

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE INSERTO
ELECTRÓNICO PARA CONTROLAR, PROBAR Y DIAGNOSTICAR FALLOS EN
EL MOTOR GIRATORIO ORIENTABLE GEOPILLOT UTILIZADO EN LA
PERFORACIÓN DE POZOS PETROLEROS DE LA EMPRESA HALLIBURTON

LINETH ELIANA VARGAS LEÓN

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ, COLOMBIA
2017

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE INSERTO
ELECTRÓNICO PARA CONTROLAR, PROBAR Y DIAGNOSTICAR FALLOS EN
EL MOTOR GIRATORIO ORIENTABLE GEOPILOT UTILIZADO EN LA
PERFORACIÓN DE POZOS PETROLEROS DE LA EMPRESA HALLIBURTON

Proyecto de Grado en la modalidad de Monografía

Lineth Eliana Vargas León

TUTORES:

ING. OSCAR FERNANDO PEREZ

P.D.C, Halliburton Colombia Sperry Drilling

ING. FABIÁN E. PÉREZ GORDILLO

Docente Universidad Santo Tomás

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ, COLOMBIA

2017

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mi familia, a mis amigas y amigos porque han estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar.

A mamá y papá, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo incondicional en todo momento y un ejemplo a seguir. También a mi hermana, quien ha sido mi amiga incondicional y compañera de vida. Es gracias a ellos que he llegado hasta este punto.

A mis profesores quienes me enseñaron muchas cosas a lo largo de mi carrera y que jugaron un papel fundamental en el proceso de mi desarrollo profesional.

Al equipo de Sperry Drilling Services de la empresa Halliburton Colombia, base Cota, quienes depositaron su entera confianza en mí, sin dudar ni un solo momento de mis capacidades y aportes.

Gracias a todas aquellas personas que directa o indirectamente fueron claves para la culminación de mi proyecto de grado y me colaboraron en el desarrollo exitoso de mi pasantía.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
3. JUSTIFICACIÓN	9
4. OBJETIVOS	10
4.1 Objetivo General.....	10
4.2 Objetivos Específicos.....	10
5. ANTECEDENTES	11
6. VISIÓN HUMANISTA DEL PROYECTO	12
7. FACTIBILIDAD	15
7.1 Recursos Humanos:	15
7.2 Recursos Técnicos:	16
8. MARCO TEÓRICO	17
8.1 El petróleo:.....	17
8.2 Etapas Principales en la Producción de Hidrocarburos:	17
9. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO	43
9.1 Identificación y selección de componentes:	43
9.2 Diseño del prototipo:	44
9.3 Implementación del prototipo:	47
9.4 Cableado y conexiones del prototipo:	48
9.5 Fuente de poder del prototipo:	51
10. RESULTADOS Y PRUEBAS	54
10.1 Pruebas Específicas de la herramienta:	54
10.2 Pruebas realizadas al Prototipo:	61
11. CONCLUSIONES	78
12. BIBLIOGRAFÍA	81
13. ANEXOS	83
13.1 Diseño Final	83
13.2 Diagrama de conexiones general	84
13.3 Diagrama conexión con Geak.....	85

13.4	Fotos Prototipo final	86
13.5	Glosario.....	87
13.6	Manual de Usuario.....	89

1. INTRODUCCIÓN

Halliburton es uno de los mayores proveedores de servicios y soluciones a nivel mundial en la industria del Petróleo y Gas, cuenta con dos sedes principales en la ciudad de Houston, Texas y en Dubái, en los Emiratos Árabes Unidos, tiene presencia en más de 80 países con más de 140 nacionalidades diferentes generando más de 80.000 empleos en todo el mundo [20].

La compañía ofrece una división de servicios en dos partes: Completamiento y Producción (Completion & Production) y Perforación y Evaluación (Drilling & Evaluation). Hoy en día, Halliburton ofrece la más amplia gama del mundo de productos, servicios y soluciones integradas para la exploración de petróleo, gas, desarrollo y producción de pozos [20].

Actualmente está constituida por 13 líneas de servicio de productos (PSL), entre éstas Sperry Drilling encargada de la Perforación Direccional, generando servicios integrados e implementando estrategias para el desarrollo de técnicas de perforación avanzadas, logrando llegar hasta yacimientos de crudo que cada vez son más difíciles de alcanzar de forma convencional.

El proceso de perforación de pozos es bastante complejo, requiere de herramientas especializadas, duraderas y precisas. Además demanda: estudios geológicos previos a la perforación del terreno, un completo análisis de sus características y componentes, incluyendo el tipo de sustancias presentes bajo la superficie terrestre entre muchos otros factores a tener en cuenta.

Dentro de las técnicas y tecnologías de exploración petrolera la más efectiva para encontrar un yacimiento o pozo petrolero es la exploración, la cual se realiza a través de perforación directa en campo. La Perforación Rotatoria con circulación de fluido de perforación es el tipo de perforación más empleada [1], que en ocasiones utiliza una forma de ensamblaje de fondo de hueco compuesta por una broca con aleaciones de carbono y diamantes, un motor de perforación, una serie de herramientas de diversos tamaños, que poseen múltiples sensores y giran conectadas a un potente motor eléctrico en superficie y a la torre de perforación.

Dependiendo del tipo de suelo y las formaciones rocosas se utilizan diferentes herramientas con diferentes funcionalidades, al igual que diferentes sensores para medir la resistividad, la radiación, la presión, la vibración, la porosidad, la permeabilidad y la densidad del terreno. Igualmente se emplean también diversos tipos de motores de perforación que utilizan un “lodo especial” bombeado desde

superficie, rompen la roca, extraen los residuos o recortes del fondo y al mismo tiempo el lodo limpia y lubrica la broca.

Algunas de las herramientas cuentan con complejos circuitos electrónicos que deben trabajar durante largos intervalos de tiempo. Estos requieren para su funcionamiento baterías de litio con cargas entre 20Ah y 47Ah dependiendo del tipo de herramienta usada. Estas trabajan en conjunto para lograr cumplir con su objetivo: Perforar, medir, registrar y almacenar información.

Durante el proceso de perforación las herramientas sufren desgaste y en ocasiones daños debido a las características propias de las rocas, que pueden inducir vibraciones y alta temperatura al interior del hueco. La invasión de lodo dentro de la herramienta, las fallas e incluso pega y pérdida de herramientas genera gastos considerables para la compañía incluyendo multas por demoras y tiempo no productivo por parte del cliente.

Como solución al problema se realizará el diseño y la implementación del Prototipo de Inserto Electrónico del Geopilot, una interfaz capaz de simular la parte electrónica del sistema giratorio orientable Geopilot utilizado en la perforación de pozos petroleros.

El prototipo es una herramienta construida con el objetivo de probar y diagnosticar fallos de algunas tarjetas electrónicas y sensores involucrados. Brinda una sencilla y eficaz manera de probar varias partes de la herramienta antes y después de ser ensamblada, contribuye con el mejoramiento de la calidad de vida de los técnicos, reduciendo parte del tiempo de reparación y costos de mantenimiento. Además garantiza la confiabilidad de los componentes de las herramientas que son reparadas y armadas en el taller para ser usadas en campo.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, se presenta un inconveniente con la herramienta Geopilot, un tipo de motor especial, integrado con un sistema giratorio orientable que posee ventajas sobre el motor comúnmente usado. Este sistema sirve para mejorar el rendimiento en la perforación, mejorar la calidad y acabado del hueco.

Debido a la inexistencia en el taller de un inserto electrónico (las tarjetas encargadas de la inteligencia, que interactúan con los sensores de la herramienta) destinado solo para la realización de pruebas de funcionamiento de actuadores, sensores y las tarjetas que integran el inserto en sí. Por tal motivo, los ingenieros y técnicos deben desarmar un Geopilot funcional, luego retirar su inserto electrónico y con este, probar y reparar los periféricos que trabajan en conjunto.

Por supuesto el desgaste y la pérdida de tiempo en el desarme, prueba y rearme de la herramienta son notorios y repercute en el tiempo de verificación y reparación de las demás herramientas, que llegan a diario al taller y salen listas para ser usados de nuevo.

Adicionalmente es importante mencionar que para cada prueba, el inserto (tarjetas electrónicas) y los respectivos sensores requieren del uso de baterías de litio como fuente de poder. Es necesario aclarar que debido a la naturaleza del litio, las baterías no se pueden reutilizar una vez agotada su carga, así que cada vez que son usadas son almacenadas en contenedores certificados con todas las precauciones y documentación reglamentaria, antes de ser exportadas en cantidades considerables para su disposición final.

3. JUSTIFICACIÓN

Debido al elevado costo de cada herramienta y de sus componentes, junto con su importación y el tiempo que toma ser reemplazada, surge la necesidad de realizar un prototipo electrónico, que facilite las labores de mantenimiento y pruebas de las herramientas que ya han sido utilizadas en las labores de perforación.

Se busca además suplir el uso de las baterías de litio, que se emplean para las pruebas dentro del taller. Es necesario tener en cuenta que en la labor de exploración y perforación en campo, esta fuente de poder es necesaria debido a que las herramientas trabajan aisladamente bajo la superficie terrestre.

El prototipo a construir puede ser visto como un método, eficiente, práctico y de reutilización, en donde se utilizan las bases y los conceptos de la electrónica moderna para recrear el inserto electrónico del Geopilot, encargado de interactuar con los sensores y actuadores del Geopilot y establecer la comunicación con la herramienta MWD (Measure while Drilling o medición durante la perforación), encargada de enviar la información a superficie.

El prototipo tiene como objetivo disminuir el tiempo de diagnóstico, reparación de los sensores, actuadores y periféricos en general del inserto y se mejore la calidad de vida del personal encargado del mantenimiento.

De esta forma se puede contribuir con el desarrollo de la empresa, el desarrollo profesional, involucrando cada vez más la electrónica con la industria petrolera y haciendo que los procesos sean más eficientes, dejando de lado los procesos repetitivos e aprovechando el tiempo ganado para seguir innovando y enfocar el trabajo hacia la productividad.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un prototipo de Inserto Electrónico para el motor giratorio orientable Geopilot con el fin de realizar pruebas y diagnóstico de fallos de las tarjetas electrónicas y sensores de las herramientas empleadas en la Perforación de Pozos Petroleros donde presta servicios la empresa Halliburton.

4.2 Objetivos Específicos

Recopilar la información del funcionamiento del motor giratorio orientable Geopilot y de las tarjetas electrónicas de las herramientas empleadas en la Perforación de Pozos Petroleros donde presta servicios de la Empresa Halliburton.

Identificar las pruebas y diagnóstico que se deben realizar en las actividades de reparación de las tarjetas electrónicas de las herramientas empleadas en la Perforación de Pozos Petroleros de la Empresa Halliburton.

Diseñar el prototipo con las tarjetas electrónicas del Inserto Electrónico para el motor Geopilot, que incluya alimentación fija y un circuito que elimine los picos de corriente producidos por la estática.

Acondicionar el Prototipo del Inserto Electrónico de manera que permita su posterior conexión con los actuadores involucrados en el funcionamiento completo del Geopilot de la empresa Halliburton.

Realizar pruebas de funcionamiento al prototipo de inserto Electrónico para el motor giratorio orientable Geopilot.

5. ANTECEDENTES

Antes de la llegada del Geopilot a Colombia en el año 2008, se empleaban solo motores de perforación direccional; motores con una ligera inclinación en la punta que perforan la corteza terrestre con una broca lubricada con lodo. A pesar de sus ventajas: la capacidad de perforar formaciones geológicas complejas, incrementar la eficiencia de la perforación y la optimización de energía debido a la aplicación consistente de las revoluciones por minuto (rpm) sobre la broca, la calidad del hueco y su terminación no es la de mejor calidad donde se requiere trayectorias suaves y uniformes.

A partir de esto, un equipo de ingenieros y técnicos desarrollaron y construyeron el primer Geopilot, una herramienta moderna que reúne complejos conocimientos de física, de mecánica y de electrónica para mejorar la calidad de la perforación, para así darle una terminación más suave, fina y consistente al hueco. Además permitiendo que el Geopilot se acople con su antecesor el motor direccional para obtener los mejores resultados.

Con respecto al prototipo en sí, la idea surgió hace aproximadamente dos años por parte de los técnicos, al notar la necesidad de tener un prototipo disponible para pruebas.

Hace un año se realizó la implementación y adecuación del sensor RPM, utilizando un motor reductor y el desarrollo de una estructura en polipropileno. Se automatizó el proceso, facilitando su uso en pruebas que antes se hacían manualmente.

En los últimos meses, se han reunido partes del inserto electrónico como: Las tarjetas y conectores especiales, la caja de armado para el prototipo e incluso la fuente de voltaje. De esta forma se les dará un segundo uso a todos estos implementos, empleándolos en múltiples pruebas para identificación y solución de problemas.

6. VISIÓN HUMANISTA DEL PROYECTO

A lo largo del desarrollo del proyecto, se buscó dar solución a una necesidad específica de la empresa, dicha solución es el resultado de la observación, el análisis, el trabajo en equipo y la búsqueda de la mejora continua en los procesos de mantenimiento y reparación de la herramienta que involucran totalmente al trabajador y su bienestar.

Teniendo en cuenta, la Misión de la Universidad Santo Tomás inspirada en el pensamiento de Santo Tomás de Aquino, con la promoción de la formación integral mediante el desarrollo profesional [16] y la incursión en nuevas áreas del conocimiento, cada individuo es capaz de dar solución a las necesidades que se le presenten en su día a día poniendo en práctica el conocimiento adquirido y los valores inculcados.

Ahora bien, haciendo uso del ingenio, el trabajo en equipo y la creatividad, se encontró solución a una necesidad en particular de la empresa; desarrollando un prototipo que traerá consigo muchas mejoras en el área de mantenimiento y reparación del Geopilot, en cuanto a reducción de tiempo, desgaste innecesario de los técnicos, mejoras en la eficiencia operacional y productiva de la empresa.

Desde una perspectiva más amplia, se contribuye así a la detección más temprana de fallas de la parte electrónica de esta herramienta y que además se usará como banco de pruebas para las partes y sensores relacionadas en su funcionamiento.

Si bien es importante que el proyecto responda a una necesidad, es esencial mencionar la estrecha relación que el prototipo desarrollado tiene con el empleado, ya que de alguna medida se garantiza el bienestar laboral con la reducción del tiempo de mantenimiento y se brindan más facilidades.

Se debe tener en cuenta que no solo el técnico involucrado en la labor de mantenimiento es quien se beneficia, sino también el personal de pozo; los ingenieros de campo que utilizan esta herramienta, todo el equipo de trabajo y soporte en oficinas, aquellos que representan la imagen de la compañía frente a las diferentes operadoras Nacionales e Internacionales. Por supuesto también el cliente, con la buena calidad de los productos y servicios prestados, acorde con la propuesta de valor de la empresa.

Es primordial que siempre se realice un trabajo de la mejor forma posible, manteniendo el equilibrio entre el cuerpo y el alma, fundamentales para alcanzar y desarrollar al máximo las capacidades humanas. Además, teniendo plena conciencia de lo que se hace, sintiendo pertenencia por la empresa, trabajando en equipo y llevando siempre presente los valores, la misión y la propuesta de valor que son el distintivo de Halliburton.

El desarrollo de la persona en cualquier ambiente social y laboral deben realizarse por autodeterminación, es decir por iniciativa propia. El individuo debe hacerse responsable de sus acciones y debe tener conciencia del impacto positivo o negativo de estas sobre el bienestar de la comunidad.

El humanismo de Santo Tomás que ubica en el centro de la formación a la persona, también habla sobre las capacidades de comunicación y desarrollo de sí misma, que se relacionan constantemente con las ideas, la imaginación y la creatividad, cualidades propias de los ingenieros a la hora de buscar solución a algún problema.

Santo Tomás decía que “La ciencia es un hábito que se aprende ejercitando la demostración” [17]. El hecho de aplicar todos los conocimientos tanto científicos y humanísticos adquiridos en la institución a lo largo de la carrera, en una empresa que pertenece a un área totalmente diferente a la Electrónica, demuestra la importancia de poseer la capacidad de desenvolverse en nuevos entornos, desconocidos generalmente por el ingeniero electrónico y tener la capacidad de actuar e intervenir en áreas interdisciplinarias, como un profesional integral y competente, dispuesto a aportar su conocimientos en un intercambio mutuo de saberes.

Con la Globalización, la modernización de las cosas, el desarrollo, la automatización y el auge constante de nuevas tecnologías, se intenta que cada individuo utilice todas estas herramientas para desarrollar sus capacidades al máximo y que con estas acciones contribuya con el desarrollo de la humanidad.

Ingresar a una empresa, representa un cambio en la vida de la persona; se requiere adquirir o poseer ciertas competencias, estar capacitado para desarrollar ciertas tareas específicas, incluso dominar una segunda lengua. Estos aspectos, lo ayudan a desarrollarse y mantenerse actualizado, le brinda oportunidades de aprendizaje y genera cierto nivel de bienestar para él y para su familia retribuido con un buen salario.

Por otra parte, dejando de lado el beneficio económico, se observa como el capital humano es sumamente importante, el ambiente laboral, las condiciones en las que se trabaja, el EPP (Equipo de Protección personal) y las herramientas son los de mejor calidad posible, garantizando así la seguridad y el bienestar del empleado.

En Halliburton se entrelazan amistades sólidas, se trabaja en equipo y así la eficiencia operacional también mejora. Al trabajar como en familia, el bienestar, los derechos y deberes son garantizados a través de líneas de soporte como el de HSE (Health, Safety & Environment) con la política ZERO (garantizar dentro de las labores un total de cero accidentes) se busca evitar siempre el acontecimiento de alguna fatalidad y se resalta cada semana la importancia de la seguridad industrial en las reuniones Zero. Mediante el programa de STOP se previenen y reducen los índices de accidentalidad dentro y fuera de la empresa tanto en el taller como en campo.

El proyecto cumple con la propuesta de valor de la empresa, sigue su razón de ser como un elemento que le entrega un beneficio indirectamente al cliente y retribuye el trabajo y esfuerzo de sus empleados.

7. FACTIBILIDAD

El proyecto se realizó contando con el total apoyo de la empresa Halliburton para su implementación, debido a la necesidad que se presentaba anteriormente. La Empresa se encargó de costear todos los elementos, componentes y materiales requeridos en la construcción del prototipo, permitiendo desarrollar el proyecto sin problemas económicos.

Además, se cuenta con el apoyo de los técnicos especialistas en el Geopilot, quienes poseen una amplia experiencia en el mantenimiento y reparación de ésta herramienta. Igualmente se contó con la colaboración del tutor de la empresa, quien posee amplios conocimientos en la industria de los hidrocarburos.

Por parte de la institución se contó con la colaboración del tutor docente de la facultad, quien llevó un permanente acompañamiento durante el desarrollo del proyecto.

7.1 Recursos Humanos:

Por parte de la Empresa Halliburton:

Gerente de Taller, Bodega Sperry Cota:

✓ César Rodríguez – Manager Repair & Maintenance Base Cota

Director/Jefe de Proyecto de la empresa:

✓ Javier Morantes – Field Service Quality Coordinator, Sr.

Supervisor/Coordinador Reparación y Mantenimiento en Geopilot:

✓ Camilo Mogollón - SP07G-ESG-Mechanical/Electrical Geopilot Tech III

Instructores/Técnicos/Ingenieros capacitados en Geopilot:

✓ Jaime Eduardo Galvis -SP07G-ESG-Mechanical/Electrical Geopilot Tech III

✓ Jimmy Camilo Castiblanco - SP07G-ESG-Mechanical/ Electrical Geopilot Tech III

✓ Oscar Chon- Downhole technical mechanical II

✓ Jeffer Betancourt- Downhole technical mechanical II

✓ Roosbell Romero- Downhole technical mechanical II

Tutor de la empresa:

✓ Oscar Fernando Perez – PDC, Performance Development Coordinator

Por parte de la Universidad Santo Tomás:

Tutor de la Institución:

✓ Ing. Fabián E. Pérez Gordillo-Docente

Ejecutora:

✓ Lineth Eliana Vargas León

Estudiante de Ingeniería Electrónica en la Universidad Santo Tomas.

Intern-Co-op/Practical Halliburton - Sperry Drilling Base Cota

7.2 Recursos Técnicos:

Empresariales:

- ✓ Recursos bibliográficos de Halliburton.
- ✓ Recursos cybergráficos de la web de Halliburton.
- ✓ Base de datos de la empresa.
- ✓ Tutoría y acompañamiento por parte de los Técnicos especializados en la herramienta.

Software

- ✓ Bases de datos de la empresa, SAP, GP Test e Insite Studio
- ✓ Microsoft Office.
- ✓ Acceso a Internet

Hardware

- Tarjetas Electrónicas de la empresa
 - ✓ Board Interface
 - ✓ Board D/C Clever MPT
 - ✓ Charge Control Board
 - ✓ PCB Assembly-Tested Low Temp. Controller Module
- Conectores especiales de la Empresa
 - ✓ Wiring Harness, Lower Interface
 - ✓ Wiring Harness, Battery Interface
 - ✓ Wiring Harness, Clever Cap Interconnect
 - ✓ WRG HARN,GP CHARGE CTRL POST MT
- Fuente de voltaje fija y todos los elementos electrónicos necesarios
- Sensores y actuadores, periféricos de prueba
- Caja para el armado del Prototipo
- Herramientas básicas (Multímetro, pinzas, cortafríos, destornilladores, llaves Bristol)
- Soportes de Tarjetas metálicos a medida
- Cables, conectores, interruptores y termoencogible.
- Kit de Soldadura: Estaño, Pistola de Soldar o cautín, pistola de calor

8. MARCO TEÓRICO

8.1 El petróleo:

Son compuestos químicos formados por Carbono e Hidrógeno, de ahí el nombre de Hidrocarburos, que están asociados en su formación y se encuentran en las grandes profundidades de la tierra. El petróleo se encuentra básicamente en cuencas o campos sedimentarios, donde se desarrollan las actividades de exploración en tierra y mar. El hidrocarburo puede estar en estado líquido, al que también se le dice crudo, o en estado gaseoso, el cual se conoce como gas natural.

El crudo, una vez se encuentra y se descubre es explotado y refinado, produciendo así diferentes sub-productos: Gas Oil, Fuel Oil y diferentes solventes para la industria.

Los derivados del petróleo no solo mueven automóviles y maquinarias, también son utilizados en muchos productos que hacen el confort de la vida cotidiana tales como telas sintéticas, adhesivos, pinturas, plásticos, entre muchos otros.

Hoy en día es difícil imaginar una vida a corto plazo sin los hidrocarburos. La declinación constante de los yacimientos petroleros se traduce en un aumento en los costos de producción de los mismos. El petróleo junto con el agua representa uno de los recursos más importantes que posee el planeta y que actualmente tiene la humanidad.

