga es de dos a cuatro veces menor que la provocada por otros centralizadores que se arman sobre la varilla. (Fig. 4).

Otro punto importante es la gran resistencia del centralizador a desplazarse sobre la varilla. Por ser monopieza y directamente inyectado sobre el cuerpo de la varilla, se obtiene una adherencia elevada (Fig. 5) traducida en una gran fuerza de “agarre” entre el centralizador y la varilla que impide el desplazamiento relativo entre ambos. Gracias a ésta característica se eliminan un gran número de fallas debido al partido o desarme de los centralizadores, evitando costosas pérdidas por taponamiento de líneas de conducción o problemas en las bombas.

Recomendaciones del fabricante para el uso

El fabricante recomienda las condiciones de implementación mostradas en la tabla 1.

Propiedades mecánicas del PPS

En la tabla 2 se presentan las propiedades mecánicas del Sulfuro de Polifenileno (PPS) dadas por el fabricante.

Proceso de Fabricación (Moldeo por Inyección)

El proceso de fabricación es sencillo. Se recibe la varilla y se la posiciona en la inyectora, dentro de una matriz (fig. 6). Se introducen dos varillas por ciclo, siendo el handling para posicionamiento dentro de la matriz controlado por un sistema automatizado de PLC. La matriz se separa en mitades, pasando las barras en forma longitudinal.

La materia prima del centralizador es colocada en un recipiente desde donde se dirige hacia la tolva y de ahí hacia el calentador. Aquí la temperatura de la pasta es de aproximadamente 220 °C. Luego pasa a través de un tornillo transportador y es inyectado directamente en la matriz a una presión de 70-75 Kg/cm².

Para mejorar el proceso de inyección, la matriz es mantenida a una temperatura de 90°C, mediante la circulación de aceite.

Al terminar el ciclo de inyección el plástico se encuentra solidificado. Luego se enfría al aire libre logrando, debido a la contracción térmica, una alta adhesión a la varilla. A continuación se procede con el estibado.

Ensayos Mecánicos y Comparaciones

En la tabla 3 se muestran los resultados de la evaluación de desgaste y adherencia de centralizadores de Goma, Zytel, Poliamida y PPS. Aquí se puede apreciar el alto valor de la tensión de despegue del modelo inyectado.

Diseño de Sarta con Simulador

Para la selección del diseño a bajar en los pozos direccionales se utiliza un simulador para bombeo mecánico de amplia difusión en el mercado. Inicialmente se cargan los Datos de Superficie (fig 7) en donde se seleccionan las características de la unidad de bombeo a instalar y el régimen de funcionamiento deseado. A continuación se introducen los Datos de la Instalación de Subsuperficie donde se incluyen entre otras variables: Profundidad de la bomba, Sarta API seleccionada, Diámetro de Pistón y de Tubing, y Tipo de Varillas. Posteriormente se completan los Datos Adicionales indicados (coeficientes dinámicos, factores de fricción, etc).

A continuación se presenta la pantalla de entrada de datos provenientes del Perfil de Desviación (fig 8). Los valores ingresados son los correspondientes a la Profundidad Medida, Inclinación respecto a la Vertical y el Azimuth. En la parte derecha de la figura se presenta la trayectoria en 3D obtenida a partir de los datos previamente ingresados. Se muestra en la figura los valores del tramo correspondiente a la curvatura superior, en donde se puede apreciar el KOP y la sección de Build Up previa al Slant.

Una vez ingresados los valores de la trayectoria completa del pozo, se ejecuta la simulación. En la figura 9 observamos un esquema de la sarta seleccionada y el Diagrama de Cargas Laterales – Profundidad arrojado por el soft. Aquí podemos apreciar cualitativa y cuantitativamente la magnitud de los esfuerzos laterales a los que se somete cada sección de la sarta. En el ejemplo se observa que a los 2488 ft medidos desde boca de pozo las solicitaciones axiales máximas y mínimas alcanzan las 28875 lb y 3962 lb respectivamente; y las cargas laterales son de 296 lb cada 25 ft. Este último valor es la máxima sollicitación lateral acusada en el ejemplo. También se puede apreciar que en este caso los esfuerzos laterales se inician junto con los comienzos de la desviación y se extienden hasta el extremo inferior del pozo.