8.2 Etapas Principales en la Producción de Hidrocarburos:

Se presentan a continuación las cuatro fases principales del proceso del petróleo:

8.2.1 La exploración:

Es una actividad muy atractiva y muy apasionante en la búsqueda del recurso y por lo tanto en ella intervienen una cantidad de técnicas científico-tecnológicas y cada una va proporcionando diferentes elementos que nos aproximan cada vez más al objetivo mitigando cada vez más las consecuencias que la perforación tiene. Cuando se observa que el suelo tiene las condiciones necesarias, se define y da aval de realizar la perforación observando las condiciones de productividad del pozo, haciendo al mismo tiempo un estudio del subsuelo, con técnicas físicas reales, concretas, que sirven para definir la geología del terreno.

La Geología, la ciencia que trata de la historia de la tierra y la vida registrada en las rocas, que se estudian los materiales, la estructura y los procesos que actúan

en su interior y sobre la superficie, minerales y rocas, fósiles, terremotos y volcanes, montañas y océanos, suelos, paisaje, erosión y depositación. También se ocupa del origen del planeta y de los cambios que ha ido sufriendo a lo largo de la historia. Es la ciencia de la tierra y al igual que muchas profesiones también tiene ciertas especialidades [2].

El petróleo se forma en las cuencas sedimentarias, que son depresiones en la corteza terrestre como lagos y mares, que con el paso del tiempo se van acumulando materiales sedimentarios y volcánicos. Este proceso de sedimentación, es decir capas sucesivas o secuencias de arenas y arcillas es algo que ocurrió a lo largo de millones de años, y es por esto que la Geología identifica hoy varios tipos de estructuras subterráneas denominadas trampas, donde se pueden encontrar yacimientos de petróleo y entre ellas se destacan: los anticlinales, las fallas y los domos salinos, etc.

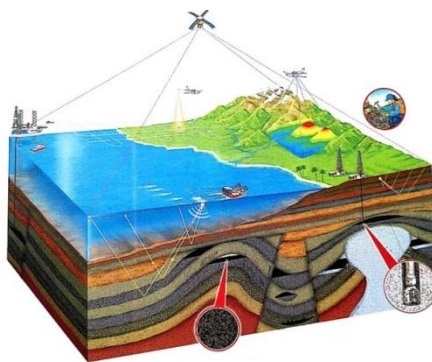


Figura 1. Geología de las cuencas [2]

El petróleo se encuentra ocupando los espacios de las rocas porosas, como areniscas y calizas. Es algo así como agua empapada en una esponja. No es cierto afirmar que cuando se extrae el petróleo quedan enormes espacios vacíos en el interior de la Tierra. Los poros se van desocupando y son llenados inmediatamente con el petróleo que no alcanza a extraerse y por agua subterránea.

Para que exista un depósito o yacimiento es necesario que las capas estén selladas por rocas impermeables, rocas arcillosas que impidan el fluido del petróleo. Por esto se llaman trampas, porque el hidrocarburo queda atrapado allí.

La exploración consiste básicamente en descubrir y localizar dichas trampas, para ello no existe un método científico exacto, sino que se deben realizar múltiples tareas previas de estudio del terreno. A través de métodos Geológicos (estructura

igual en la superficie y en el subsuelo) y Geofísicos (estructura distinta en la superficie y en el subsuelo).

La exploración en Colombia actualmente se hace en tierra y en mar, empleando diferentes tecnologías, barcos y modernos equipos terrestres.

Los pozos exploratorios, tienen un objetivo definido siempre: encontrar un pozo de petróleo. La exploración de recursos naturales es una metodología que permite al ingeniero acercarse en etapas al conocimiento de un recurso, de su cantidad y su calidad. Esta metodología permite ver si el área tiene condiciones para su comercialización.

8.2.2 La Perforación:

Es un método directo que permite obtener muestras de las características de las rocas, ya sean porosas y permeables (almacenar petróleo) o rocas ricas en materia orgánica (generar hidrocarburos) o roca madre.

Anteriormente la perforación se hacía solo verticalmente, con un motor direccional y una broca. Este tipo de perforación era muy básica pero al mismo tiempo era muy costosa, muy lenta y menos provechosa. Para llegar a un objetivo básicamente se perforaba hacia abajo, incluso para llegar otro pozo cercano era necesario abrir otro hueco diferente desde la superficie.

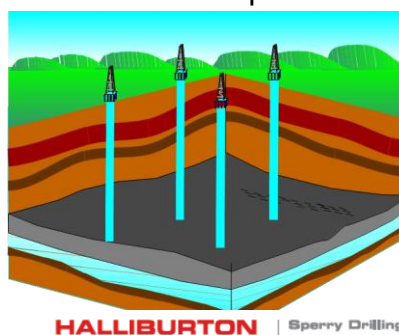


Figura 2. Perforación Vertical [3]

Con la evolución de las herramientas y la industria petrolera fue que se comenzó a perforar horizontalmente, lo que trajo consigo ventajas para las operadoras y para las compañías encargadas de realizar el trabajo. Se redujeron los costos, se incrementó la producción por el incremento del área expuesta del yacimiento al pozo y se creó un patrón más eficiente de drenaje entre muchas otras ventajas técnicas.

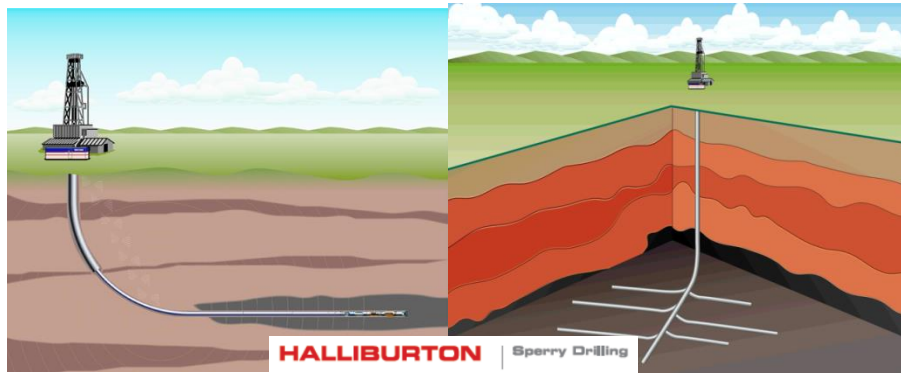


Figura 3. Perforación Horizontal [3]

Logrando incluso la extracción de petróleo de múltiples reservorios por un solo hueco.



Figura 4. Perforación de múltiples trampas [3]

Igualmente evolucionaron las plataformas de perforación, se pasó a perforar con plataformas marítimas.



Figura 5. Perforación Marítima Offshore / Semi-Sumergible [3]

Dependiendo de los requerimientos de cliente, existen también diferentes tipos de pozos: Horizontal, Tipo J, Tipo S, SideTrack entre otros.

A medida que se va perforando, el tamaño del hueco va disminuyendo, igualmente el tamaño de la herramienta utilizada. Por ejemplo, si se inicia con un tamaño de

huevo de 12 ¼ “el tamaño de la herramienta debe ser de 9 ½ u 8” en la primera fase, si en la segunda se tiene un huevo de 8 ½” el tamaño de la herramienta será de 6 ¾”” y así sucesivamente. También es importante aclarar que en cada fase, después de la perforación se debe sacar la herramienta, meter un casing o revestimiento con un tamaño menor al tamaño del huevo y se debe cementar las paredes del mismo para darle firmeza al huevo y evitar que las paredes se derrumben.

Continuando con los avances y la historia, después de que se empezó a perforar horizontalmente también los equipos empleados en la perforación se fueron modernizando.

Se crearon primero una serie de herramientas encargadas de enviar la información a superficie conocida como MWD (Measure while Drilling o medición durante la perforación), dentro de estas se encuentran el P4M Pulser, que envía información a través de la obstrucción del lodo con la detección de cambios de presión.

Posteriormente se crearon las herramientas con sensores incorporados encargados de registrar la información LWD (Logging while drilling o registro durante la perforación), dentro de este se encuentran diversos sensores como los de resistividad EWR, ADR y AFR, los sensores Gamma como el DGR y la PCG, los sensores de presión como el PWD, los sensores de vibración como el DDSR, los sensores de densidad como el ALD y los de porosidad como el CTN. Todos utilizan las leyes físicas y combinan la electrónica y la mecánica para cumplir con cada una de sus funciones.

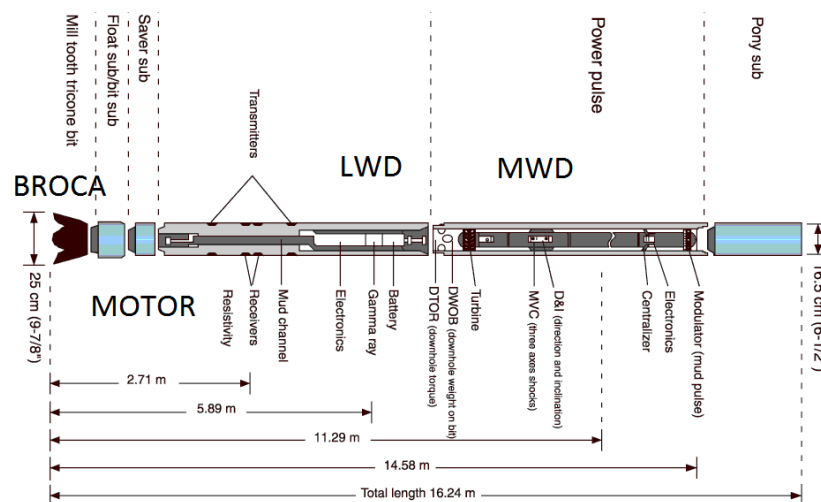


Figura 6. Diagrama de Herramientas de Perforación [9]

Dentro de la etapa de perforación se encuentran los motores y la broca. El Geopilot al ser un tipo de motor juega un papel fundamental en la perforación:

8.2.2.1 La broca: PDC bit



Figura 7. Tipos de broca [4]

La broca de perforación es una herramienta capaz de penetrar la corteza terrestre, es el punto central en los equipo de perforación rotatoria. Su objetivo principal es el de romper la roca por compresión, incrusta sus dientes en la roca y provoca su rompimiento en pedazos más pequeños, por dura que sea ésta. Existen muchos tipos pero las más usadas son la PCD (Compuesto policristalino de Diamante) y la broca tricónica mostradas anteriormente en la figura 7.

8.2.2.2 El motor: SperryDrill Mud Motor

El motor de lodo, es un motor que tiene una ligera inclinación en la punta, es una de las herramientas más utilizadas actualmente en la perforación de pozos petroleros.



Figura 8. Motor de Perforación convencional [4]

Se mueve gracias al impulso del lodo especial bombeado por dentro de la sarta de perforación (tubo naranja) para producir fuerza rotante en el fondo, sin que la sarta tenga que girar desde la superficie.

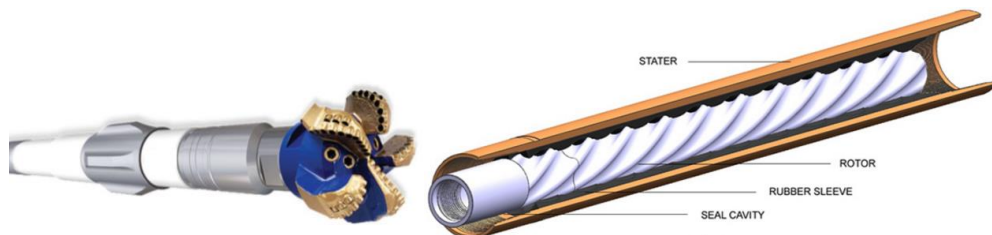


Figura 9. Partes del motor [10]

Normalmente al perforar, el motor no siempre está girando desde la superficie. En general lo que se hace es aprovechar las características que hace el lodo interiormente y para darle dirección al hueco simplemente se deja deslizar el motor, es decir solo rota la parte interna gracias al peso que ejerce el lodo en la superficie interna similar a un tornillo y una vez orientado si se mueve todo en conjunto. Así, sin que la sarta tenga que rotar, el pozo se desviará en la dirección en que se haya orientado la punta angulada. Generalmente se usa para subsuelos complejos y para pozos en donde la complejidad y la forma del pozo no son muy importantes. Es decir, pozos con pocas curvas que requieran de rapidez en la perforación. Como se mencionó anteriormente el hueco queda de alguna forma escalonado, debido al juego que se hace entre deslizar y rotar.

8.2.2.3 El Geopilot:



Figura 10. Logo Geopilot TM [5]

El Geopilot es un tipo de motor con control direccional completo, con rotación continua de la sarta de perforación y un alto grado de dirección.

A diferencia del motor convencional, esta herramienta incrementa la ROP (Rata de perforación), reduce el NPT (Tiempo no productivo), reduce el LIH (lost in hole, pérdida de la herramienta en el hueco), mejora además la calidad del hueco, es más preciso, mejora la evaluación de la formación con el LWD y tiene una capacidad de acceso mejorada.



Figura 11. Geopilot en acción [11]

Esta herramienta puede ser usada en perforación de aguas profundas (perforación marítima), en pozos con trayectorias direccionales complejas, en pozos horizontales, en pozos de alcance extendido, en aplicaciones de ampliación de

pozos, en perforación vertical, en pozos no convencionales e incluso en perforación de rocas salinas.

El Geopilot es una de las herramientas más especiales por las que sobresalen las herramientas de Sperry Drilling Services de la empresa Halliburton. Es una herramienta que combina la electrónica y la mecánica en movimiento lo que la hace aún más compleja y superior al motor de perforación.

El motor de perforación es netamente mecánico y utiliza un tipo de perforación que se conoce como “Push the Bit”, que quiere decir empujar la broca. En este procedimiento, lo que se hace es introducir el motor de perforación al hueco y poco a poco se van conectando las demás herramientas encima junto con el resto de tubería. En la superficie se le pone peso para que el motor y la broca, que giran gracias al fluido especial introducido perforen con dicho peso colocado en superficie y le den dirección con el movimiento del motor.

El Geopilot a diferencia del motor de perforación combina una parte mecánica con una parte electrónica y utiliza una forma de perforación que se llama “Point the bit”, en la que la parte externa (Housing) esta quieta y la parte interna gira con el eje (Shaft).

La perforación se hace direccionando la broca a medida que ésta va rotando. El lodo pasa a través del Shaft, éste a su vez va conectado a la broca por donde también fluye el lodo que como se mencionó anteriormente cumple las funciones de lubricar y trasladar los residuos perforados cuando se succiona desde la superficie y se filtra el lodo, para ser enviado de nuevo al fondo.



Figura 12. Geopilot

Con los avances de la tecnología, la investigación, el desarrollo e implementación de mejoras en la herramienta y en los métodos de perforación, hoy en día se utiliza la combinación entre el motor y el Geopilot, dependiendo el tipo de formación, los diferentes parámetros y requerimientos del cliente. Con el uso del motor de perforación, en gran medida se reduce el tiempo de perforación, el

Geopilot sufre menor desgaste, el esfuerzo lo hace el motor e igualmente el impacto que causa la vibración en la herramienta se minimiza considerablemente.

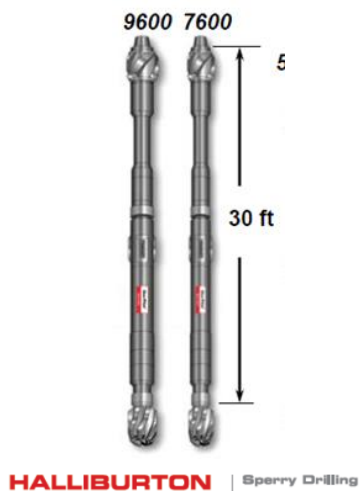


Figura 13. Geopilot disponibles en inventario Halliburton Sperry Colombia [5]

El Geopilot es capaz de usar brocas de alto calibre, tiene una longitud de 20ft y requiere de muchas partes que trabajan en conjunto para lograr su complejo y eficiente funcionamiento.

Para el cliente, esta herramienta también trae consigo muchas ventajas, ya que presenta mejor desempeño en la perforación por ende reduce los costos operativos. Reduce el Tiempo no productivo, minimiza los problemas dentro del hueco, minimiza las vibraciones incrementando los RPM, evita atascos de la tubería y mejora la limpieza y acabado del hueco.

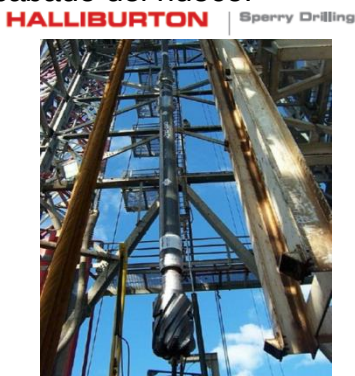


Figura 14. Geopilot en pozo [5]

Junto con la exploración, estas etapas son muy importantes en la medida en que permiten el desarrollo de la industria en cuanto a medicamentos, en petroquímica, en las cosas cotidianas que se usan a diario.

Se realiza a continuación una explicación del Geopilot y sus componentes claves para entender su funcionamiento:

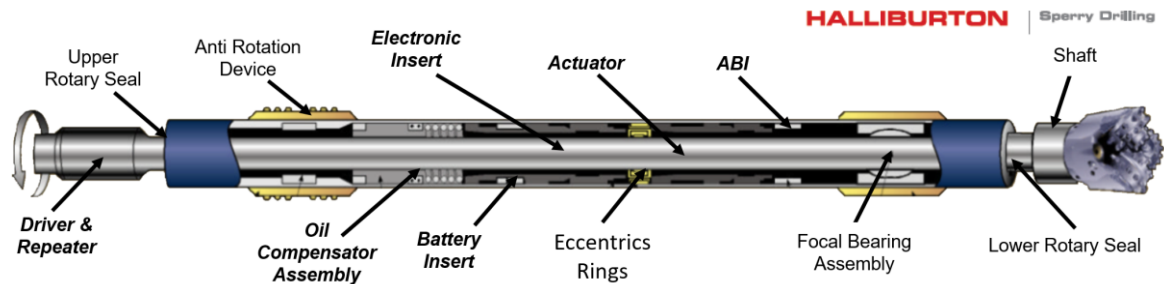


Figura 15. Partes Principales [5]

8.2.2.3.1 Rotation Resistant Housing:

El Housing rota lentamente al igual que el resto de tubería; rota aproximadamente entre 1 a 6 giros por hora a 100 rpm. Su propósito principal es el de proveer una referencia estacionaria para el control del Toolface. Si el Housing rota el Toolface también lo hace.

8.2.2.3.2 Antirotation Device

Está diseñado para hacer contacto con el pozo en tres puntos, de este modo se evita la rotación del Housing que no rota. Tiene tres estabilizadores que están ubicados a 120° el uno del otro. Tiene un “bolsillo” dentro de él, que sostienen una estructura de rodamientos o “pads” de 2 filas de 4 ó 8 pads cada una, que tienen contacto con las paredes del pozo. Los pads sostienen el torque impartido por el Shaft (eje) través de rodamientos y sellos. Son diseñados para permitir un fácil movimiento dentro y fuera de hueco pero impiden la rotación del Housing. Están cargados de resortes que ejercen una fuerza de 400 lbs sobre las paredes de la formación, pero se retractan en el “bolsillo” si el hueco es muy pequeño. Muchos Housing varían dependiendo del tamaño del hueco.



Figura 16. Pads y Rollers

8.2.2.3.3 Shaft (Eje)

Es una sólida estructura hueca de una pieza que conecta la sarta de perforación (drill string) y la broca con el Driver y el Repeater Sub. Esta hecho de Iconel y tiene varias áreas de precisión y perfiles maquinados a lo largo de su estructura. El direccionamiento del pozo es producido por una curva controlada de Shaft. Está diseñado para soportar un peso máximo de 55000 lbs y un torque de 22000 ft/lbs doblado en dirección opuesta sin exceder desgaste. Por su cavidad hueca es por donde fluye el lodo que lubrica la broca.



Figura 17. Shaft

8.2.2.3.4 Upper and Lower Rotary Seals (Sellos)

Son los sellos ubicados entre las partes que rotan y las que no rotan mientras generan una fricción mínima entre el Shaft y el Housing que no rota. El Upper se ubica entre el Driver Sub y el Antirotation Device, y el Lower entre el Shaft y el Lower Slick Housing. Evitan que la herramienta internamente se invada y se dañe a causa del lodo.

8.2.2.3.5 Focal Bearing (Rodamientos focales)

Está ubicado en la parte baja del Shaft y tiene muchas funciones. Entre ellas es transferir el peso sobre el eje de la broca al Non-Rotative Housing y además las cargas desde el Non-Rotary Housing al Shaft. Adicionalmente es la parte mecánica que permite al Shaft declinarse.



Figura 18. Rodamientos

8.2.2.3.6 ABI / ABG (At bit Inclination / At bit Gamma)

Se conecta en el Non Rotary Housing. Con los acelerómetros monitorea el ángulo y la posición del Non-Rotary Housing. Su reparación y re calibración se hace en Inglaterra, después de 2000 horas de uso.

El ABI contiene 3 acelerómetros de Cuarzo, hechos por la JAE (Electrónica de Aviación Japonesa), igualmente una tarjeta electrónica para el acondicionamiento de señal y el control de temperatura. Posee además unos “gravity toolfaces” o gravity highsides. El ABG, tiene 3 detectores “Scintillator” ubicados en 120° y está instalado a 3 pies de la broca. En el caso en particular sirve para detectar posibles reservas de crudo en el fondo del hueco en tiempo real, pero para esto debe estar calibrado según los parámetros establecidos.

Los acelerómetros son tri-axiales es decir están montados en los 3 ejes (x, y, z) y son llamados ortogonales es decir 90° uno del otro, son llamados Gx, Gy y Gz.



Figura 19. ABI

Los acelerómetros le permiten medir la aceleración de la gravedad en unidades $-g$ y g ($9,81 \text{ m/s}^2$), detecta magnitud y dirección de la aceleración como vector

Actualmente el Geopilot utiliza el GABI, una combinación entre estos dos tipos de sensores. Sirve para medir la inclinación de la estructura y realizar un análisis más preciso de la formación.

8.2.2.3.7 Actuator Assembly

Es el “Corazón mecánico” del Geopilot. Es muy complejo y necesita ser estudiado muchas veces para comprender completamente como funciona. Se apoya con el diámetro interno del Lower Slick Housing para empujar el Shaft dentro de la línea central del Slick Housing cuando los anillos excéntricos están activados. Se alinea con una línea de guía que tiene el Lower Slick Housing para la posición de referencia usada en el GABI.



Figura 20. Actuador completo

Los componentes principales del actuador son:

8.2.2.3.7.1 La estructura excéntrica

Es una única unidad con un anillo excéntrico interno y un anillo excéntrico externo. Cada anillo puede deflectar el Shaft 2mm. En total el Shaft se deflecta 4mm.

-Cero Deflexión del Shaft: La posición neutral se conoce como “Home Position”. La posición de Home para el anillo externo es 0° y la posición de Home para el interno son 180° en relación con el otro. Hay 0% de deflexión en el Shaft, si el anillo externo está a 60° y el interno a 240° , es decir hay 0° de deflexión $(240^\circ - 60^\circ) = 180^\circ$

-Máxima Deflexión del Shaft: Cuando los 2 anillos están exactamente en la misma posición el Shaft tiene 100% de deflexión. Por ejemplo si el anillo externo tiene 40° y el interno también tiene los mismos 40° de deflexión.

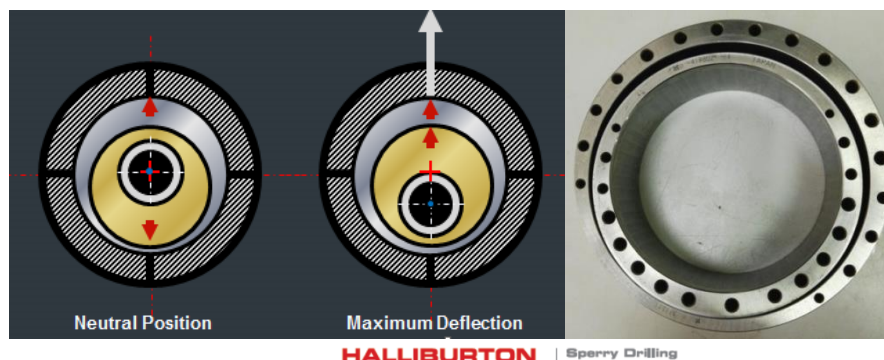


Figura 21. Anillos excéntricos

8.2.2.3.7.2 Harmonic Gear Reduction Box (Caja de Reducción de Engranajes Harmónica)

Hay 2 unidades, una para cada lado de los anillos excéntricos. Proporciona una relación de engranajes 180:1, lo que significa que para cada 180 vueltas a la derecha en el lado de entrada, se obtiene 1 giro a la izquierda en el lado de Salida. La reducción de engranajes permite una enorme ventaja mecánica en el movimiento de los anillos excéntricos. El lado de salida se une al imán del sensor de Home o de origen y a los anillos excéntricos asociados.



Figura 22. Gear Reduction Box

8.2.2.3.7.3 Clutch Assembly

Hay 2 Unidades, una para cada lado de los anillos excéntricos. Es un dispositivo electromecánico que cuando se activa, atrae un armazón para permitir el movimiento de los anillos excéntricos. Cuando el Clutch está apagado, el armazón descansa sobre el disco de frenos, previniendo el movimiento de los anillos excéntricos. Cuando se activan los Clutches transfieren la rotación del Shaft a la Caja de Engranajes que a su vez rotan el anillo excéntrico interno y externo para doblar el Shaft.



Figura 23. Clutch Assembly

Cada Clutch consume aproximadamente 500mA de corriente a 21V. Inicialmente el Clutch es encendido con toda la corriente pero una vez es enganchado, la corriente se mantiene para conservar la carga de la batería.

8.2.2.3.7.4 Oldham Coupling (Acoplamiento Olham)

Permite el movimiento en X y (eje transversal) del Shaft dentro del Housing mientras transmite la rotación concéntrica al Clutch. Esto significa que el Shaft puede estar afuera de la línea de centro del Housing sin unir el Clutch. Estas son piezas equipadas de alta precisión.



Figura 24. Oldham Coupling

8.2.2.3.7.5 Home Sensor (Sensor de Origen)

El anillo excéntrico interno y externo tiene cada uno su propio sensor de origen, que consiste en un cubo magnético o imán. Este se conecta al anillo excéntrico con un sensor Hall Effect (sensor que detecta campos magnéticos) posicionado en 0° del anillo externo y 180° del interno. El imán se mueve con el anillo excéntrico, mientras el sensor de Hall Effect se mantiene fijo con la línea de 0° del Slick Housing para el sensor externo y 180° para el sensor interno.

El sensor permite el control electrónico, sigue la posición del anillo excéntrico reestableciendo un punto nulo cada vez que un imán pasa por el sensor. El exterior se configura como 0 counts (conteos) lo que es equivalente a 0° y el interior se configura como 5759 que es igual a 180°. Cada vez que el imán del origen pasa a través del sensor de Hall Effect, la parte electrónica actualiza esa posición de conteo para ese anillo excéntrico. Así es como la electrónica mantiene una referencia o punto nulo para cada anillo excéntrico.



Figura 25. Sensor Hall effect

8.2.2.3.7.6 Quadrature High Speed Counter (Contador de alta velocidad)

Tiene 2 sensores Hall Effect para cada lado de la estructura excéntrica. Ellos siguen la rotación y la dirección del movimiento para cada armazón del Clutch con 16 imanes. Dos sensores revisan en cual dirección se mueve el imán y envía los conteos al control Electrónico, mientras sigue a cuantos conteos está el anillo excéntricos del origen. Los contadores cuentan entre 0 y 11519 counts máximo.

$$(180 \text{ relación de engranajes} \times 16 \text{ imanes} \times 2 \text{ sensores} \times 2 \text{ posiciones}) \\ - 1 (\text{no se cuenta 2 veces el primer imán}) = 11519$$



Figura 26. High Speed Hub y High Speed Ring

8.2.2.3.7.7 Locking Ring (Anillo de Bloqueo)

Son 2 unidades, una en cada final de la estructura del actuador. Bloquean las partes finales del actuador (Olham Upper and Lower Shafts) hasta el Shaft para emparejar la energía rotacional del Shaft con los platos de Upper and Lower Olham.

En resumen, los clutches son manejados por el Shaft con los acoples de Olham. Cuando se activan los clutches se transfiere la rotación del Shaft a la caja de engranajes (Harmonic Assembly) que giran los anillos excéntricos para doblar el Shaft.

La posición de los anillos excéntricos se calcula monitoreando los imanes en los High and Low Speed Hubs. El de alta velocidad es acoplado con el lado de entrada de la caja de engranajes y tiene 16 imanes monitoreados por 2 sensores. El de baja velocidad es acoplado el lado de salida de la caja de engranajes y tiene un único imán monitoreado por un sensor.

El Upper Clutch/ Harmonic Assembly controla el anillo excéntrico externo y el Lower Assembly controla el anillo excéntrico interno.

8.2.2.3.8 Connector Block

Está mecánicamente conectado al actuador, ayuda a mantenerlo en el Lower Slick Housing, interactúa eléctricamente con el inserto electrónico y la señales del extremo inferior.



Figura 27. Connector Block

Tiene 9 cables y 5 nanoconnectors que conectan las barras y el ABI/ABG. Consta de 16 kemlons bota que conectan la Power Unit donde se encuentra el inserto Electrónico. En esta parte van la conexión del ABI/ABG, los Cam Counts que son los conteos que hacen los excéntricos, los sensores de Home y el Clutch.

8.2.2.3.9 Power Unit Assembly

Está compuesta de 3 sub ensambles: El inserto electrónico, el inserto de baterías y el ensamble compensador de Aceite.

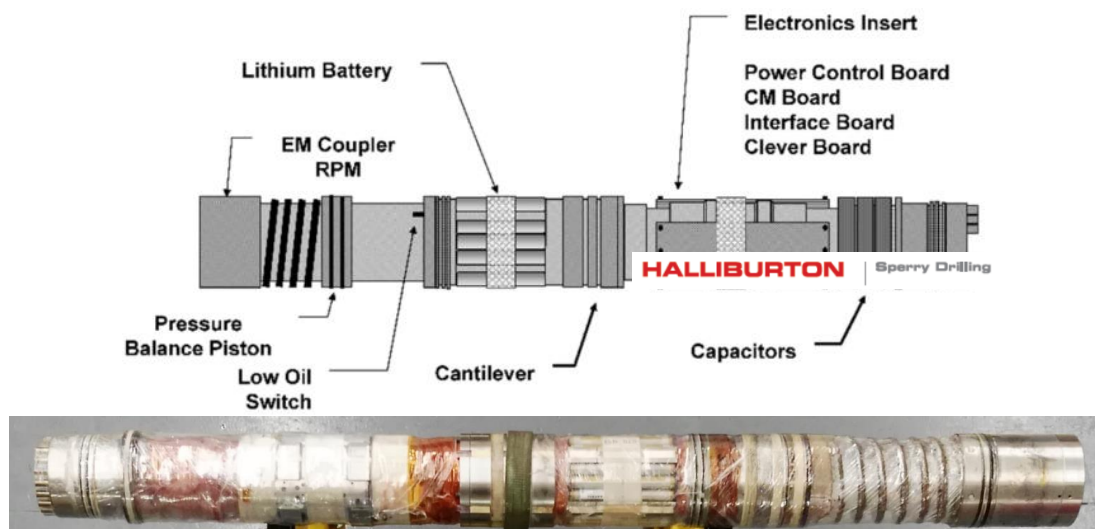


Figura 28. Power Unit Assembly [5]

8.2.2.3.9.1 El Inserto electrónico:

El inserto electrónico del Geopilot es el cerebro de la herramienta, el modulo consiste en 4 tarjetas (pcb boards) que interactúan con los sensores de la herramienta y establecen dos formas de comunicación con la herramienta de tipo MWD. Además contiene 6 bancos de condensadores para la activación de los clutches.



Figura 29. Inserto Electrónico

Las tarjetas son:

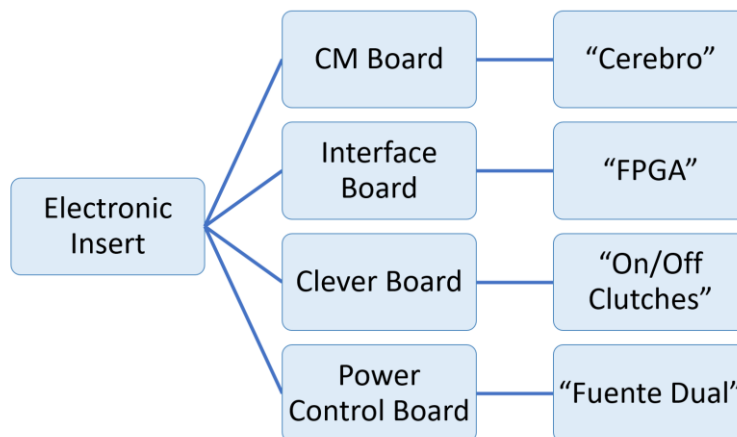


Figura 30. Diagrama similitudes de funcionamiento de las tarjetas

8.2.2.3.9.1.1 CM Board:

La controller module board es proporcionada directamente desde Houston, es usada el Geopilot 7600 y 9600 disponibles en la base. Esta tarjeta se basa en un procesador HC11 que tiene 2 megabytes de almacenamiento. La control module board es el principal procesador de la herramienta y corre un software que controla muchas de las funciones de la herramienta. Toda la información grabada desde la herramienta es almacenada en esta tarjeta mientras la herramienta es leída. También contiene sub bus de comunicación 1553, el circuito que interactúa con el MWD.

8.2.2.3.9.1.2 Interface Board:

Esta tarjeta controla la interacción con los sensores: los contadores de posición, el sensor de RPM, el ABI y el Switch de nivel de aceite. Enruta los comandos de la CM Board con la Clever Board para la activación y desactivación de los clutches.

8.2.2.3.9.1.3 Clever Board:

Es la encargada de prender y apagar los clutches, inicialmente el clutch es encendido con toda la corriente pero luego una vez se acopla, es removido para conservar el voltaje en la batería. Usualmente almacena la energía del banco de condensadores para inicializar los clutches.

8.2.2.3.9.1.4 Power Control Board:

Esta tarjeta toma la energía del inserto de baterías y la convierte a 5Vdc, +14Vdc y -14Vdc. Es comúnmente usada en otras herramientas.

8.2.2.3.9.2 El inserto de Baterías:

Consiste básicamente de 4 baterías que suministran la energía a los ensambles electrónicos y los clutches. Cada una con Celdas de litio (24C) que trabajan a 48amp/hora y duran aproximadamente 200 horas de perforación.



Figura 31. Inserto de Baterías

8.2.2.3.9.3 Oil compensator Assembly (Compensador de aceite)

Está compuesta por:

8.2.2.3.9.3.1 Balance Piston

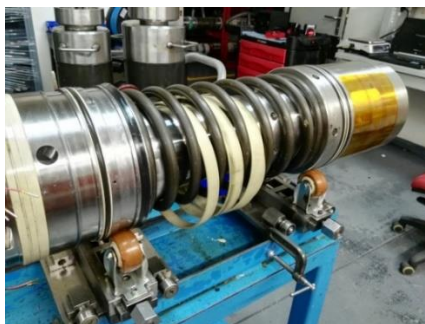


Figura 32. Compensador

Mantiene la presión hidráulica interna del aceite como presión constante por encima de la presión hidrostática. El pistón es cargado con un resorte que transfiere aproximadamente 25 psi del pistón al aceite hidráulico. El compensador provee las reservas de aceite para los Rotary Seals (Sellos).

8.2.2.3.9.3.2 Oil level Switch

Tiene 2 sensores. Uno de alerta temprana de nivel bajo de aceite indicando que 90% del aceite de compensador se ha salido. El segundo sensor da una alerta de “Sin aceite”, lo que significa que el volumen del compensador se ha salido y no hay presión positiva en la herramienta.



Figura 33. Sensor de Aceite

8.2.2.3.9.3.3 RPM Sensor

Mide la velocidad diferencial rotacional entre el Shaft que se empata con la sarta de perforación y el Non-Rotating Housing. Si el Housing rota a la misma velocidad, que el Shaft las RPM son cero. Las RPM son calculadas por el sensor de Hall Effect montado en la cubierta del compensador. Éste sensa 16 imanes que son montados cerca al EM Coupler. Las RPM se calculan mirando las cuentas cada segundo y promediando el valor de los últimos 2 segundos.



Figura 34. Sensor RPM

8.2.2.3.9.3.4 EM Coupler

Transmite la señal desde el Non-Rotating y Rotating Part. Consiste de una bobina interna y externa. La externa es estacionaria y va conectada al compensador. La interna es conectada al Shaft y rota junto con este. El EM Coupler, es un solenoide con otro solenoide que comunica el sub bus bajo de la herramienta con la Controller Module Board del inserto electrónico



Figura 35. EM Coupler

8.2.2.3.10 Cantilever Bearing

El puesto arriba del punto de doblamiento del Shaft. Evita que el Shaft se doble antes de ese punto. Actúa como el punto superior de los 3 puntos importantes del Shaft:

- Cantilever Bearing
- Eccentric Spherical Bearing
- Focal Bearing

Consiste de tres partes: The race, Nut and Locking Ring que son ajustados en el Shaft, entre el inserto de baterías y el inserto electrónico.



HALLIBURTON | Sperry Drilling

Figura 36. Cantilever Bearing

8.2.2.3.11 Driver Sub

Actúa como interface para torsión y peso sobre la broca, desde el Shaft hasta el Non-Rotating Housing. Se conecta en la parte de arriba del Shaft hasta el BeCu Polygon Insert (Óctagon). Contiene el Upper Bearing Assembly y el Thrust Bearing, transfiere las cargas axiales desde el Driver al Non-Rotating Housing. Además contiene el Upper Rotary Seal (Sello Superior) y es el punto de Unión para conectar los cables del EM Coupler al Repeater.



HALLIBURTON | Sperry Drilling

Figura 37. Cantilever Bearing

8.2.2.3.12 Repeater Insert Sub

Es enroscado dentro del Driver, contiene un inserto con tarjetas electrónicas que protegen al inserto electrónico del Geopilot de posibles cortos circuitos que puedan ocurrir en las demás herramientas que se encuentran conectadas en la parte superior (LWD y MWD) y además posee otras dos tarjetas para medir la vibración que experimenta el Geopilot durante la perforación del pozo.

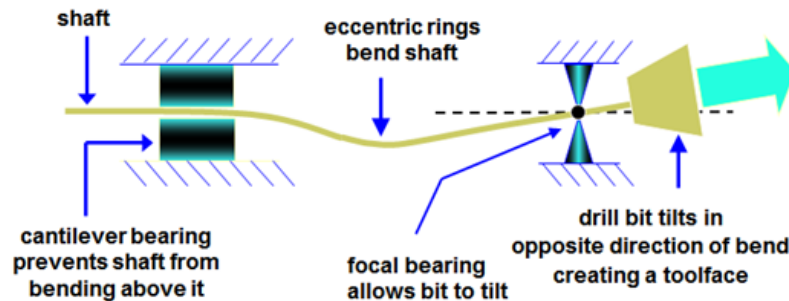


HALLIBURTON | Sperry Drilling

Figura 38. Repeater Insert

8.2.2.4 Principio Básico de Operación del Geopilot:

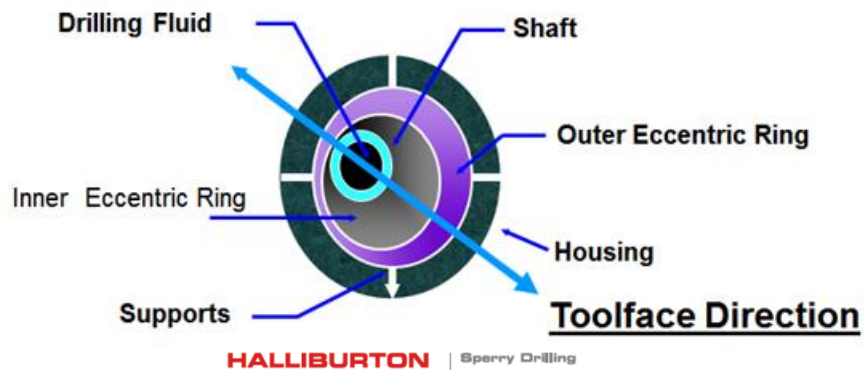
El eje rotario es doblado en el centro mediante los anillos excéntricos duales situados entre los rodamientos. Como resultado, la broca apunta en la dirección opuesta al doblamiento.



HALLIBURTON | Sperry Drilling

Figura 39. Principio de operación [5]

El eje giratorio se desvía en el centro entre los rodamientos con anillos excéntricos dobles, por ende la deflexión es variable permitiendo también una diferencia en el ángulo de inclinación en el pozo.



HALLIBURTON | Sperry Drilling

Figura 40. Deflexión del eje por los anillos excéntricos [5]

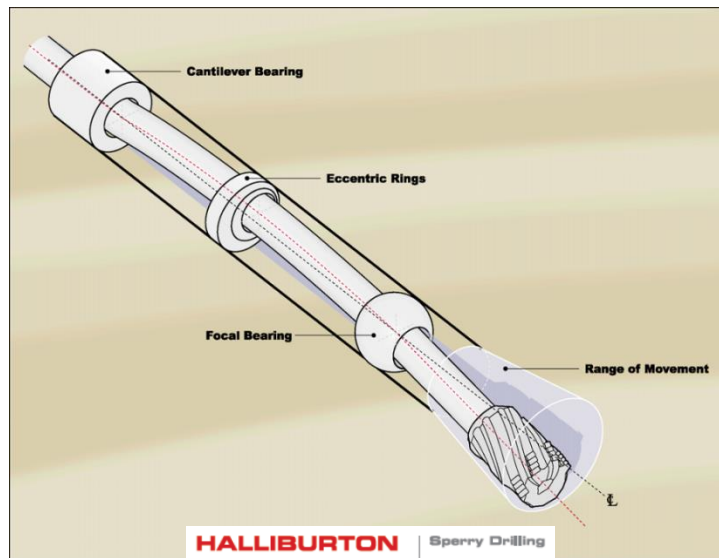


Figura 41. Inclinación de la broca en dirección opuesta [5]

8.2.2.4.1 GeoSpan:

Cuando se realiza la perforación, se requiere una comunicación entre las herramientas que se encuentran dentro del hueco perforando y los equipos de control y recolección de datos que se encuentran en superficie. La mayoría de las comunicaciones se dan desde las herramientas en el hueco hasta la superficie, lo que se conoce como “uplink”, que puede ser ejecutada durante la perforación sin interrumpir o retardar el trabajo.

Para comunicar desde la superficie hacia el hueco (Downlink), las bombas de lodo cumplen con un ciclo de activación y desactivación. La interrupción del flujo crea un pulso de presión, sin embargo estos ciclos de las bombas reducen la eficiencia en la perforación, la interrumpen y se demoran mucho en llegar.

El sistema Downlink de la Geo-Span resuelve estos problemas de comunicación creando un pulso de presión negativo con el lodo sin interrumpir la perforación, reduciendo el tiempo de transmisión de la señal Downlink, la comunicación Uplink no se interrumpe, por tanto esta permite un tipo de comunicación bi-direccional.

La función de la GeoSpan es controlar el Geopilot, remotamente controla los estabilizadores, la inclinación del Shaft del mismo y los sensores de evaluación de la formación. Usando el software INSITE de Halliburton, puede encender y prender el equipo si es necesario y puede pre-programar los modos de operación para diferentes herramientas.



Figura 42. Geo-Span [18]

8.2.3 El Completamiento y la producción:

Es básicamente el diseño e instalación de tuberías, empaques y demás herramientas u equipos dentro del pozo con el propósito de producir el pozo de manera controlada, segura y rentable. La productividad es afectada por el tipo de completamiento y el principal objetivo es obtener la máxima producción en la forma más eficiente, por esto deben estudiarse cuidadosamente muchos factores influyentes [6]. Esta etapa es el resultado de diferentes estudios realizados al pozo, empezando por la exploración hasta la evaluación del pozo en flujo algún tiempo después de haber sido perforado.

8.2.4 La Refinación:

Como se sabe, el petróleo crudo no es directamente utilizable, salvo algunas veces que se usa como combustible. Para obtener sus diversos subproductos es necesario refinarlo. El petróleo crudo es una mezcla de diversas sustancias, las cuales tienen diferentes puntos de ebullición. Su separación se logra mediante el proceso llamado "destilación fraccionada". A continuación se muestra un diagrama muy resumido del proceso de refinación, como se explicó anteriormente no es pertinente para el proyecto entrar en detalle.