En la figura 10 se muestra la pantalla en la que se indican numéricamente los valores de las cargas laterales y la cantidad de centralizadores por varilla (25 ft) que recomienda el simulador para las profundidades correspondientes al tramo mostrado anteriormente. El programa realiza el cálculo considerando por default una carga lateral por varilla máxima de 50 lb para las cuplas y de 40 lb para los centralizadores. Como se observa en el ejemplo, es común que se pidan cantidades superiores a 5 llegando en ocasiones, para desviaciones severas, a superarse los 12 centralizadores por varilla solicitados.

Diseño de Sarta Real a Bajar

Por lo anterior se decidió la adquisición de varillas con 3 y 5 centralizadores para ensayar su evolución. Los diseños reales bajados se correspondían proporcionalmente con los valores arrojados por el simulador. Debido a que el estado general de los centralizadores presentaba desgastes mínimos en relación con los períodos de funcionamiento se concluyó que el criterio adoptado es acertado y se continuaría con esa práctica. El simulador permite variar la carga máxima lateral sobre el centralizador por lo que se verificó que los diseños adoptados correspondían con los propuestos por el soft para cargas máximas de 70-80 lb por varilla.

Conclusiones

- Las experiencias previas con los modelos de centralizadores Bipartidos (poliamida) y Vulcanizados no arrojaron resultados positivos en pozos promedios de 2500 m de profundidad y 125 °C de temperatura de fondo.
- En dicha experiencia el período de intervención de pulling por problemas en los centralizadores fue de 2 a 3 meses en los 3 pozos estudiados.
- En los ensayos con los centralizadores moldeados por inyección de PPS (Sulfuro de Polifenileno) se obtuvieron resultados favorables en condiciones de profundidad y temperatura similares a las mencionadas. Asimismo se equiparon dichos pozos con rotadores de sarta
- Los estudios se llevaron a cabo en 22 pozos. Se superó el año de funcionamiento sin intervenciones asociadas directamente a los centralizadores, y se registran actualmente pozos con mas de 2,5 años de operación con intervenciones intermedias no asociadas a desgastes cupla-varilla-tubing, conservando los centralizadores un estado aceptable.
- El diseño de sarta real a bajar (varillas con 3 y 5 centralizadores) obtenido a partir del propuesto por simulador se comportó adecuadamente. El diseño real se verificó que se corresponde con el solicitado por el soft para cargas laterales de 70-80 lbs teniendo en cuenta que el valor recomendado es de 40 lb por varilla.

TABLA N°1 – RECOMENDACIONES DEL FABRICANTE

Material	Color	Temperatura continua de servicio	Uso con arenas	Ambientes dulces	Ambientes Ácidos	Ambientes acuosos	Bacterias
PPS	Blanco	200 °C	Si	Si	Si	Si	Si

TABLA N°2 – PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PPS

Material	Coef. Fricción dinámico	Coef. desgaste	Resist. tracción	Fibra de vidrio	Fuerza para desplazar el centralizador sobre la varilla
PPS	0,23	10 mg/ciclo	115 MPa	30%	5.100 kg 20 °C 4.700 kg 100 °C 1.600 kg 200 °C

TABLA N°3 – PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PPS

Material	Módulo de Elasticidad a 60°C (agua+hidrocarburo) MPa.	Coef. de fricción	Ritmo de desgaste gr/30hs	Tensión de despegue Kg/cm2
Zytel	285	0.20	1.6	8.58
Poliamida	-----	0.32	3.2	6.7-9.6
PPS	> 5000	0.29	2.8	38.9
Goma	-----	0.52	8.0	3.14