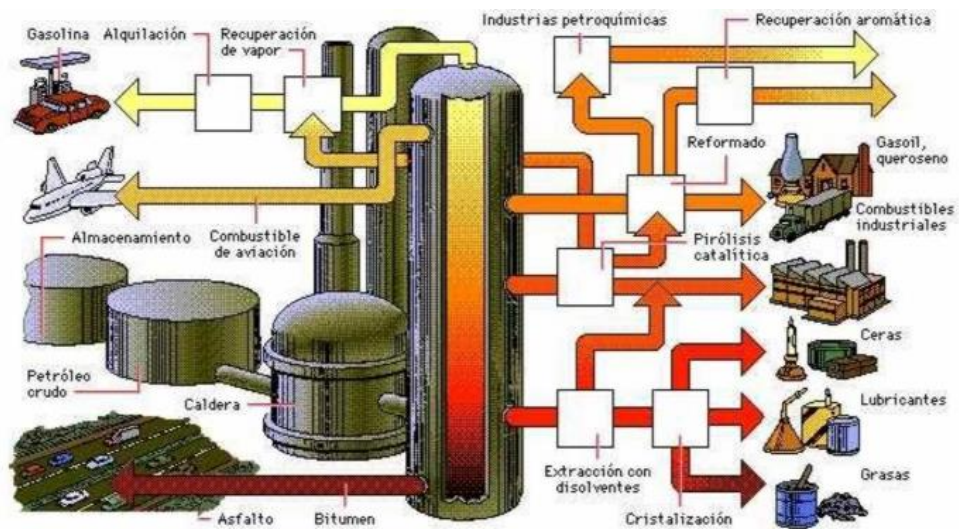


Figura 43. Proceso de Refinación de crudo. [7]

9. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

De acuerdo con el cronograma de actividades propuesto, se realizó el desarrollo del proyecto durante el tiempo de prácticas. Teniendo en cuenta las actividades, se realiza a continuación una descripción del proceso y construcción del mismo.

9.1 Identificación y selección de componentes:

En el plano de conexiones de la Power Unit (Ver Título 8.2.2.3.9), se identificaron los requerimientos del prototipo, como tamaño y componentes principales.

Es importante destacar que el proyecto se llevó a cabo con componentes reciclados, es decir partes, tarjetas y conectores de otros insertos electrónicos de Geopilot que estuvieron involucrados en fallas debido a la vibración y la temperatura. Por supuesto ninguno de estos factores afecta directamente al prototipo ya que no será expuesto a estas condiciones. Se utilizaron también partes de computadoras etiquetadas como inservibles.



Figura 44. Puertos de Entrada Tarjetas.

Con ayuda de los Técnicos de Halliburton encargados de la reparación y el mantenimiento del Geopilot, se almacenaron algunas tarjetas, algunos conectores e incluso una CPU de un computador y una fuente de voltaje. Por tal motivo la primera tarea a llevar a cabo fue la identificación y limpieza de las tarjetas.



Figura 45. Tarjetas recicladas.

Para los conectores especiales de las tarjetas (Wiring Harness: Lower Interface, Battery Interface, Clever Cap Interconnect, Gp Charge Ctrl Post Mt). Se realizó una tarea similar a la anterior. Sin embargo, también se realizó una exhaustiva prueba de continuidad, pin a pin debido a la importancia del buen contacto que estos deben hacer con cada tarjeta. Al tiempo, se realizó el diseño de los soportes para cada tarjeta, de tal forma que en caso de algún daño su reemplazo sea fácil.



Figura 46. Conectores.

9.2 Diseño del prototipo:

Teniendo en cuenta el plano de conexiones de una Power Unit (Ver Anexo 12.4), se identificaron los componentes principales (tarjetas electrónicas, conectores y sensores involucrados), para definir un diseño inicial que definiera la estructura del prototipo.

A continuación se muestra la simplificación en diagrama de bloques de las conexiones de las tarjetas con los sensores de entrada y los actuadores de salida:

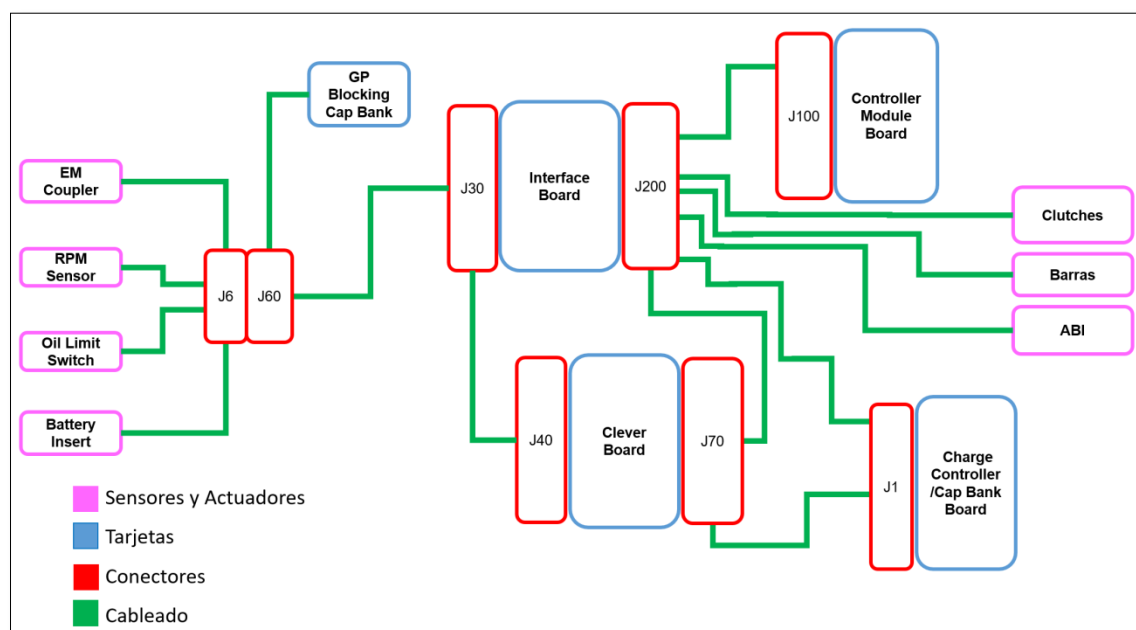


Figura 47. Diagrama de bloques Power Unit. [19]

TARGETA	FUNCIÓN
1. Charge Controller/Cap Bank Board	Circuito que utiliza la energía almacenada del banco de condensadores interno para la inicialización de los clutches.
2. Interface Board	Controla la interacción con los sensores: los contadores de posición, el sensor de RPM, el ABI y el sensor de nivel de aceite. Dirige los comandos de la Controller Module Board con la Clever Board. Adicionalmente, toma el voltaje del inserto de baterías y lo convierte en salidas (5Vdc, +14Vdc y -14Vdc).
3. Clever Board	Se encarga de la activación y desactivación de los clutches del actuador.
4. Controller Module Board	Principal procesador de la herramienta, la información grabada por la herramienta es almacenada en esta tarjeta mientras es leída
5. GP Blocking Cap Bank	Es un pequeño circuito de protección contra la estática, que consta de dos capacitores pequeños.

Teniendo en cuenta los diferentes sensores involucrados, las entradas y salidas del circuito, se realizó el diseño inicial necesario para el funcionamiento completo del prototipo como se muestra a continuación.

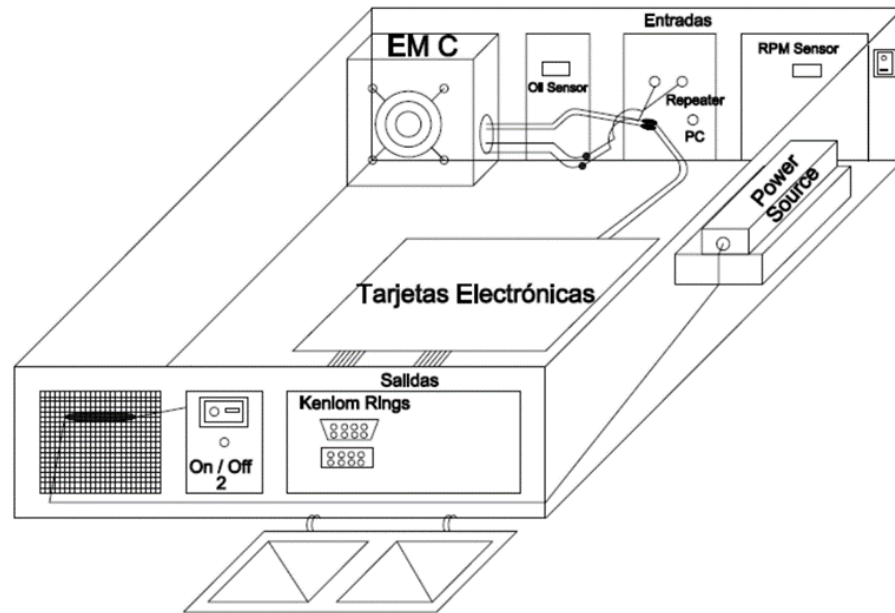


Figura 48. Diseño del Prototipo.

El prototipo consta de un panel frontal o panel de salidas y un panel trasero o panel de entradas:

Entre las entradas del sistema se encuentra la conexión de 2 terminales que permiten conectar el Repeater Insert (circuito de protección y medición de vibración) o el Computador con el EM Coupler incorporado (solenoides que permiten la comunicación con la herramienta). Además, el conector para el sensor de Aceite (permite verificar el nivel de aceite en la cámara del compensador) y el conector para el sensor de RPM (para determinar la velocidad de giro del Geopilot). También, se cuenta con la conexión del cable de alimentación o de poder del circuito y su respectivo interruptor.

La principal fuente de poder del circuito es el inserto de baterías como se observa en el diagrama de bloques (Ver Figura 47), el cual se sustituye con una fuente de voltaje regulada en el diseño (Ver Figura 48).

Las salidas del sistema se encuentran en el panel frontal, donde se encuentra la conexión de los puertos serial y paralelo, que conectan el Geak de pruebas (anillo con conectores tipo kemlon que conectan el actuador y el ABI a través del

Conector Block y las barras). Adicionalmente, se encuentra el Display indicador de voltaje y corriente de la fuente, además del interruptor de encendido del inserto electrónico.

9.3 Implementación del prototipo:



HALLIBURTON | Sperry Drilling

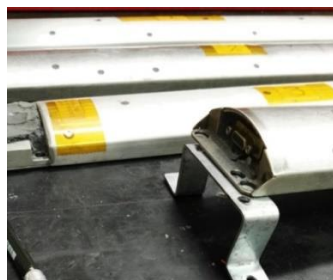
Figura 49. Soportes.



HALLIBURTON | Sperry Drilling

Figura 50. Caja inicial del prototipo.

Se construyeron los soportes, teniendo en cuenta las dimensiones de cada tarjeta y el tamaño de la caja. Se fijaron uno a uno, teniendo en cuenta la organización y el alcance de los conectores entre tarjetas.



HALLIBURTON | Sperry Drilling

Figura 51. Fijación de Tarjetas.

Inicialmente se había hablado de la implementación de algún tipo de circuito de protección contra la estática. Pero se encontró que el plano de conexiones ya cuenta con una tarjeta adicional protectora (GP Blocking Cap Bank), un circuito impreso pequeño, fabricado por Halliburton, entonces se implementó junto con el resto del circuito.



Figura 52. Capacitores de protección.

Se realizaron las conexiones de acuerdo al diagrama de bloques y conexiones de la Power Unit y adicionalmente se buscó un EM Coupler funcional y un sensor de Aceite, cuyas funciones fueron descritas anteriormente en el marco teórico (Ver títulos 8.2.2.3.9.3.4 y 8.2.2.3.9.3.2).

9.4 Cableado y conexiones del prototipo:

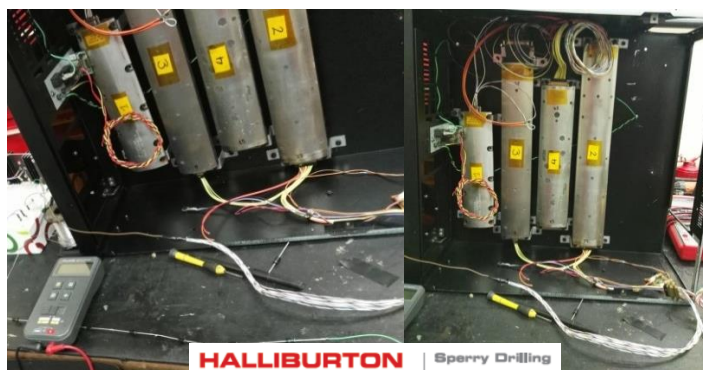


Figura 53. Fijación de tarjetas y cableado

Una vez terminado el cableado y la fijación de las tarjetas, se comenzaron a realizar las primeras pruebas, utilizando un software llamado GP Test desarrollado por Halliburton, inicialmente se verificó el funcionamiento y el reconocimiento de todas las tarjetas, conectando el EM Coupler externamente a la caja y al computador.

Adicionalmente, se fijó el EM Coupler (los solenoides interno y externo que permiten la comunicación) dentro de la caja del prototipo, para brindar mayores facilidades al momento de usar el prototipo. Posteriormente se conectó al circuito y a las terminales externas.



Figura 54. Fijación EM Coupler

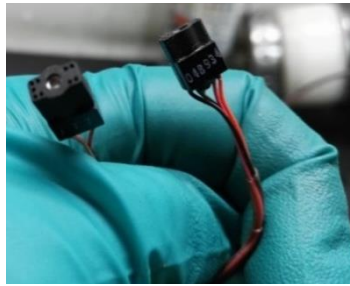
Se utilizó un Geak de Pruebas (Ver Figura 55) para herramientas de 7600 y 9600 (según sea el tamaño de la herramienta a probar), que poseen incorporados los 16 Kemlons o conectores macho que se conectan con los 16 Kemlons bota o conectores hembra que tiene el Connector Block, descrito en el marco teórico. De esta forma estas dos partes sirven como unión para conectar el actuador y el ABI con la Power Unit.

Dicho Geak, viene incorporado con dos cables, uno con conector serial y otro con conector paralelo, hembras los dos que van conectados a determinados Kemlons.



Figura 55. Geak de Pruebas hembra y macho.

Se conectó el actuador usando el Geak de pruebas acoplado con el Connector Block, debido a que los nanoconnectors (Ver Figura 56) son muy frágiles y delicados. Se utilizaron los conectores macho (serial y paralelo) y se fijaron en el panel frontal o de salidas del prototipo.



HALLIBURTON | Sperry Drilling

Figura 56. Nanoconnectors.



Figura 57. Conectores para el Geak.

Adicionalmente, se consiguieron los nanoconectores hembra de entrada del sensor de RPM y el Sensor de Aceite, para fijarlos junto con los conectores tipo banana que conectan internamente el anillo interno del EM Coupler(solenoides de comunicación) con el Repeater Insert (inserto de protección de la Power Unit en caso de cortos circuitos y medición de vibración) o directamente la CIM I/O (interfaz que permiten comunicar la herramienta y el computador), así se realiza la comunicación con el GP Test y se reconoce el Geopilot en el programa.

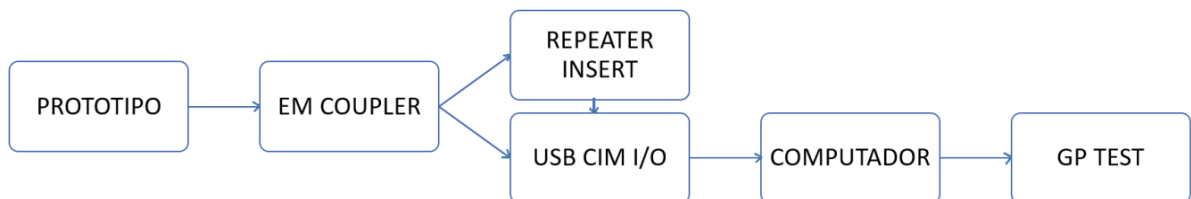


Figura 58. Diagrama de Comunicación con sub-ensambles y Software.

En el diagrama anterior se observa las dos posibles conexiones de inserto electrónico con el software GP Test: La primera es la conexión directa comunicando a través del EM Coupler con la CIM I/O (interfaz que permiten comunicar la herramienta y el computador). La segunda es la conexión que permite verificar la comunicación y la buena conexión de las tarjetas internas del

Repeater Insert (inserto de protección de la Power Unit en caso de cortos circuitos y medición de vibración) conectado luego a la CIM I/O y al computador finalmente.



Figura 59. Prototipo Inicial

9.5 Fuente de poder del prototipo:

Teniendo la conexión del inserto de baterías descrito en el plano y la corriente consumida por el actuador normalmente (dato suministrado por los técnicos), se determinó el voltaje y la corriente necesaria para construir la fuente: 21 Voltios a 1,2 Amperios).



Figura 60. Batería de Litio

Partiendo de la imagen anterior se observa como cada batería está dividida en dos celdas conectadas en serie de 3.5 Voltios, es decir 7 Voltios. Cada paquete de baterías está compuesto por 3 baterías iguales, conectadas en serie para un total de 21 Voltios.

Para solucionar el inconveniente con la descarga de las baterías en pruebas, se adecuó el prototipo con una fuente de voltaje regulada: Una fuente de laboratorio (Output Voltaje: 0-30Vdc, Output Current: 0-1A, Power Rating: 30W, Supply Voltage: 115Vac-230Vac) de las herramientas de EM (Electromagnéticas) sin uso alguno por no estar certificadas para enviar a pozo.

Debido a la sensibilidad de las tarjetas se decidió adecuar esta fuente al circuito. Aprovechando sus beneficios al de ser de uso industrial y sus características sobresalientes como la regulación de voltaje, el bajo nivel de ruido que genera y la reducción de posibles fallas en la comunicación por interferencia. Además que cuenta con la posibilidad de regular la máxima corriente suministrada al circuito y mostrar dichos valores en dos display 7 segmentos.

Con el uso de todos sus componentes internos: El transformador, el transistor de potencia, el circuito con el puente rectificador, se sacó provecho incluso de los display 7 segmentos, además del circuito de salidas de voltaje regulado, los interruptores y los leds testigos.



Figura 61. Fuente de voltaje usada

Se realizó la fijación de componentes nuevos y tarjetas, se realizaron las conexiones necesarias, se fijó el voltaje y la corriente necesarios (21 Voltios - 1 Amperio). Igualmente se conectaron los 2 display 7 segmentos, se fijaron en la parte externa de la caja como indicadores, dándole un aspecto más moderno a la caja.



Figura 62. Adecuación interna final del prototipo

Se adecuaron algunos detalles menores como interruptores, fijación de la fuente de voltaje y de cables. Se adecuó la tapa, se aseguró y adicionalmente se le colocaron algunos soportes en la base.



Figura 63. Adecuación externa final del prototipo



Figura 64. Prototipo Final

10.RESULTADOS Y PRUEBAS

10.1 Pruebas Específicas de la herramienta:

Actualmente, en el área de reparación y mantenimiento de Geopilot, se realizan específicamente 5 pruebas a la herramienta para verificar su correcto funcionamiento y para que en caso de fallas se tenga una evidencia de que la herramienta salió funcionando correctamente del taller.



Nivel 1	• Simulación Geopilot en campo
RAM Test	• Revisión del estado de memoria
Confidence Test	• Verificación parámetros de funcionamiento
Shock Pulse Test	• Medición de Ruido en los Rodamientos
Relieve Valve Seal	• Prueba de presión del compensador

Figura 65. Pruebas Específicas de la herramienta.

10.1.1 Prueba de Nivel 1:

Esta prueba se realiza cada vez que sale e ingresa una herramienta al taller, en esta prueba se simula el funcionamiento del Geopilot en campo, para ello se acopla el Geopilot en forma horizontal a un motor que hace girar el Shaft (eje principal sobre el que se arma toda la herramienta). Se configura la máquina para que gire a 12 Hz es decir a 30 RPM, debido a que es a esta velocidad se activa la herramienta.

Con agua inyectada a través de dos ductos se refrigeran los sellos de la herramienta en movimiento (el agua reemplaza en este caso la función del lodo en campo). Se conecta un láser en la parte inferior del Shaft y se coloca un tablero con el que se mide el Toolface (Orientación de la Cara de la Herramienta) y la inclinación (ángulo con respecto a la vertical) de Geopilot.

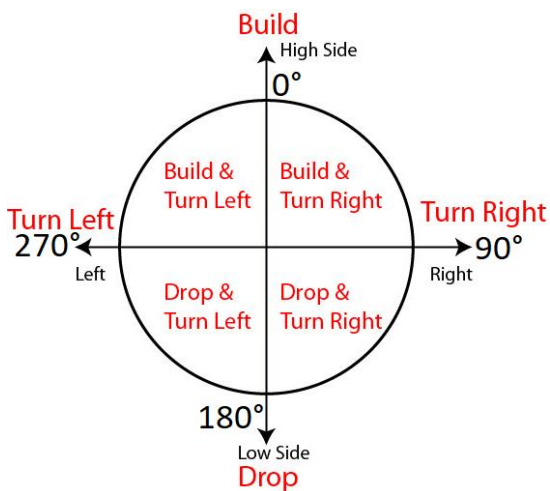


Figura 66. Toolface

Posteriormente, se conecta la herramienta a través del Repeater insert para la comunicación con el software GP Test de Halliburton, el cual a través de una interfaz muestra el estado de los sensores, las tarjetas electrónicas, la batería y su orientación.

Luego se conecta la herramienta al computador a través del CIM I/O, se abre el programa, se configura el medio de comunicación (EM Coupler o Repeater) y éste automáticamente detecta o no al Geopilot.

A continuación se muestra la ventana principal del programa la cual está compuesta por 8 secciones principales:



Figura 67. Panel indicador para Geopilot completo

Sección	Descripción
1. Tool ID and Software Versions	En este espacio se muestra el número de identificación de la herramienta, la versión del software de todas las tarjetas incluyendo el ABI. Es aquí donde se realiza el reconocimiento de cada tarjeta.
2. Cam Counts and RPM Counts	Aquí se muestran las RPM que cuenta el sensor de Hall Effect del EM Coupler para medir la velocidad y los Cams Counts Upper y Lower de posibles posiciones de las excéntricas.
3. ABI and Gamma	En este espacio se muestra el Toolface y la inclinación del Gamma. Adicionalmente se indica el G total que es el cálculo de la resultante de la aceleración que actúa sobre un

	cuerpo. Generalmente para objetos en estado estacionario es 1.
4. Inclination/Vertical Cruise Setting	Indica los valores que se le configuran al Geopilot en campo, cuando se trabaja en modo Crucero es decir similar al piloto automático, este tipo de navegación se configura una vez alcanzada determinada inclinación y cuando se necesita que la herramienta no se desvíe.
5. Electrical and Environmental Data	Indica el voltaje y la corriente del SubBus de comunicación, es decir el EM Coupler, además de la carga de las baterías de litio y el voltaje en el resto de la herramienta, que debe ser muy similar al del EM Coupler. También el voltaje dual la temperatura y la humedad de la formación.
6. Current Geopilot/Geopilot Settings	El primero indica el Toolface y la inclinación actual del Geopilot. El otro indica los valores de configuración que se le fijaron.
7. Operation	Son indicadores booleanos que indican el modo de operación de la herramienta, muestran si está rotando, si los Clutch están activados, si está llegando a la posición de origen.
8. Status	Son indicadores booleanos que funcionan como alarmas al cambiar de color verde a rojo (alerta) e indican por ejemplo si el nivel de aceite está bajo o no tiene aceite la herramienta, entre otros aspectos críticos que tienen que ser monitoreados.

Tabla 2. Descripción Secciones del Panel indicador

Con los botones inferiores (Close, Clever Ctrl, TF & Defl., Gamma Ctrl) se alteran los valores y estados, se activan y desactivan los Clutches, se alteran los valores de inclinación y de Toolface (para variar la deflexión del Shaft).

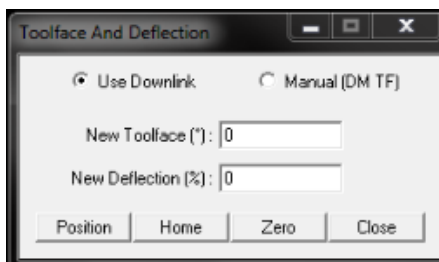


Figura 68. Configuración de Toolface e Inclinación.

Por ejemplo, si se le coloca en los parámetros un Toolface de 180° y una inclinación del 100% la parte inferior o punta del Shaft, el láser se posicionaría de la siguiente forma.

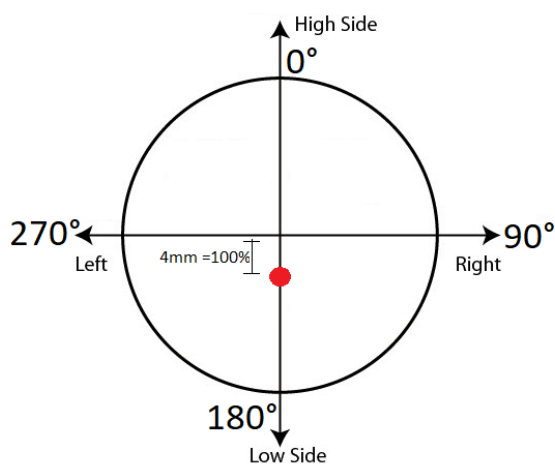


Figura 69. Ejemplo de posicionamiento del láser.

Debido a que cada anillo excéntrico puede deflectar el Shaft 2mm. Al poseer dos anillos en total el Shaft se deflecta máximo 4mm.

10.1.2 RAM Test:

Inside Studio desarrollado por Halliburton, es un software que permite correr y leer los datos de las herramientas tanto en el taller como en pozo, se realiza con este software el RAM Test, una prueba que permite observar el estado de la memoria del Geopilot.

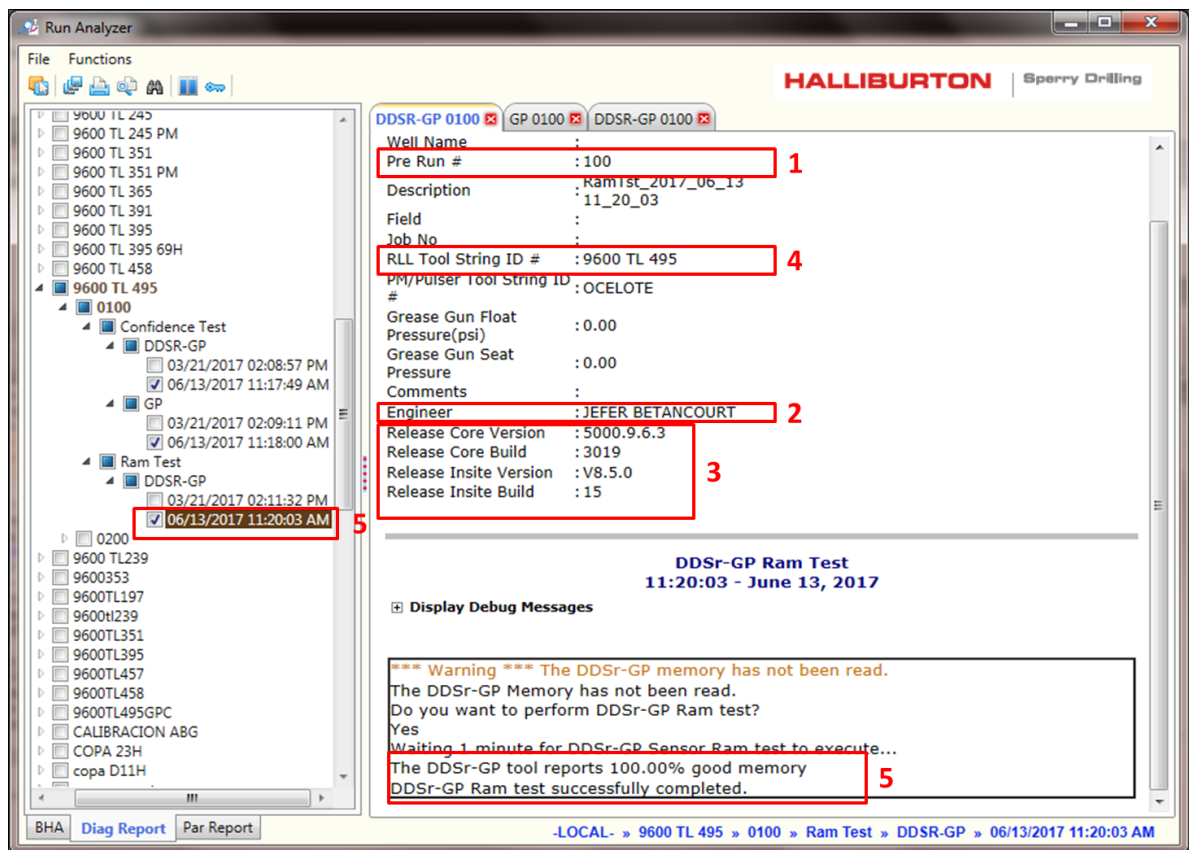


Figura 70. RAM Test.

En la figura anterior se observan datos referentes a la corrida de Geopilot (1), el nombre del técnico que realizó la prueba (2), las versiones del software (3), el tamaño de la herramienta (4), la fecha y hora en que se realizó la prueba (4) y el estado de la memoria (5).

10.1.3 Confidence Test:

Esta prueba sirve para verificar que los voltajes y las corrientes actuales de la herramienta se encuentren dentro de los parámetros normales (1). El Toolface (2) y la inclinación del Housing (3), las versiones de las tarjetas electrónicas (4), el tamaño de la herramienta e información en general de la corrida (5).

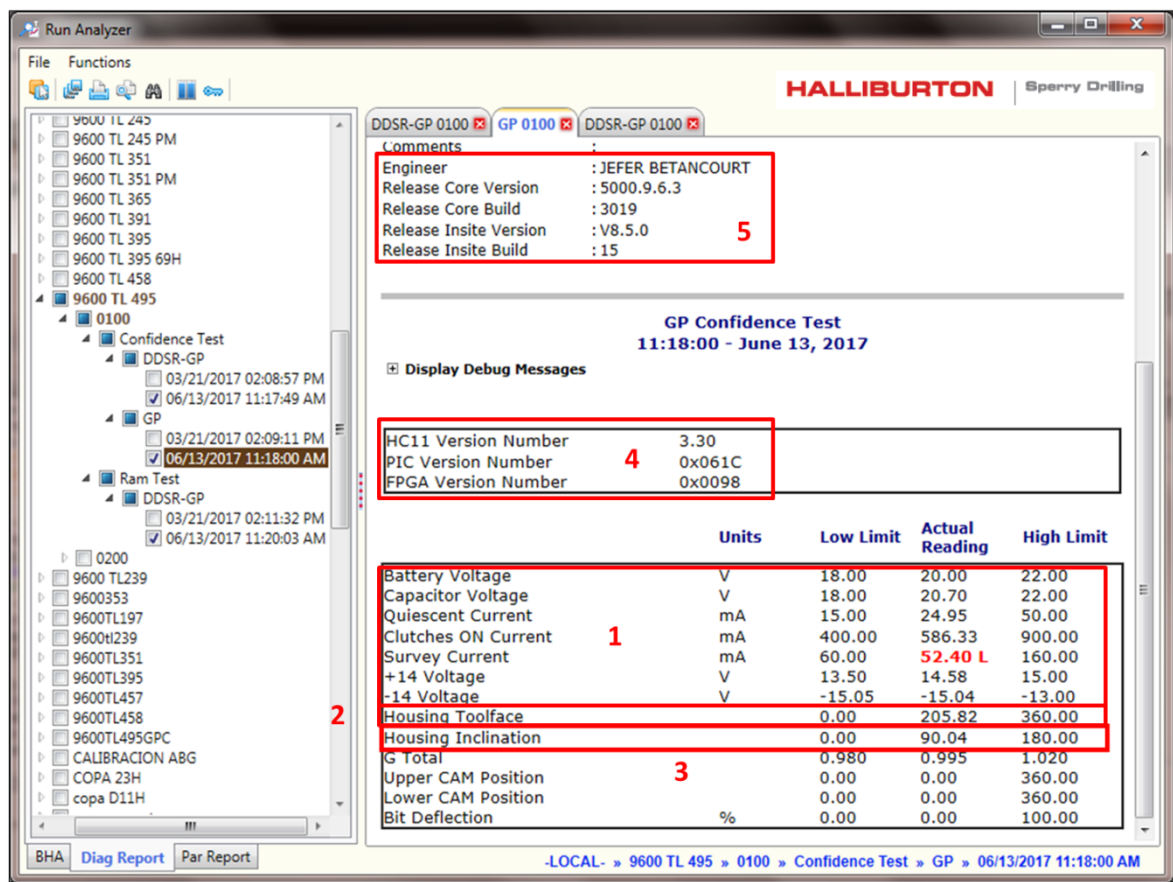


Figura 71. Confidence Test.

Debido a que las pruebas se realizan con el Geopilot de forma horizontal se observa que en la gráfica indica un valor de 90° de inclinación en el Housing; en campo cuando la herramienta se ubica de forma vertical, este valor cambia a 0°.

10.1.4 Shock Pulse Test (Medición de Ruido en los Rodamientos):

Esta prueba permite medir el Ruido que tienen los rodamientos del Geopilot. Inicialmente se pone a girar la herramienta a 60 RPM, siguiendo el procedimiento ya establecido, a medida que se va midiendo se va llevando en registro en una bitácora de pruebas.

Inicialmente se toman 7 medidas y se saca un promedio entre las medidas de cada rodamiento, Las unidades en las que se mide el ruido es en dB/cm o dB/mm dependiendo del diámetro de cada rodamiento, se toman las medidas en ciertas distancias ya marcadas encima del Housing (tubería que recubre los sub ensambles de la herramienta), donde se conoce están ubicados. Se utiliza un

instrumento medidor de ruido y vibraciones en la herramienta que posee un micrófono especial en la punta.

10.1.5 Relieve Valve Seal (Prueba de Presión):

En ésta prueba lo que se hace es contraer el compensador al máximo y llevarlo a una presión entre 480 y 580psi, para verificar que la Relieve Valve compense esa presión. Si la presión sube, la Relieve Valve libera aceite y el compensador libera la presión es decir se descomprime. La relieve valve cumple con la función de dejar salir el aceite pero al mismo tiempo cumple con la función de sellar, para evitar que se salga todo el aceite.

El fluido entra con una presión dentro del Geopilot, lo que se conoce como presión anular, que va aumentando a medida que la herramienta va bajando. Lo que se necesita es compensar las dos presiones, la interna y la externa, idealmente manteniendo un diferencial de presión igual a cero, para evitar que la presión que ejerce el exterior sobre el Geopilot lo destruya.

10.2 Pruebas realizadas al Prototipo:

Se realizó una prueba con una herramienta que fue traída desde Ecuador para ser desarmada y reutilizar las partes en buen estado. Debido a la alta probabilidad de causar algún tipo de daño en algún sensor, se conectó el prototipo al Connector Block por medio del Geak y se probó con esta herramienta.

Se identificó que la lectura de ABI estaba correcta, según la inclinación y el G Total, pero el encendido y apagado de los Clutches (el dispositivo electromecánico que cuando se activa, atrae un armazón para permitir el movimiento de los anillos excéntricos) no se hacía correctamente.

Se realizó otra prueba adicional con solo los dos clutches conectados en paralelo el uno del otro, para verificar la corriente requerida en la activación de los dos clutches (1,2 Amperios encendidos al mismo tiempo) y la corriente consumida por el prototipo conectado con el computador (400 mA aprox.).

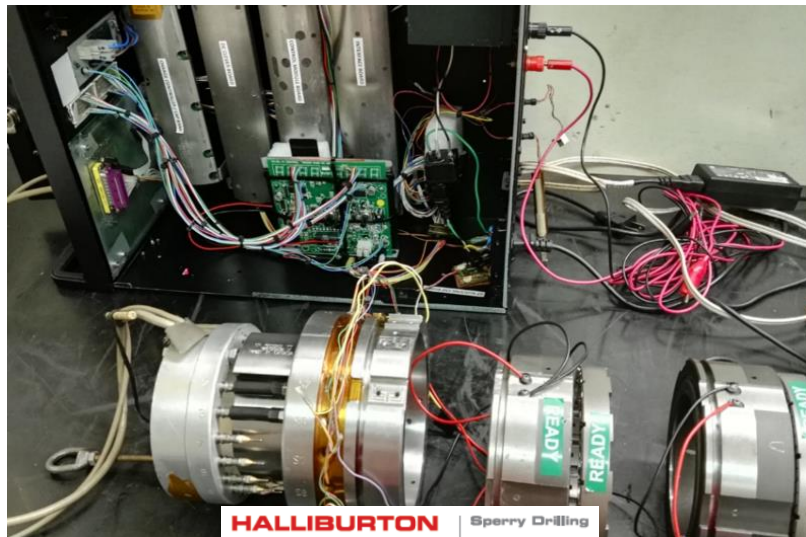


Figura 72. Prueba clutches en paralelo.

Se realizaron algunas pruebas con el prototipo final. A continuación, se muestra una prueba de Nivel 1, en la que se conectó el prototipo inicialmente al CIM I/O (dispositivo que permite leer la herramienta con el computador) por medio del EM Coupler. Se observó que el GP Test reconoció la herramienta (las 4 tarjetas electrónicas del inserto, anteriormente mencionadas).

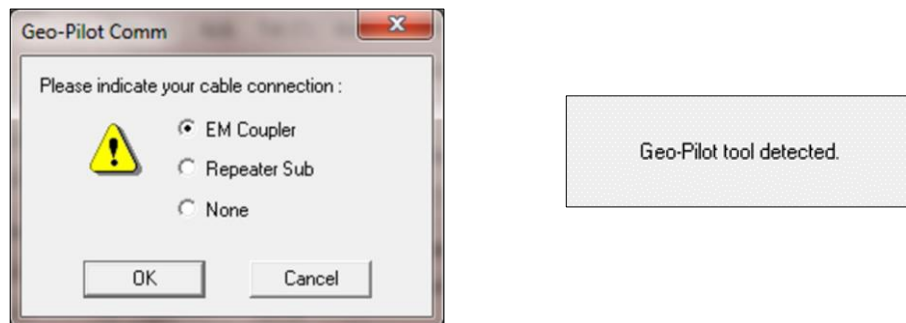


Figura 73. Selección de interfaz de comunicación y Detección del inserto

También se realizó la prueba de funcionamiento y comunicación con la Clever Board, activando y desactivando los Clutch, y se observó cómo los indicadores booleanos cambiaron de estado, al activar o desactivar cada Clutch.

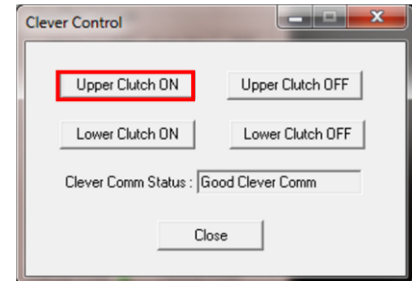
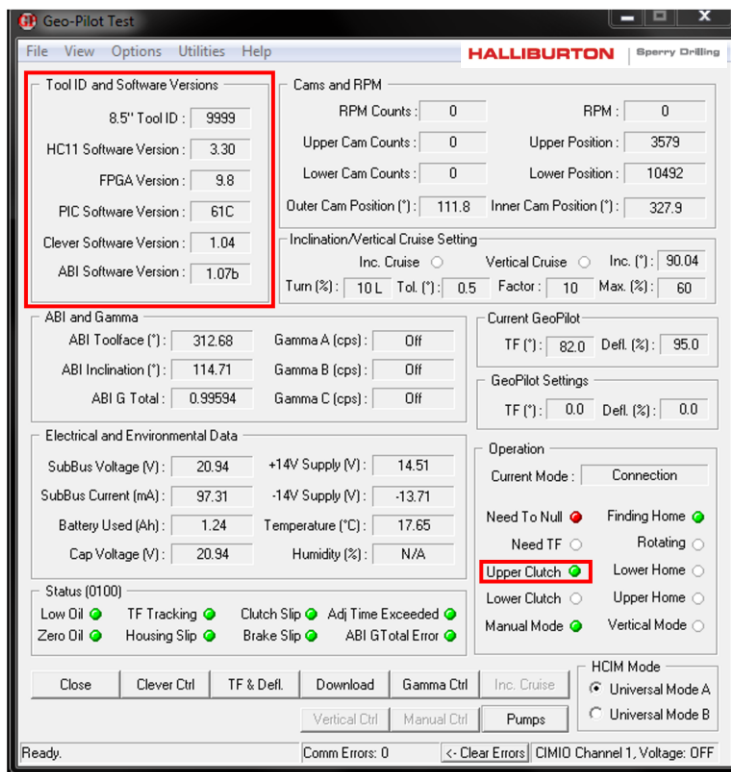


Figura 74. Prueba de comunicación de la Clever Board

Posteriormente se procedió a conectar el sensor de RPM (Hall Effect) y el sensor de aceite a las dos entradas del inserto: (Ver Figura 75)

Se comprobó cómo al pasar un imán varias veces por el sensor de RPM, la casilla que cuenta las RPM en el programa aumentaba a medida que dicho sensor detectaba la presencia de un campo magnético una y otra vez (Ver Figura 76).

También se comprobó cómo al oprimir ligeramente el pistón del sensor de aceite se encendía la alerta de nivel bajo. Si se oprimía hasta el fondo el pistón, se encendía la alerta de sin aceite” respectivamente.

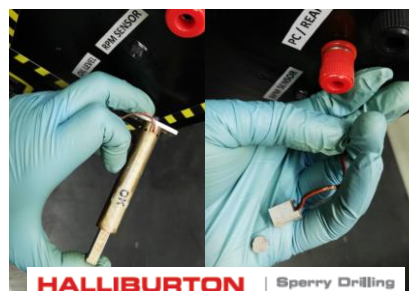


Figura 75. Prueba del sensor de aceite y de RPM (Hall Effect)

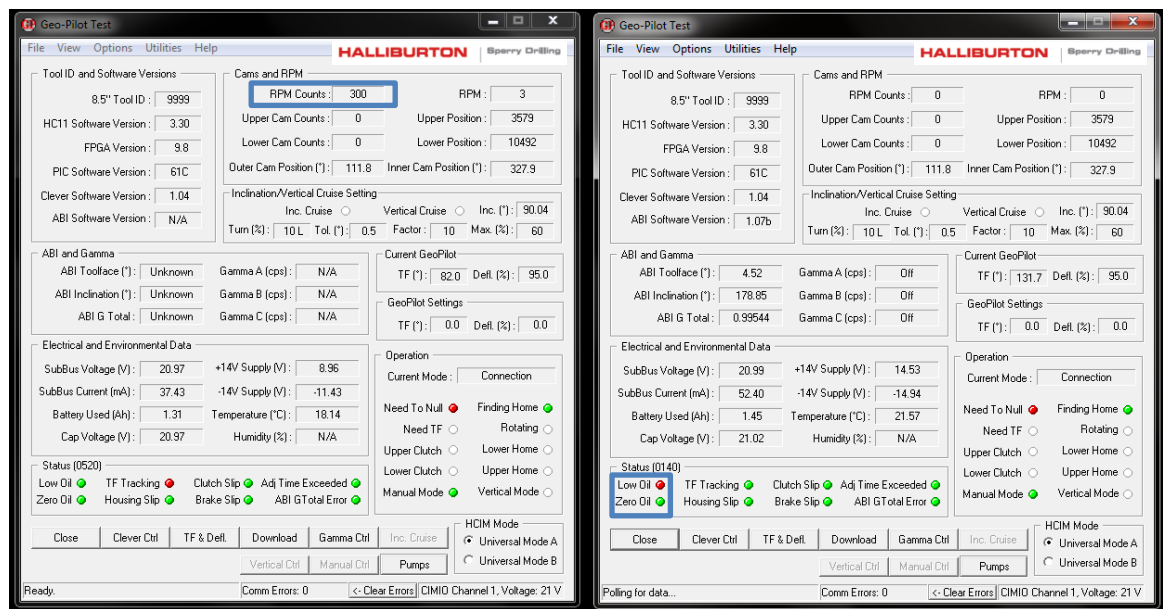


Figura 76. Incremento de RPM y Activación indicador de Nivel Bajo de Aceite

Una vez comprobado el buen funcionamiento del inserto, se procede a desactivar los Clutches y se apaga el prototipo desde el programa. Para luego apagar el prototipo en físico. (Ver imágenes a continuación)