Fuente: Ensayos realizados por INTEMA en base a requerimiento de SIDERCA S.A. – Varillas de Bombeo

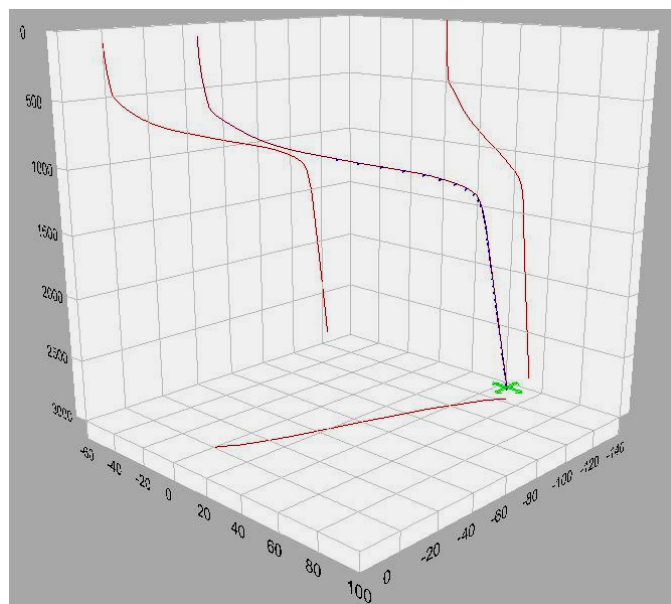


Fig. 1 - TRAYECTORIA DE POZOS DIRECCIONALES TIPO.

Se observa la trayectoria en 3D y sus proyecciones sobre los planos laterales y de planta. También se presenta las posiciones de los centralizadores para esta geometría.



Fig. 2 - ESTADO DE CENTRALIZADORES

Varillas con centralizadores en locación posterior al sacado de instalación. Se observa un desgaste gradual con un estado general aceptable.



Fig. 3 - ESTADO DE CENTRALIZADORES
 Varillas con centralizadores en playa de almacen posterior a la inspección no destructiva.