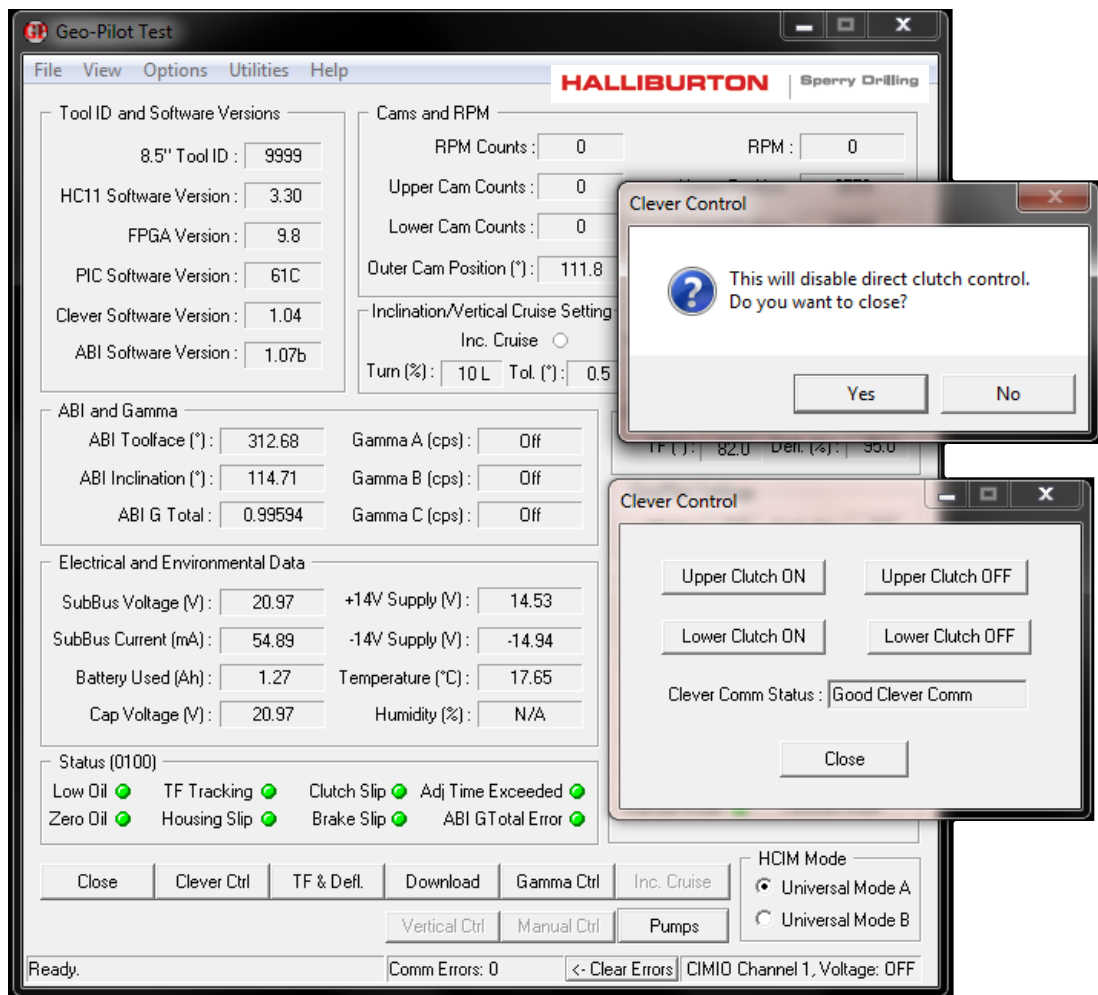


Figura 77. Desactivación de Clutches

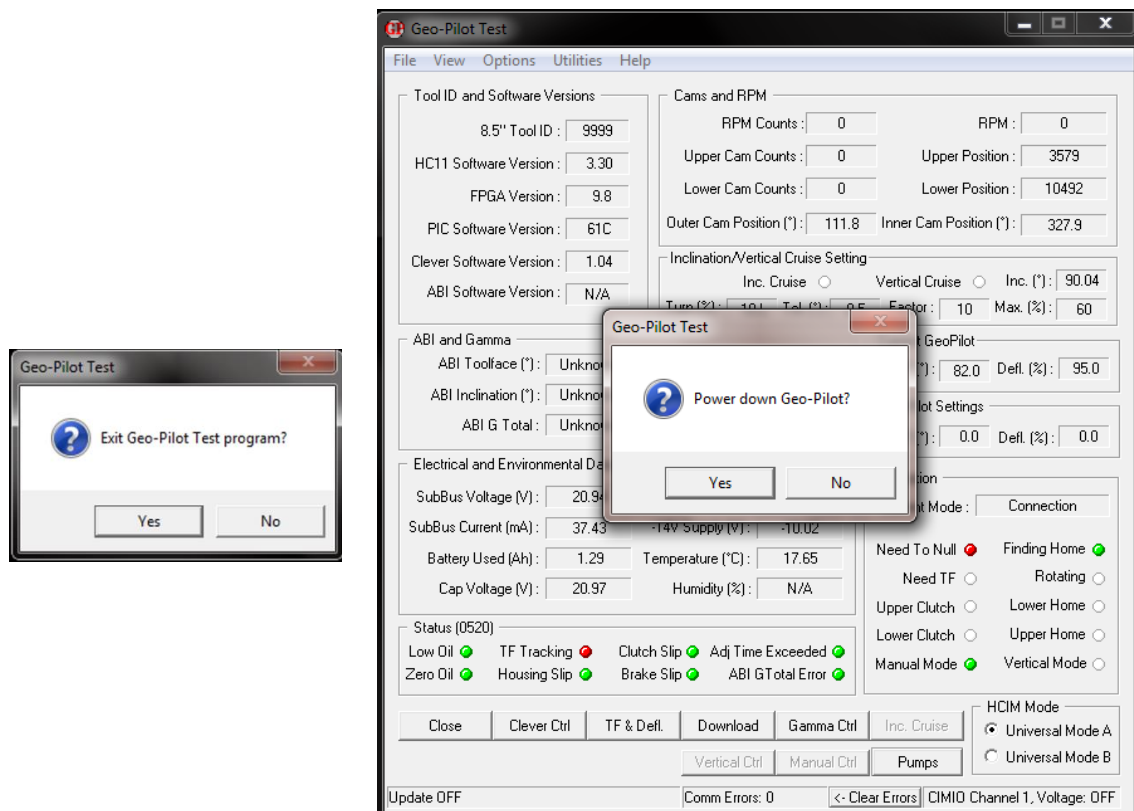


Figura 78. Cierre del programa

Se realizó la misma prueba conectando el Repeater Insert a la entrada del inserto (conectado al EM Coupler) y el Repeater conectado al Computador con el CIM I/O. El inserto funcionó correctamente como se muestra a continuación.



Figura 79. Prueba con Repeater

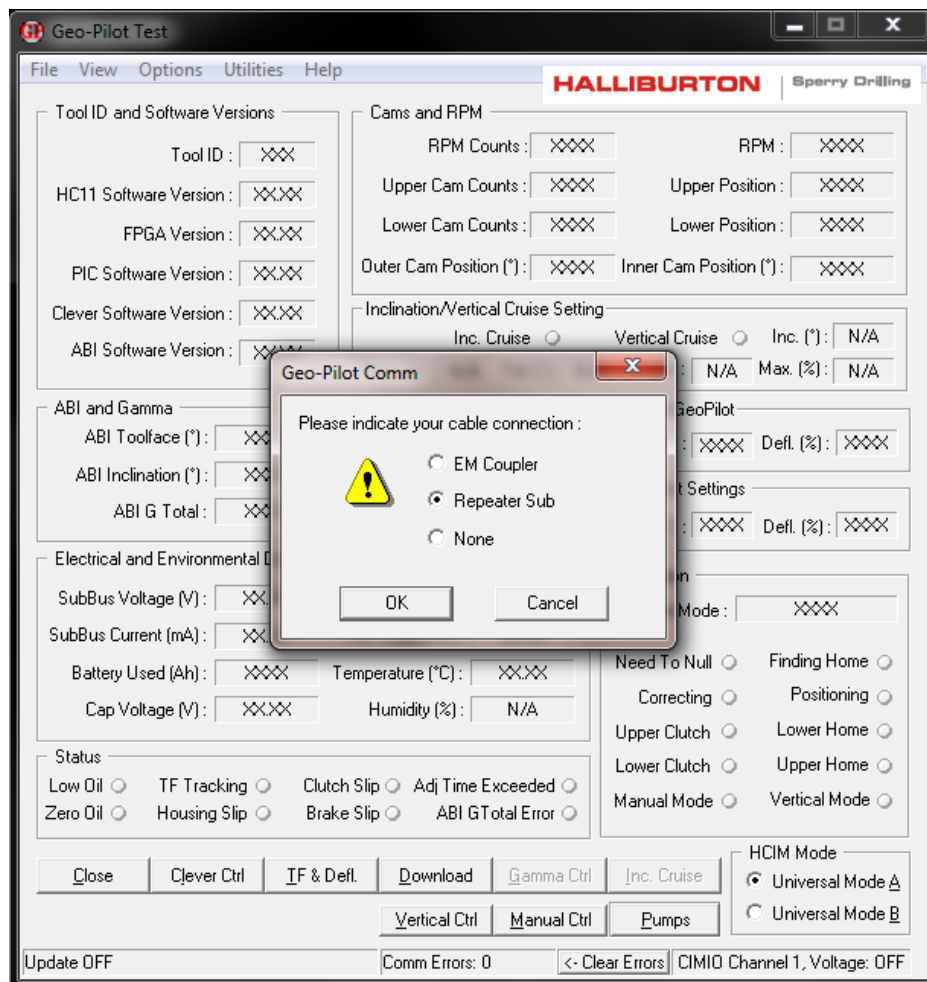


Figura 80. Prueba con Repeater

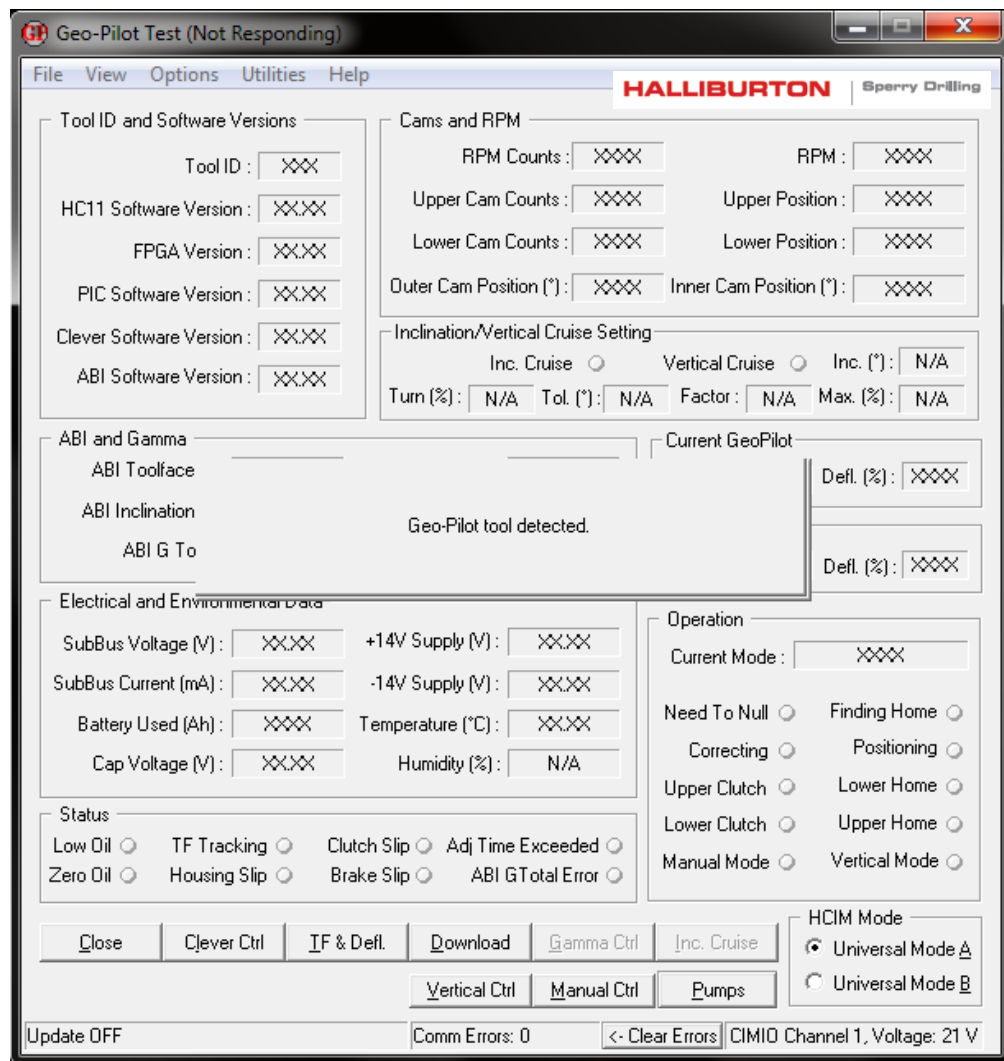


Figura 81. Reconocimiento del Geopilot con Repeater

Además se realizaron pruebas con herramientas que fallaron en pozo, que presentaban algún tipo de falla y se encontró que por ejemplo al probar con un Repeater en mal estado, el inserto simplemente no comunicaba, es decir el GP Test no reconocía el Geopilot.

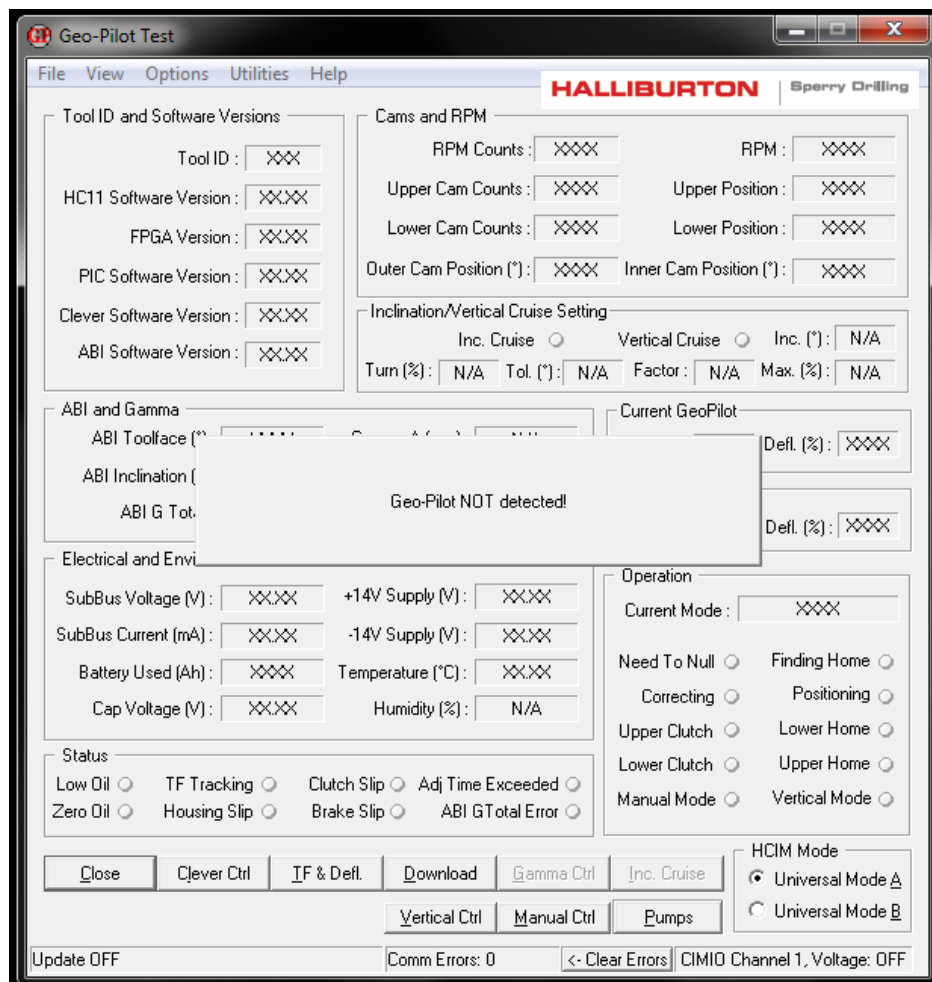


Figura 82. Detección problema electrónico Repeater



Figura 83. Repeater dañado

Adicionalmente se realizó una prueba específica con el Repeater conectado junto con el prototipo. Dicha parte fue expuesta a altas temperaturas (150°C) durante varias horas (2 horas con horno encendido y 3 esperando que el Repeater se enfriara dentro del mismo para evitar exponerlo a choques térmicos), con el fin de que la comunicación entre las dos partes no variara. Esta prueba se hizo para comprobar la confiabilidad del inserto, la buena comunicación y el buen funcionamiento de las tarjetas de Repeater trabajando con altas temperaturas y simulando las temperaturas a las que este podría ser expuesto al trabajar en pozo. El inserto funcionó correctamente como se observa en la imagen a continuación.



Figura 84. Prueba con Repeater en horno

Se realizaron adicionalmente pruebas con diversos actuadores de diferentes tamaños (7600 y 9600), para comprobar su funcionalidad y utilidad al momento de las pruebas.

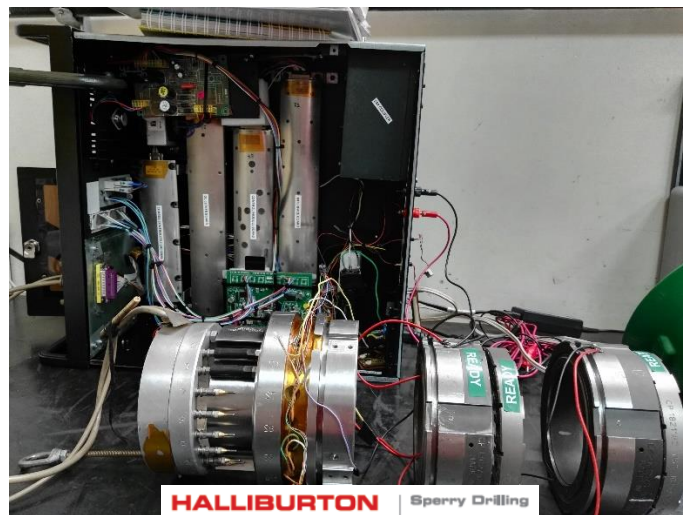


Figura 85. Prueba con Clutch 7600



Figura 86. Prueba con Clutch 9600 y ABI

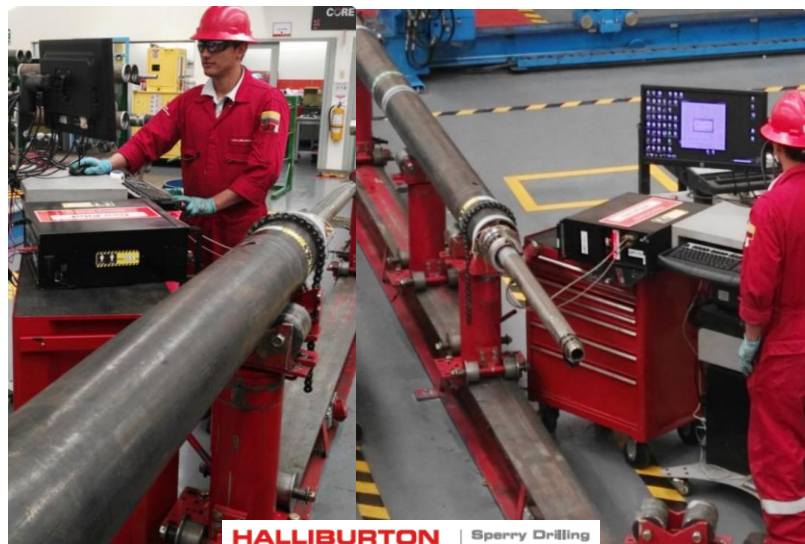


Figura 87. Pruebas durante el ensamble

Teniendo en cuenta las Work Orders (Registros que se hacen en la base de datos de la empresa SAP donde se detallan las horas de trabajo, los costos asociados con el mantenimiento y materiales usados en cada ensamble por herramienta), se realizó el cálculo total de los costos de mantenimiento asociados a 2 herramientas: El Geopilot 7600 TL277 y el Geopilot 9600 TL351.

De acuerdo a los últimos 4 ensambles, se registraron en la Tabla 1 y 2, las horas de mantenimiento para cada sub assembly y el correspondiente costo según dichas horas de mantenimiento. Con estos datos, se determinó el valor de una

hora de mantenimiento por sub assembly. Por último se realizó el cálculo del Costo Total según la fecha de ensamble.

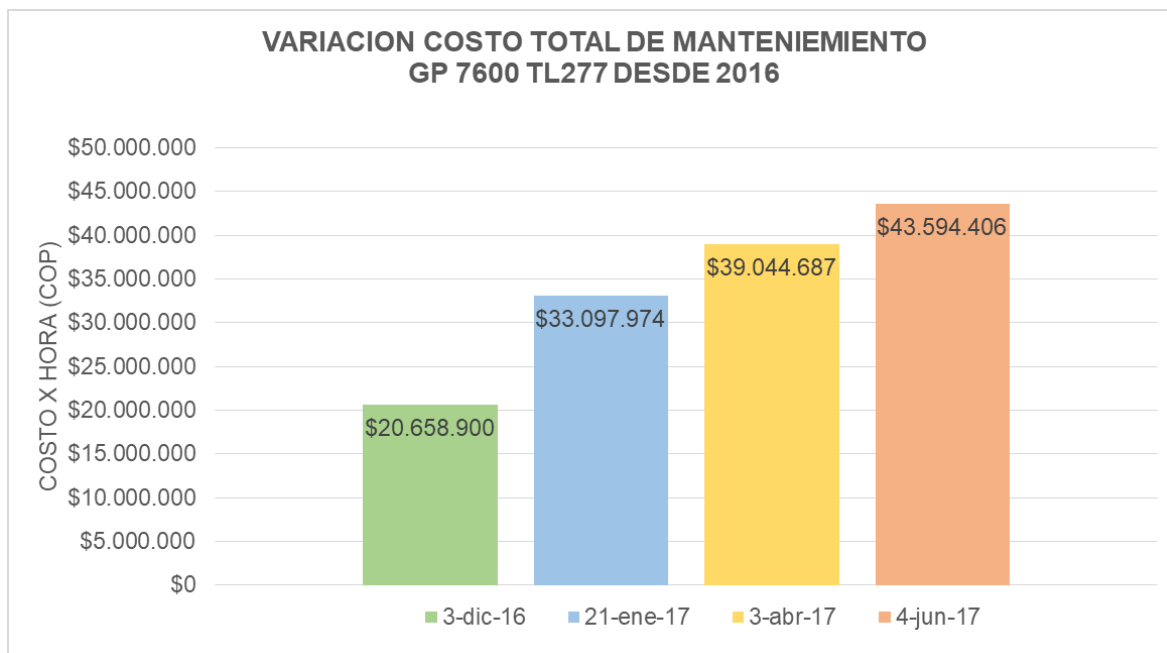
DATE	GP	EQUIPMENT	SUB ASSEMBLY	WO	HORAS	DINERO COP	COSTO X HORA	COSTO TOTAL
3-dic-16	7600 TL 277	11334781	Principal	315159150	120	\$8.882.442	\$74.020	\$20.658.900
		10438649	Power Unit	315160581	44	\$4.374.423	\$99.419	
		12532319	Actuators	315160583	54	\$4.441.221	\$82.245	
		11446094	Repeater	315160585	32	\$1.480.407	\$46.263	
		12532125	Driver	315160588	32	\$1.480.407	\$46.263	
21-ene-17	7600 TL 277	11334781	Principal	315340537	198	\$18.305.583	\$92.452	\$33.097.974
		10438649	Power Unit	315340546	45	\$4.160.360	\$92.452	
		12532319	Actuators	315340547	47	\$4.345.265	\$92.452	
		11446094	Repeater	315340548	30	\$2.773.573	\$92.452	
		12532125	Driver	315340550	38	\$3.513.193	\$92.452	
3-abr-17	7600 TL 277	11334781	Principal	315496883	178	\$17.696.529	\$99.419	\$39.044.687
		10438649	Power Unit	315496887	55	\$9.716.170	\$176.658	
		12532319	Actuators	315496888	51	\$5.070.354	\$99.419	
		11446094	Repeater	315496889	33	\$3.280.817	\$99.419	
		12532125	Driver	315496890	33	\$3.280.817	\$99.419	
4-jun-17	7600 TL 277	11334781	Principal	315644067	182	\$19.988.967	\$109.829	\$43.594.406
		10438649	Power Unit	315644070	55	\$10.837.288	\$197.042	
		12532319	Actuators	315644072	48	\$4.860.291	\$101.256	
		11446094	Repeater	315644073	36	\$3.953.930	\$109.831	
		12532125	Driver	315644075	36	\$3.953.930	\$109.831	

Tabla 3. Calculo costo Total GP 7600 TL277.

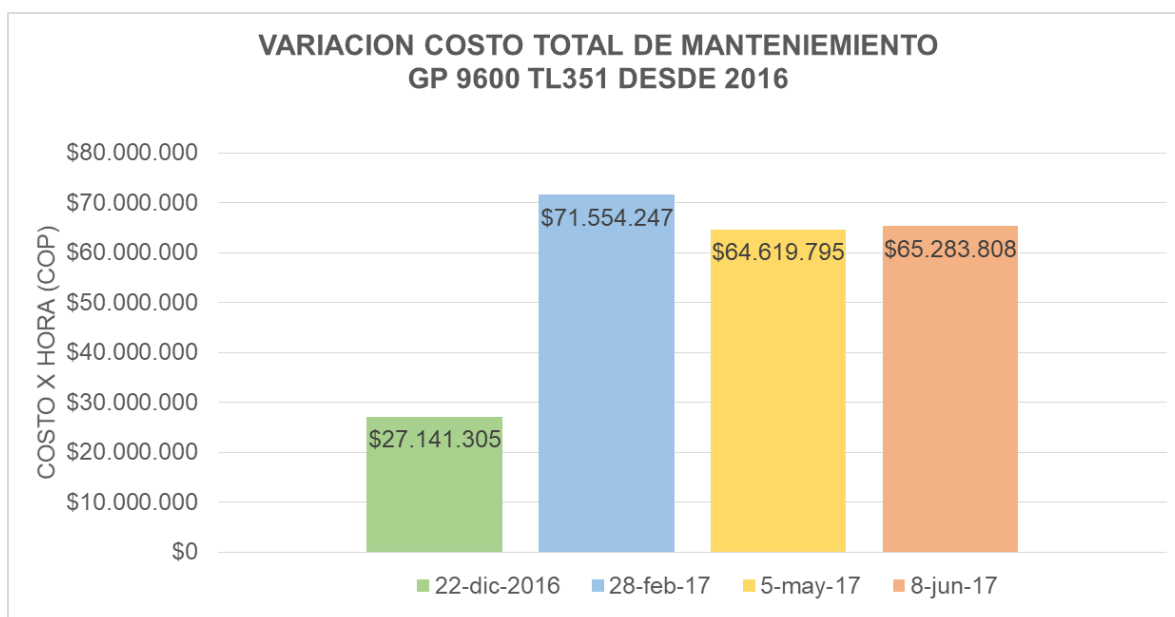
DATE	GP	EQUIPMENT	SUB ASSEMBLY	WO	HORAS	DINERO COP	COSTO X HORA	COSTO TOTAL
22-dic-2016	9600 TL 351	11758385	Principal	315568115	190	\$12.029.663	\$63.314	\$27.141.305
		11450230	Power Unit	315568118	44	\$4.374.423	\$99.419	
		11236376	Actuators	315568119	42	\$4.175.585	\$99.419	
		12104534	Repeater	315568121	33	\$3.280.817	\$99.419	
		11775674	Driver	315568122	33	\$3.280.817	\$99.419	
28-feb-17	9600 TL 351	11758385	Principal	315824747	264	\$45.877.139	\$173.777	\$71.554.247
		11450230	Power Unit	315824750	55	\$9.557.737	\$173.777	
		11236376	Actuators	315824748	55	\$9.557.737	\$173.777	
		12104534	Repeater	315824751	33	\$3.280.817	\$99.419	
		11775674	Driver	315824752	33	\$3.280.817	\$99.419	
5-may-17	9600 TL 351	11758385	Principal	316106552	278	\$41.002.278	\$147.490	\$64.619.795
		11450230	Power Unit	316148475	55	\$9.637.288	\$175.223	
		11236376	Actuators	316148473	33	\$5.782.373	\$175.223	
		12104534	Repeater	316148477	44	\$4.098.928	\$93.157	
		11775674	Driver	316148476	44	\$4.098.928	\$93.157	
8-jun-17	9600 TL 351	11758385	Principal	316106552	245	\$39.132.237	\$159.723	\$65.283.808
		11450230	Power Unit	316106561	55	\$10.123.660	\$184.067	
		11236376	Actuators	316106563	55	\$9.123.660	\$165.885	
		12104534	Repeater	316106564	36	\$3.452.125	\$95.892	
		11775674	Driver	316106562	36	\$3.452.125	\$95.892	

Tabla 4. Calculo costo Total GP 9600 TL351.

Por medio de la Grafica 1 y 2, se pretende mostrar la variación de los costos totales de mantenimiento según la fecha de ensamble para los dos tamaños diferentes:



Grafica 1. Variación Costo Total desde 2016 para GP 7600 TL277.



Grafica 2. Variación Costo Total desde 2016 para GP 9600 TL351.

Se observa cómo se producen diferencias notorias entre las fechas de ensamble en cuanto a horas y costos de mantenimiento. Es necesario mencionar que dichos costos varían dependiendo del valor del dólar en dicha fecha; debido también a la inmediatez o no del trabajo, a la disponibilidad de repuestos y a muchos otros factores adicionales.

Teniendo en cuenta los tiempos promedios en cuanto al mantenimiento rutinario, la movilización de un lado al otro de la Power Unit en el momento de realizar pruebas con el actuador y el Repeater, la dependencia de disponibilidad de la Power Unit para dichas pruebas y el tiempo total de ensamble de un Geopilot, se realizó un estudio para comparar el tiempo en horas al desempeñar dichas labores SIN el uso del prototipo y CON el uso del prototipo con el fin de demostrar la mejoría del tiempo del ensamble traducido directamente en un ahorro de dinero.

SUB ASSEMBLY	AHORRO TIEMPO PROTOTIPO (HRS)
Principal MB	4
Power Unit	2
Actuators	2
Repeater	10
Driver	0
TOTAL	18

Tabla 5. Ahorro en horas por el prototipo según sub assembly.

La información a continuación indica el tiempo mínimo y máximo necesario para el ensamble de cada parte que compone el Geopilot. Estos tiempos varían dependiendo de la disponibilidad de repuestos, el tiempo de las herramientas en lavado e inspección e incluso la persona o personas involucradas en su ensamble. Es necesario aclarar que se realizó teniendo en cuenta los testimonios de los técnicos especializados en cada área y teniendo en cuenta solo las 8 horas diarias que por ley se trabajan, sin tener en cuenta los recargos por horas extras ni auxilios.

SUB ASSEMBLY	DIAS DE ENSAMBLE		SIN PROTOTIPO		CON PROTOTIPO	
			HORAS DE ENSAMBLE		HORAS DE ENSAMBLE	
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
Principal MB	3	6	24	48	20	44
Power Unit	3	5	24	40	22	38
Actuators	3	5	24	40	22	38
Repeater	1	3	8	24	8	14
Driver	1	2	8	16	8	16

Tabla 6. Diferencia de horas con y sin el uso del prototipo según sub assembly.

De acuerdo a todas las posibles ventajas y beneficios que el desarrollo del proyecto trajo consigo, se realizó la comparación en términos monetarios para demostrar así el pequeño beneficio para la empresa y la ligera reducción en tiempo para los técnicos involucrados en el mantenimiento.

CALCULO COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO SIN PROTOTIPO							
DATE	GP	EQUIPMENT	SUB ASSEMBLY	HORAS	DINERO COP	VALOR X 1 HORA	COST. MANT. TOTAL X GP
4-jun-17	7600 TL 277	11334781	Principal	182	\$19.988.967	\$109.829	\$43.594.406
		10438649	Power Unit	55	\$10.837.288	\$197.042	
		12532319	Actuators	48	\$4.860.291	\$101.256	
		11446094	Repeater	36	\$3.953.930	\$109.831	
		12532125	Driver	36	\$3.953.930	\$109.831	
8-jun-17	9600 TL 351	11758385	Principal	245	\$39.132.237	\$159.723	\$65.283.808
		11450230	Power Unit	55	\$10.123.660	\$184.067	
		11236376	Actuators	55	\$9.123.660	\$165.885	
		12104534	Repeater	36	\$3.452.125	\$95.892	
		11775674	Driver	36	\$3.452.125	\$95.892	

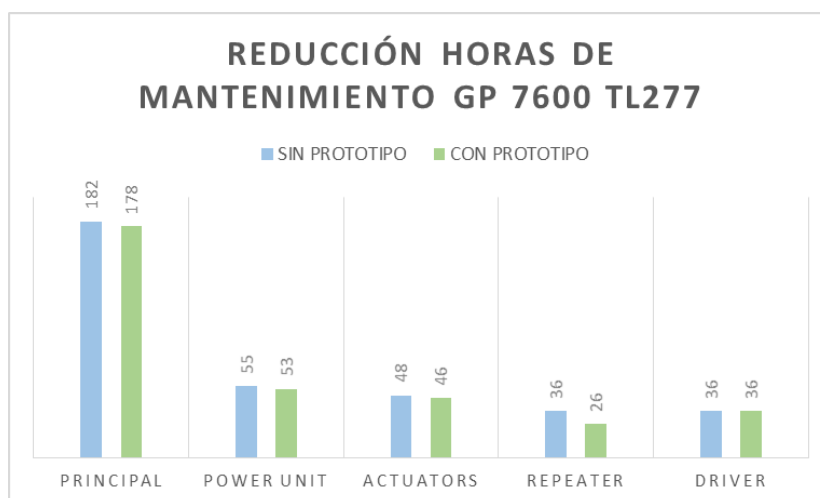
Tabla 7. Calculo costo total de mantenimiento sin prototipo.

Teniendo en cuenta el cálculo equivalente al valor de una hora normal de mantenimiento por ensamble, se realizó el cálculo del nuevo costo según la reducción de las horas con el uso del prototipo. Adicionalmente con los costos totales para cada caso se calculó dicha diferencia para indicar el valor en pesos ahorrados por herramienta.

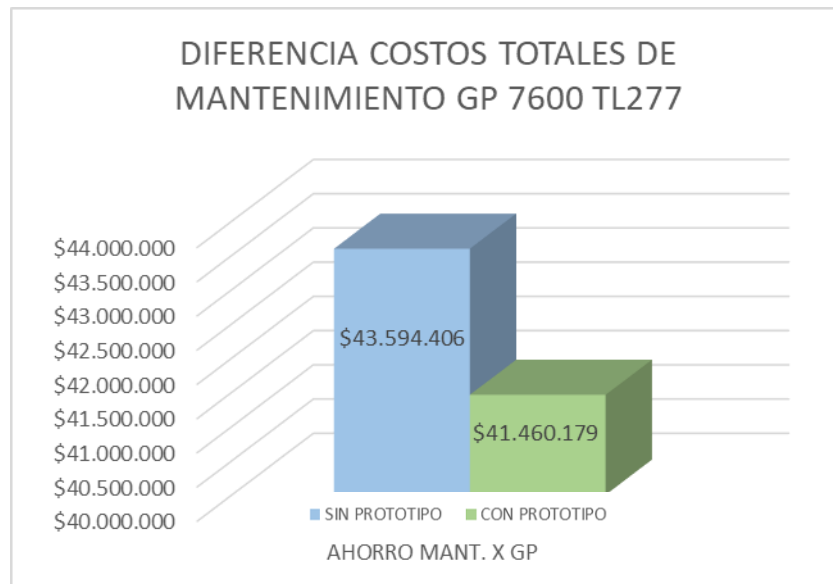
CALCULO AHORRO DE HORAS EN MANTENIMIENTO CON USO PROTOTIPO							
DATE	GP	EQUIPMENT	SUB ASSEMBLY	HORAS	DINERO COP	COST. MANT. TOTAL X GP	AHORRO MANT. X GP
4-jun-17	7600 TL 277	11334781	Principal	178	\$19.549.649	\$41.460.179	\$2.134.227
		10438649	Power Unit	53	\$10.443.204		
		12532319	Actuators	46	\$4.657.779		
		11446094	Repeater	26	\$2.855.616		
		12532125	Driver	36	\$3.953.930		
8-jun-17	9600 TL 351	11758385	Principal	241	\$38.493.344	\$62.986.089	\$2.297.720
		11450230	Power Unit	53	\$9.755.527		
		11236376	Actuators	53	\$8.791.891		
		12104534	Repeater	26	\$2.493.202		
		11775674	Driver	36	\$3.452.125		

Tabla 8. Calculo del Ahorro con uso del prototipo.

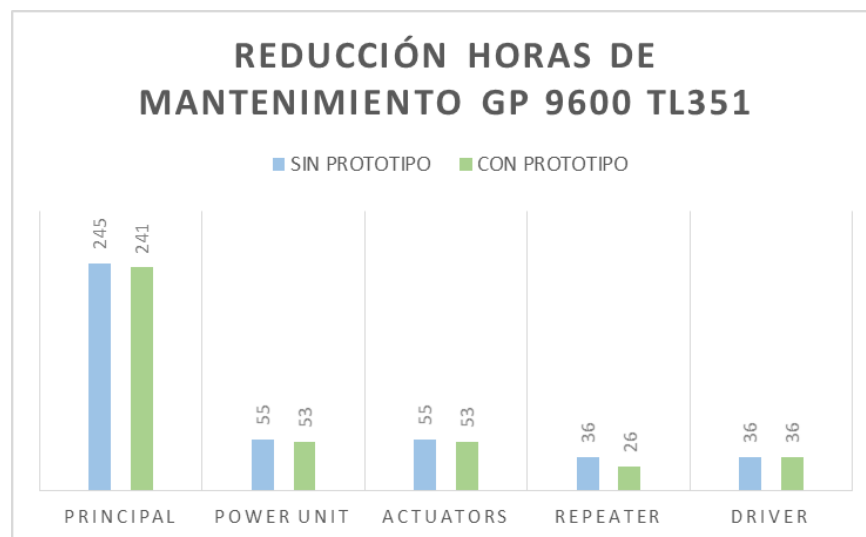
Se muestra a continuación la reducción en cuanto a tiempo y dinero, expresados gráficamente para ver fácilmente las mejoras implementadas



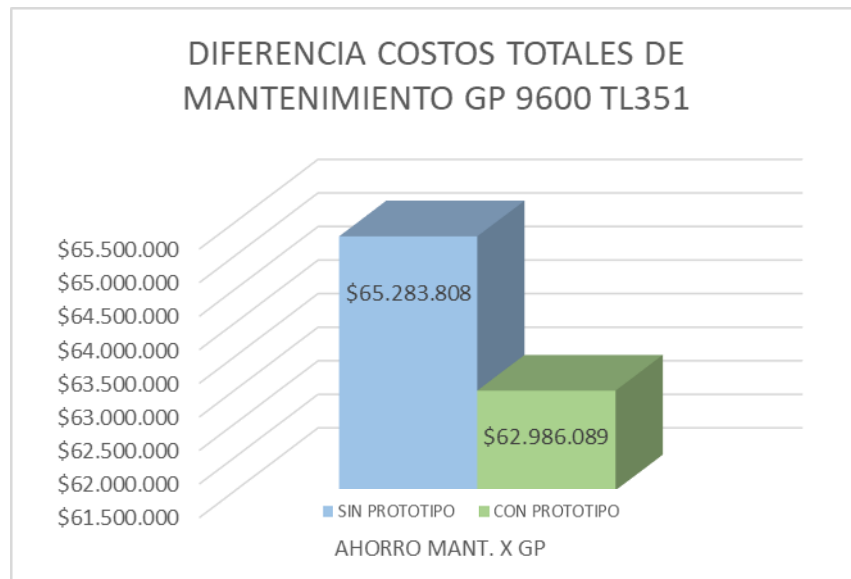
Grafica 3. Reducción en Horas para GP 7600 TL277.



Grafica 4. Diferencia entre costos totales para GP 7600 TL277.



Grafica 5. Reducción en Horas para GP 9600 TL351.



Grafica 6. Diferencia entre costos totales para GP 9600 TL351.

De acuerdo a lo anterior, se realizó el cálculo de la Variación porcentual de dichas cantidades para determinar el cambio del valor de los costos y tiempos de mantenimiento totales, antes de la implementación del prototipo con respecto a los costos reducidos debido a la mejora implementada.

HERRAMIENTA	VARIACIÓN PORCENTUAL COSTOS DE MANTENIMIENTO
7600 TL 277	4,90%
9600 TL 351	3,52%

Tabla 9. Ahorro en términos de costos.

HERRAMIENTA	VARIACIÓN PORCENTUAL TIEMPO
7600 TL 277	5,04%
9600 TL 351	4,22%

Tabla 10. Ahorro en términos de tiempo.

11. CONCLUSIONES

Se realizó el diseño, desarrollo y la implementación del prototipo de Inserto Electrónico del Geopilot para el motor giratorio orientable Geopilot, útil en la realización de pruebas y diagnóstico de fallos de las tarjetas electrónicas y de los periféricos involucrados en su funcionamiento. Con el prototipo se suple la necesidad de contar con una herramienta robusta y completa destinada para la realización de pruebas, tanto del Geopilot de 9600 como el de 7600 que facilite las labores de mantenimiento y pruebas.

Se realizó una descripción del funcionamiento completo del Geopilot, incluyendo sus 4 tarjetas electrónicas con tecnología Legacy, implicadas en la complejidad de su funcionamiento. Adicionalmente se identificaron las diferentes pruebas diagnósticas que se realizan siempre en el momento del mantenimiento, la reparación y el armado de la herramienta.

Gracias al prototipo desarrollado con este proyecto se logró reducir el tiempo de mantenimiento de la Power Unit: El prototipo es un mecanismo facilitador para algunas pruebas. Se utilizará como banco de pruebas sustituto de una Power Unit cuando se realice el cambio de tarjetas por tiempo cumplido de funcionamiento (2000 horas en funcionamiento), prueba que como se mencionó anteriormente requiere de tener una Power Unit disponible durante todo un día para verificar que no se altere la comunicación con el Repeater dentro del horno en ningún momento.

El prototipo se usará como herramienta adicional para el Main Builder en el momento del ensamble, para verificar el correcto funcionamiento y lectura del ABI según la posición y los sensores del actuador e incluso ajustar los Gaps o espacios necesarios entre los clutches, sin necesidad de tener otra Power Unit disponible en el momento.

Con la implementación del prototipo se garantiza el funcionamiento de las herramientas que salen de los laboratorios del Geopilot antes de ser ensamblados por el Main Builder. El prototipo puede integrarse al procedimiento de mantenimiento y ensamble como una Prueba Adicional que se hace con algunas de las partes como el actuador, el ABI, los sensores implicados, el Connector Block y el Repeater antes y después de ser ensamblados en el Shaft. De esta forma se reducen el tiempo perdido que algunas veces se produce por alguna falla en una parte o conector en el momento del ensamble y que por la naturaleza de su

estructura, dicha parte averiada requiere ser cambiada por lo general desarmando de nuevo gran parte del Geopilot.

De acuerdo a los resultados obtenidos, con la implementación del prototipo se ahorraron en total 18 horas de mantenimiento y de acuerdo a esto, se presenta un ahorro del 4,90% para el Geopilot de 7600 y 3,52% para la herramienta de 9600 respectivamente con respecto a los costos normales totales de mantenimiento.

Indirectamente se reducen así las posibles fallas no operativas de las partes del Geopilot en campo, se disminuyen los costos para la empresa asociados con el NPT (tiempo no productivo) y se mejora la eficiencia en los procedimientos del Taller.

Debido a su diseño compacto y su facilidad al momento de uso, se mejora la calidad de vida de los técnicos en el taller, se reducen los tiempos y distancias de desplazamiento en comparación con el uso de una Power Unit. Al ser mucho más liviana y pequeña que una Power Unit convencional, no se requiere el uso del puente grúa para su desplazamiento, ni de los “Trolley cars” involucrados en el traslado. Se garantiza el bienestar laboral con la reducción del tiempo de mantenimiento, al tiempo que se disminuye el tiempo de reparación de los sensores, actuadores y periféricos y se brindan más facilidades y mejoras en la eficiencia operacional y productiva de la empresa.

Es importante mencionar el ahorro energético que el prototipo representa, que se traduce en una mayor reducción de costos para la compañía. Al utilizar una fuente de voltaje regulada, el prototipo no requiere del uso de baterías de litio, baterías que tienen un costo elevado y generan continuamente desechos peligrosos una vez utilizadas. Por lo tanto se minimiza el impacto al medio ambiente y se ahorra el dinero.

Debido a que el prototipo fue construido con partes recicladas, el proyecto puede ser visto como un mecanismo de desarrollo e investigación, eficiente, práctico innovador y económico por el aprovechamiento de los recursos que se tienen el taller en pro del desarrollo de la empresa y del bienestar de sus empleados. En donde se ponen en práctica las bases y los conceptos de la electrónica moderna para recrear el inserto electrónico del Geopilot, encargado de interactuar con los sensores y actuadores del Geopilot y establecer la comunicación con su control en superficie.

De esta forma se contribuye con el desarrollo de la empresa, el desarrollo profesional, involucrando cada vez más la electrónica con la industria petrolera y

haciendo que los procesos sean más eficientes, dejando de lado los procesos repetitivos e aprovechando el tiempo para seguir innovando y enfocar el trabajo hacia la productividad.

El proyecto cumple con la propuesta de valor de la empresa, sigue su razón de ser como un elemento que le entrega un beneficio indirectamente al cliente y retribuye el trabajo y esfuerzo de quienes hacen posible dicho beneficio, es decir sus empleados. Representa el resultado del trabajo en equipo, el intercambio de saberes y la capacidad de dar solución a un problema, características propias de un ingeniero.

El hecho de aplicar todos los conocimientos científicos adquiridos, demuestra la importancia de poseer la capacidad de desenvolverse en nuevos entornos, desconocidos generalmente por el ingeniero electrónico. Evidencia una enorme ventaja aplicativa para la ingeniería electrónica migrando desde el ámbito académico al industrial incursionando cada vez más en disciplinas de estudio totalmente diferentes. Representa un reto personal y profesional al tener la oportunidad de actuar e intervenir en nuevas áreas, para ejercer como un profesional integral y competente, dispuesto a aportar sus conocimientos en un intercambio mutuo de saberes.