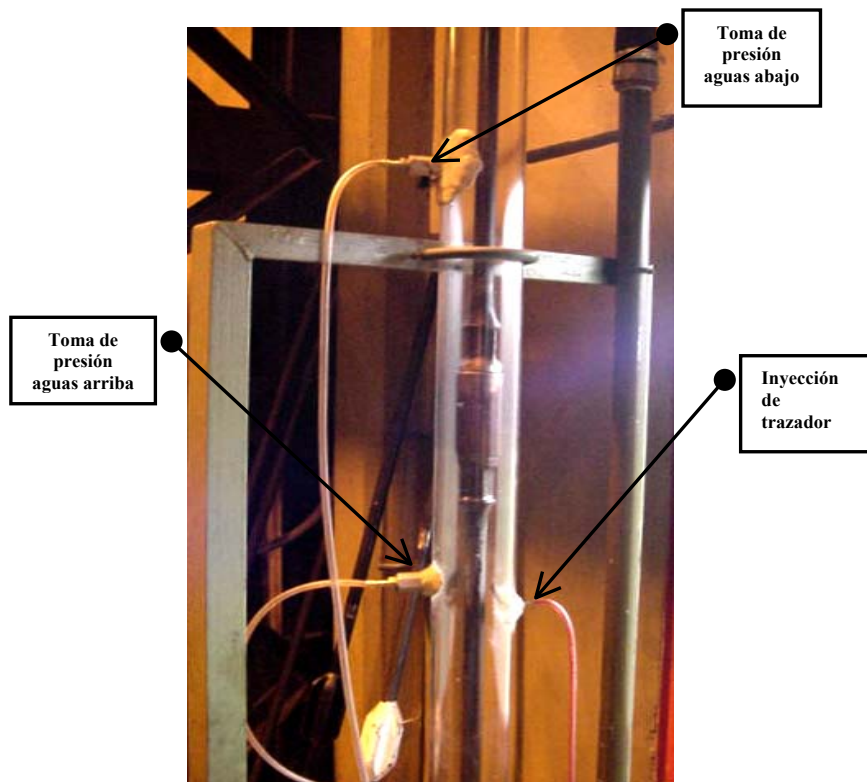


Fig. 4 - DISPOSITIVO PARA ENSAYOS DE FLUJO
 Mediante el dispositivo mostrado se realizaron los ensayos de Pérdidas de Carga y Líneas de Flujo para optimizar el Perfil Hidrodinámico del centralizador.



Fig. 5 - ENSAYO DE ADHERENCIA

Se realizó un ensayo de adherencia en el que se registró una carga máxima de 7300 Kg a 20 °C. Se muestra el centralizador y la varilla posterior a la prueba.

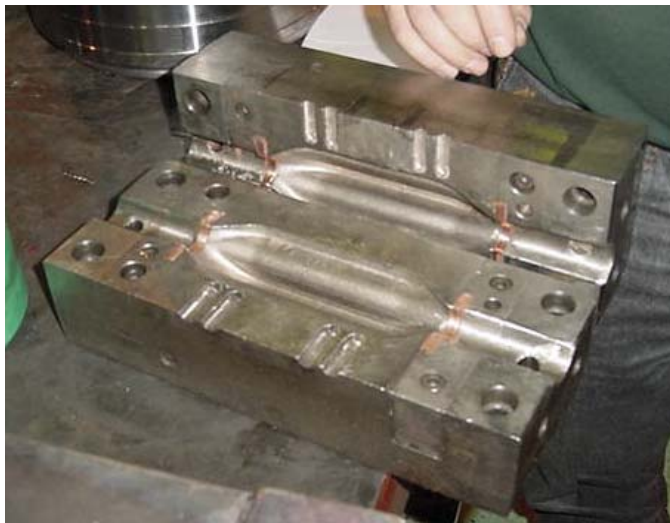


Fig. 6 - PROCESO DE FABRICACIÓN - MATRIZ

Se observa la matriz utilizada para el moldeo. Se pueden apreciar las cavidades laterales para el inyectado del material y los anillos de cobre que actúan de sello y evita el marcado de la varilla.

Deviated Hole SROD\$\$ (Prediction and Design)

File View Options Version Databases Survey Run Help Programs Number of runs left: 477

Surface Data

Well : S-2185
Analyst : TECPETROL
Pumping Unit Id : LM912-365-168
Motor Id : GE100HP
Pumping Speed : 7
C'Bal Option (0,1) : 0
Crank Hole : 1 - 168. (in)
Rotation (1,-1) : 1

Additional Data

Upstroke Damping Factor : .05
Downstroke Damping Factor : .15
Cycle Key : 0
Pump Load Coefficient : 5
Stuffing Box Friction (lbs) : 100
Pump Load Adjustment (lbs) : 0
Buoyant Weight Adjustment (lbs) : 0
Speed Var Key (0,1) : 1
Report Option (0,1,2,3) : 2
Electric Cost (cents/kwh) : 5
Pump Friction (lbs) : 200

Downhole Data

Depth (ft) : 7940
Taper : 0
Pump Diameter (in) : 2.25
Pump Fillage : 1 - Complete Liquid Fillage
Tubing Size Key : 3 - 2 7/8 inch tbg.
Rod Loading Key : 9 - Metalmeccanica UHS
Pump Intake Pressure (psi) : 400
Tubinghead Pressure (psi) : 140
Tubing Gradient (psi/ft) : .433

Help

Enter or select an ID that is in either the Nabla or user pumping unit database.

Fig. 7 - DATOS GENERALES

Se cargan inicialmente los Datos de Superficie, Instalación de Subsuperficie (profundidad, diámetro de bomba, etc) y Datos Adicionales (coeficientes dinámicos, factores de fricción, etc).

Deviation Survey Data Entry Screen

File Edit View Dogleg Survey Auto Save Run Help

Well Name: S-2185
Date: 21-03-2001

Measured Depth (ft)	Inclination from Vertical (dg)	Azimuth from North (dg)
1312.30	0	0
1640.40	0	0
1968.50	0	0
2296.60	0	0
2460.60	3.60	312.10
2490.20	3.80	322.60
2552.50	4.90	322.60
2614.80	5.20	334.00
2677.20	5.60	340.80
2739.50	6.30	347.80
2801.80	7.10	350.00
2864.20	8.00	350.80
2926.50	8.60	348.10
2988.80	9.30	345.80
3051.20	10.40	345.20
3113.50	11.30	345.70

Entry : 0

3D Visualization

Azimuth: 261
Up/Down: 13

Fig. 8 - DATOS DEL PERFIL DE DESVIACIÓN

Luego de la entrada de datos provenientes del perfil de desviación el simulador presenta la visualización en 3D de la trayectoria del pozo.

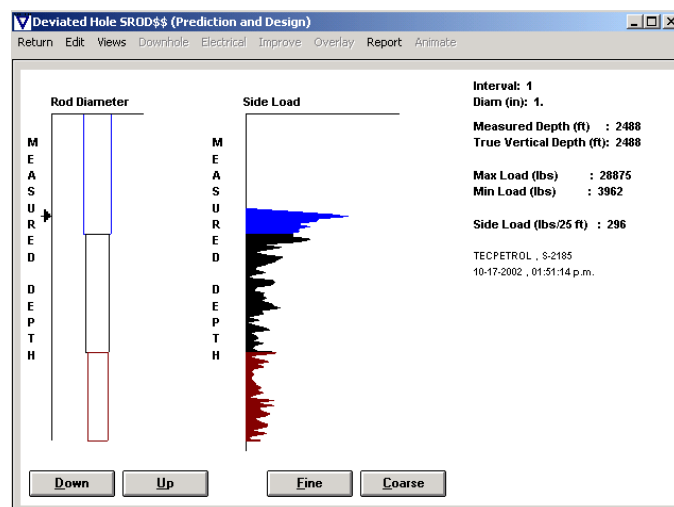


Fig. 9 - DIAGRAMA DE CARGAS LATERALES

Los tramos mas solicitados por cargas laterales se encuentran próximos a los 2500 m, profundidad en la que el grado de severidad de la desviación es máximo.

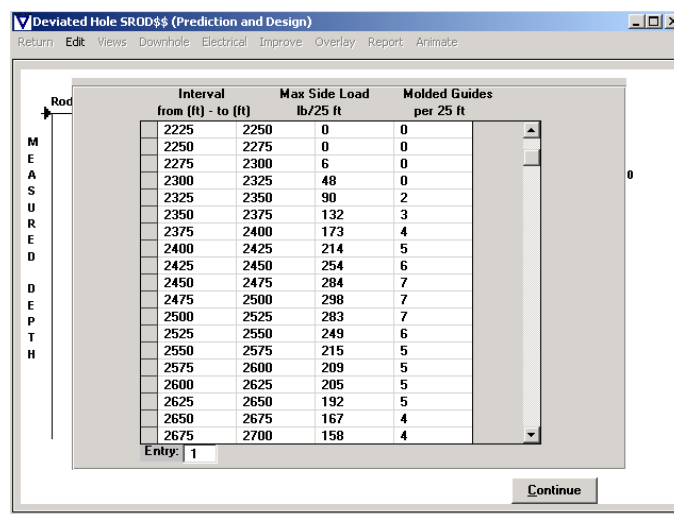


Fig. 10 - DISEÑO PROPUESTO POR EL SIMULADOR

El simulador propone la cantidad de centralizadores por varilla teniendo en cuenta las cargas laterales máximas a las que pueden ser solicitados.