La electrónica debe ser utilizada como un factor de optimización y mejora continua en procesos de desarrollo de sistemas y mecanismos con diversas aplicaciones, que mejoren la calidad de vida del ser humano. Se hace necesario muchas veces incluso desarrollar varias etapas de ensayo y error con el objetivo de involucrarse en un proceso de mejora continua que permita obtener al final el mejor resultado posible.

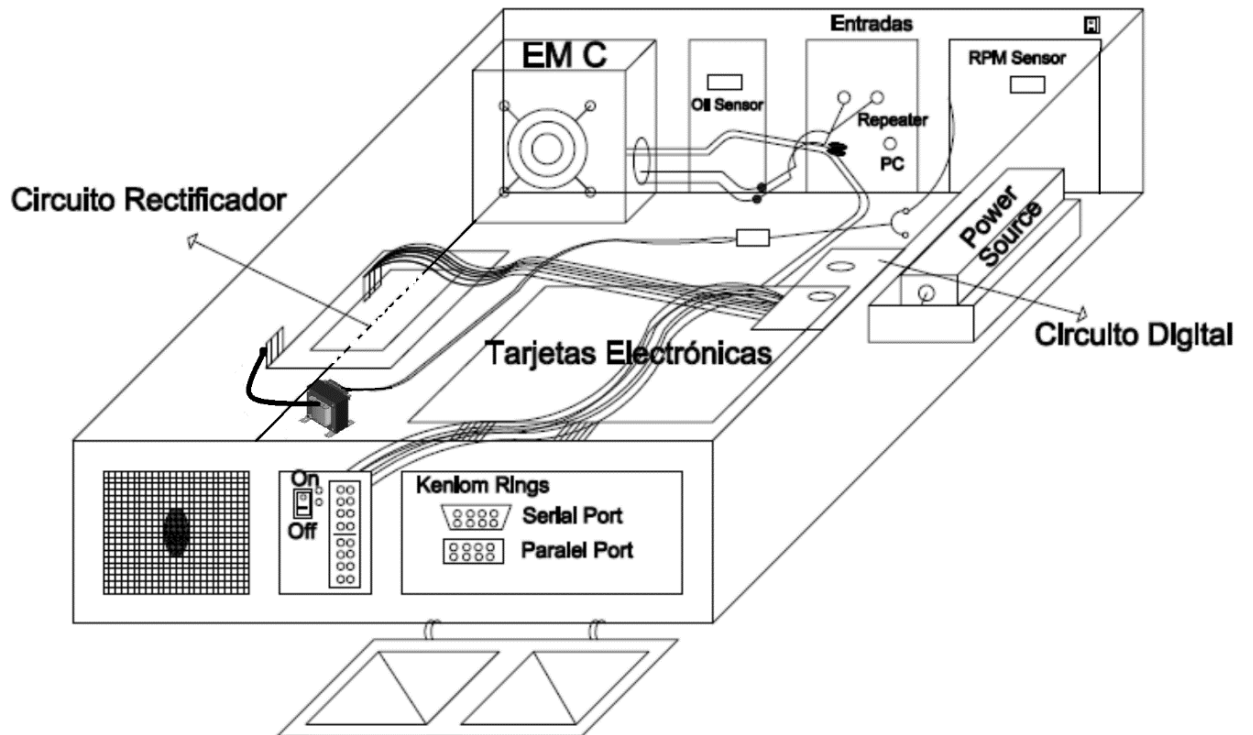
12. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Esther Pacheco Jiménez, «El Petróleo,» Instituto ‘Villa de Vallecas
- [2] Agencia Nacional de Hidrocarburos. Cartilla Informativa: Conceptos básicos de Geología y Geofísica. ANH, Bogotá-2009
- [3] Introduction Directional Drilling-Halliburton Sperry Drilling Services, AFP Student Material, 2013.
- [4] Drillstring Components -Halliburton Sperry Drilling Services, AFP Student Material, 2013.
- [5] Drillstring Components Rotary Steerable Systems -Halliburton Sperry Drilling Services, AFP Student Material, 2014.
- [6] Introduccion a la completación de pozos, Producción de Hidrocarburos 1, Diciembre 2011.
- [7] <http://www.profesorenlinea.cl/Ciencias/petroleoRefineria.htm>
- [9] http://www-odp.tamu.edu/publications/188_IR/chap_02/images/02_f15.gif
- [10]<http://www.roschengroup-es.com/14-2-down-hole-motor.html>
- [11] Driver Sub-Electronics -Halliburton Sperry Drilling Services, 2014.
- [12] Presentación curso GP-Halliburton Sperry Drilling Services, 2013.
- [13] Geo-Pilot_Intro-Halliburton Sperry Drilling Services, 2014.
- [14] Perforación Horizontal-Halliburton Sperry Drilling Services, 2013.
- [15] Directional drilling-Halliburton Sperry Drilling Services, 2015.
- [16] <http://www.usta.edu.co/index.php/nuestra-institucion/presentacion-1>
- [17]<http://soda.ustadistancia.edu.co/enlinea//eduvirtual/Libros/FilosofiaInstitucional/files/assets/basic-html/page78.html>
- [18] Introduction to Geo-Span-Halliburton Sperry Drilling Services, 2012.
- [19] 7600 Geopilot Power Unit Wiring Diagram-Halliburton Sperry Drilling Services, 2008.

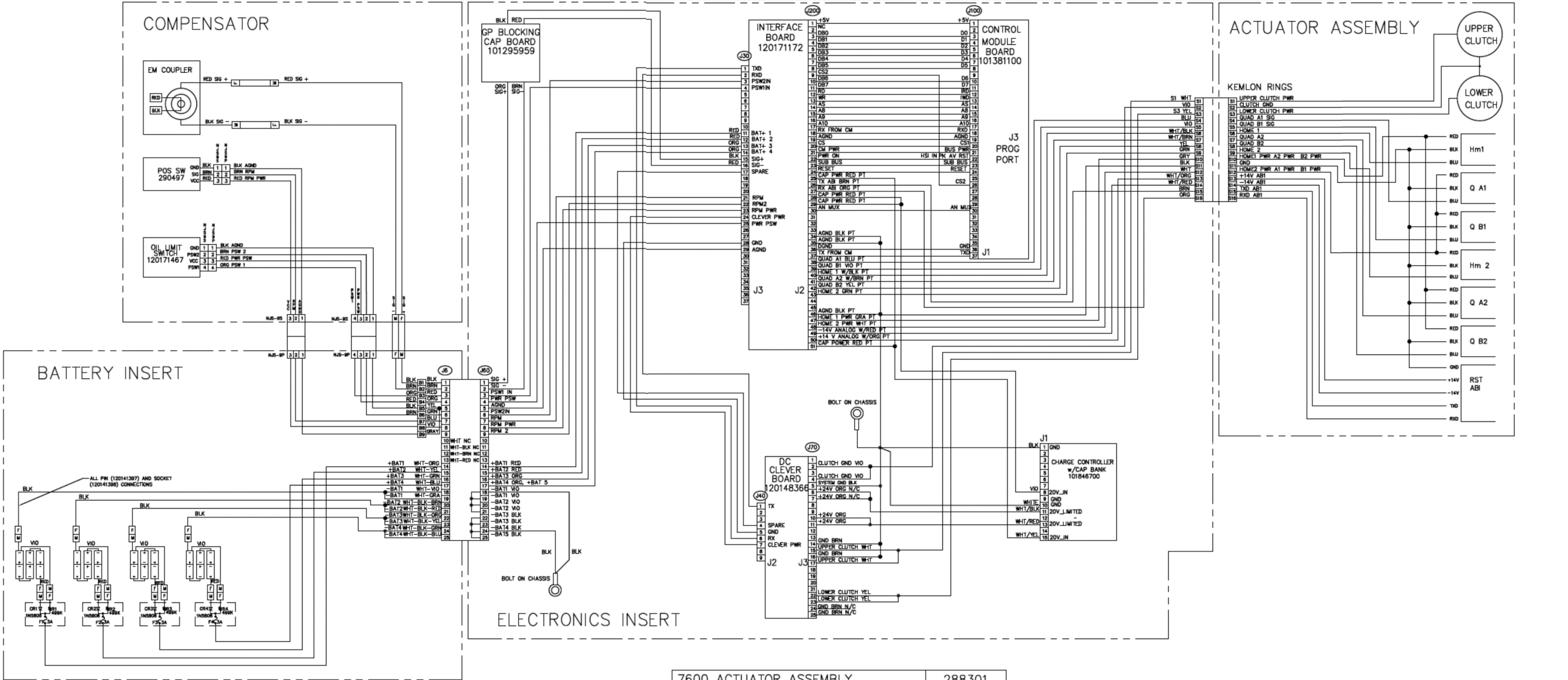
- [20] <http://www.halliburton.com/en-US/about-us/corporate-profile/mission-vision-values.page?node-id=ijzrw073>.
- [21] <https://es.oxforddictionaries.com/definicion/petroleo>
- [22] <http://www.anh.gov.co/Asignacion-de-areas/Relacion-de-areas-asignadas/Contrato%20EanP%20TEA/Anexo%20A.pdf>
- [23] https://www.ele.uva.es/~lourdes/docencia/Master_IE/Sensores.pdf
- [24] <http://www.petroleo.com/>
- [25] Tecnologías en Perforación y Evaluación 750-500-096S Rev. A Agosto 1998, Houston, USA (TEORIA DE MWD-Sperry Drilling Services)
- [26] <http://petroleros.net/wp-content/uploads/2015/04/CURSO-PERFORACI%C3%93N-DIRECCIONAL.pdf>
- [27] <http://www.academia.edu/6446722/PETROLEO>
- [28] Floyd, T. L. (2007). Principios de circuitos eléctricos Octava Edición, México: Pearson Educación.
- [29] <https://twenergy.com/energia/energia-electrica>
- [30] https://www.ecured.cu/Potencia_el%C3%A9ctrica
- [31] <https://www.ro-des.com/mecanica/sistema-de-embrague-y-sus-elementos/>
- [32] <http://www.areatecnologia.com/electricidad/circuitos-electricos.html>
- [33] <http://www.forosdeelectronica.com/tutoriales/rectificadores.htm>
- [34] <http://www.unicrom.com/regulador-de-voltaje/>
- [35] <http://www.profesormolina.com.ar/tutoriales/diodo.htm>
- [36] <https://sensing.honeywell.com/hallbook.pdf>
- [37] <https://hugarcapella.files.wordpress.com/2010/03/p-13-9-conductores-media->

13. ANEXOS

13.1 Diseño Final



13.2 Diagrama de conexiones general



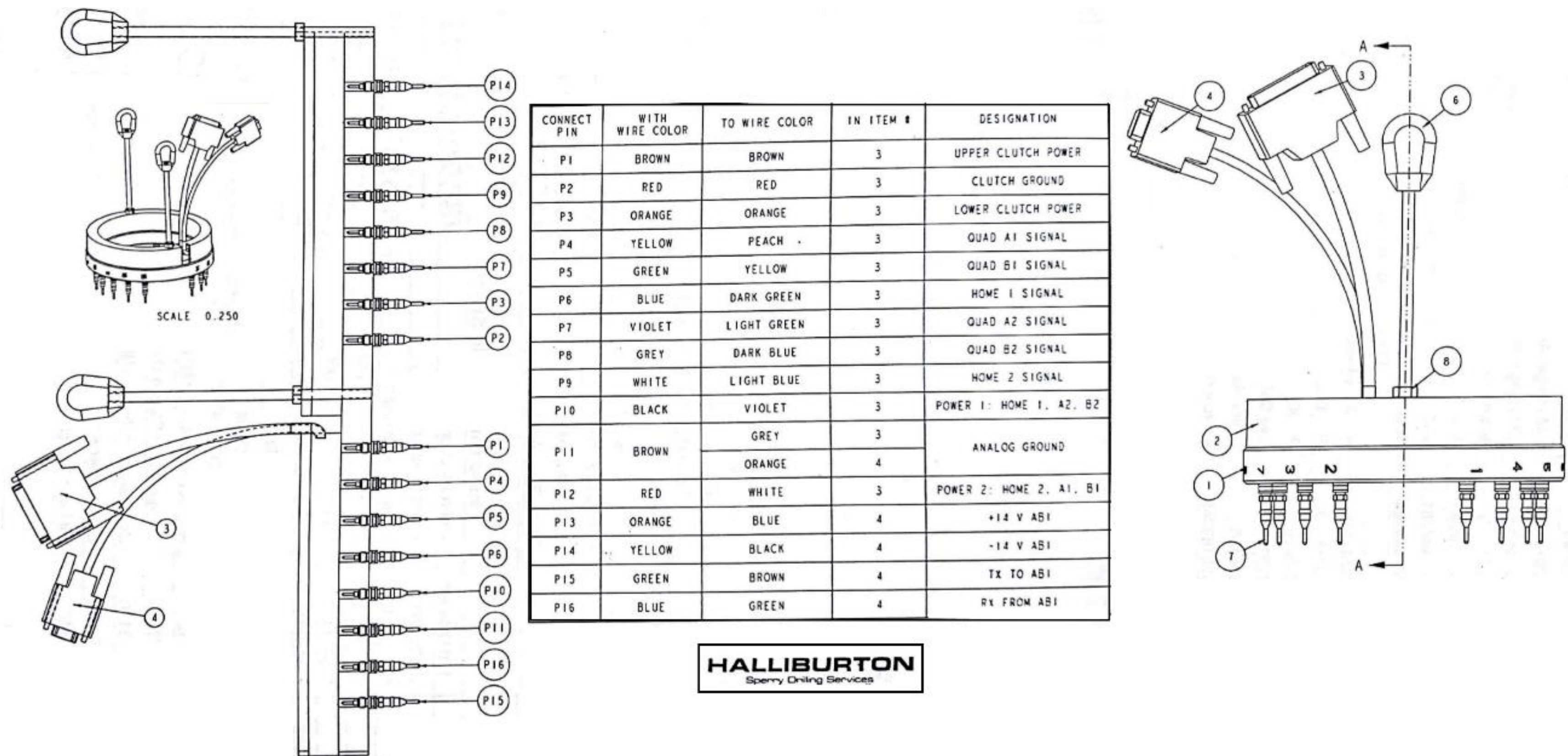
7600 ACTUATOR ASSEMBLY	288301
7600 COMPENSATOR ASSEMBLY	288307
7600 POWER UNIT ASSEMBLY	314881
7600 ELECTRONICS INSERT ASSEMBLY	120173449
7600 BATTERY INSERT ASSEMBLY	120173450

THIS DOCUMENT IS CONFIDENTIAL AND IS THE PROPERTY OF HALLIBURTON. IT MAY NOT BE COPIED OR REPRODUCED IN WHOLE OR IN PART IN ANY WAY WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN CONSENT OF THE COMPANY.				HALLIBURTON Sperry Drilling Services DOWNHOLE TOOL DEVELOPMENT GROUP - NISKU ALBERTA			
7600 GEOPILLOT POWER UNIT WIRING DIAGRAM							
TITLE	AJC	2008 02 19	TOOL	SIZE	DRAWING NO	REV	SHEET
CHECKED	TJR	2010 11 10	RS	-	D00313333	B	1 of 1

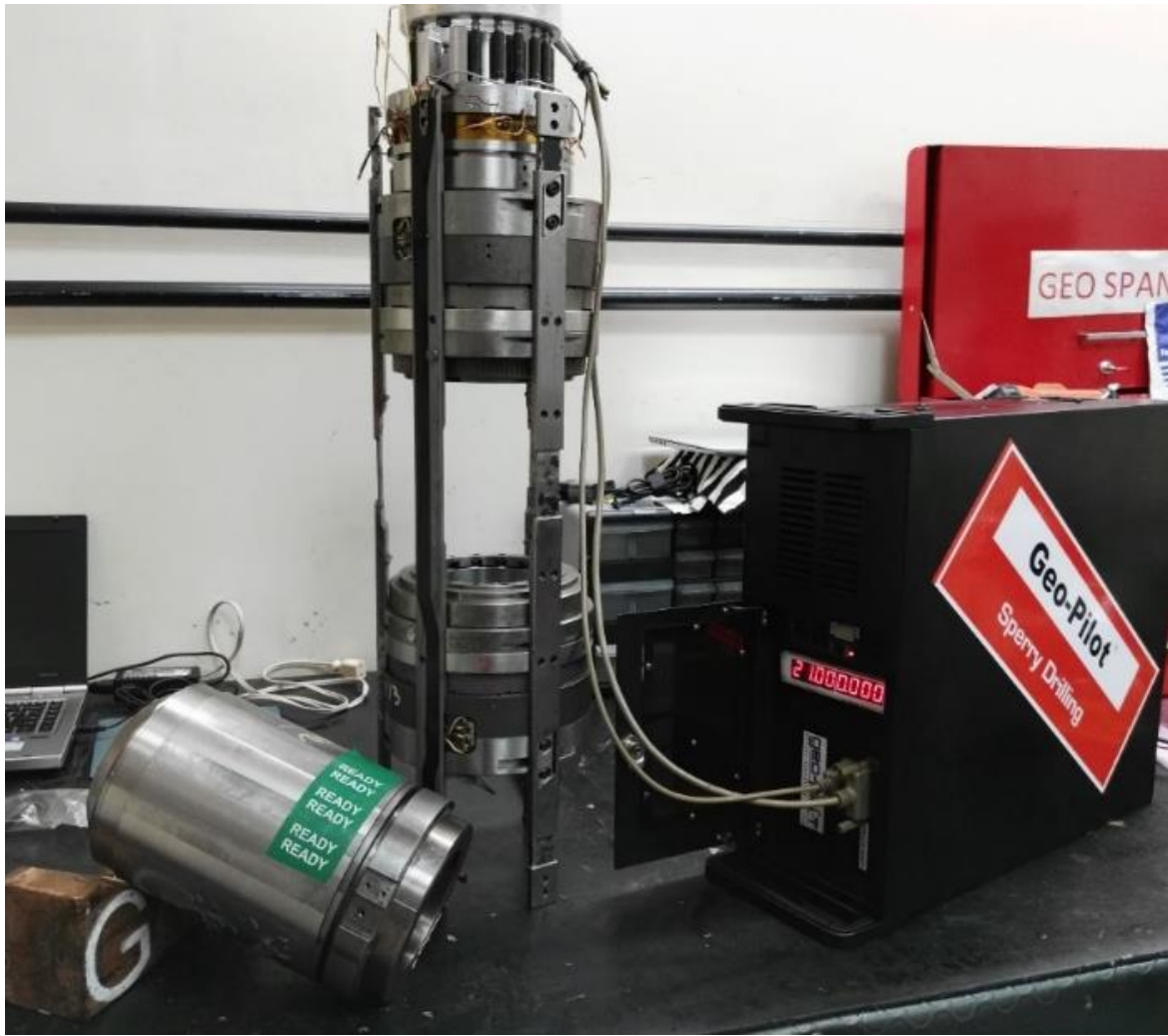
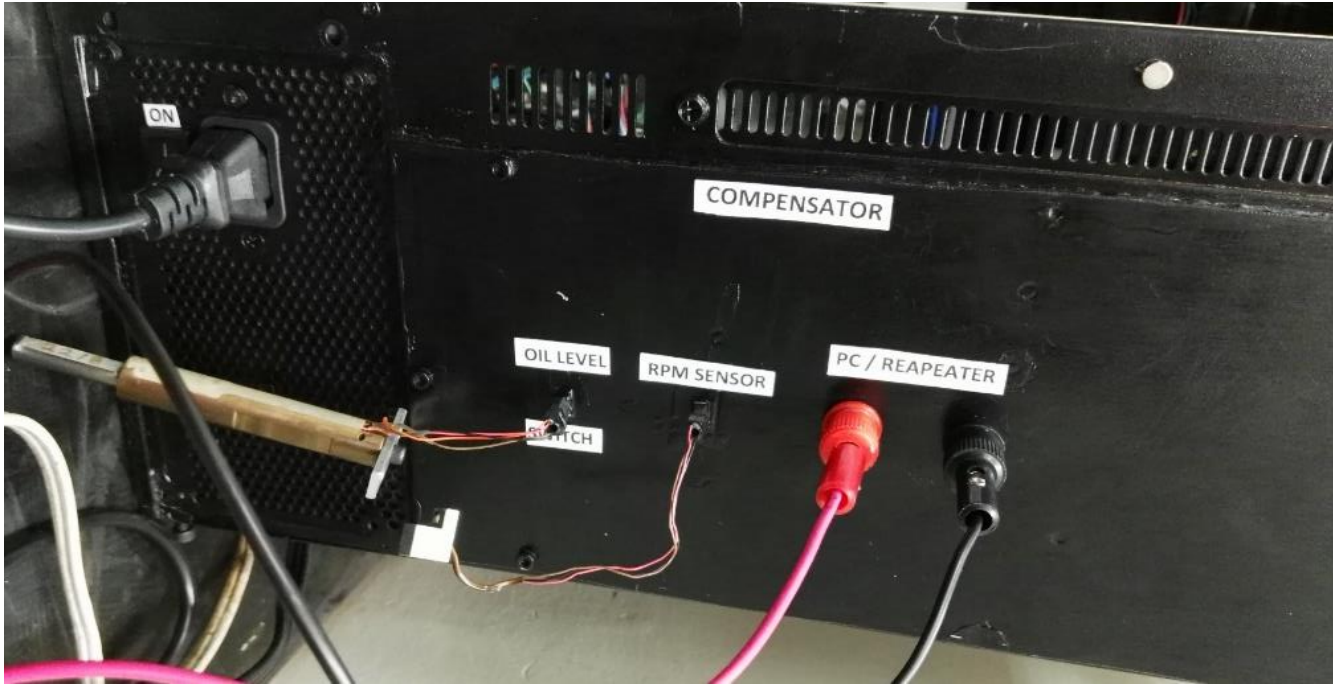
B	T623820	UPDATED TO MATCH NEW PCB ASSEMBLY	TJR	2010 11 15	-
A	TXXXXXX	INITIAL ISSUE	AJC	2008 02 19	-
REV	ECN NO	DESCRIPTION	REVISOR	DATE	APPRVD

UNLESS NOTED OTHERWISE: NOTES AND TOLERANCES AS PER SSDS 097000

13.3 Diagrama conexión con Geak



13.4 Fotos Prototipo final



13.5 Glosario

En esta sección se definen algunos conceptos básicos necesarios para el desarrollo de esta investigación.

- **Crudo o Petróleo:** Sustancia compuesta por una mezcla de hidrocarburos, de color oscuro y olor fuerte, de color negro y más ligero que el agua, que se encuentra en estado natural en yacimientos subterráneos de los estratos superiores de la corteza terrestre; su destilación fraccionada da productos de gran importancia industrial como la gasolina, el queroseno, el alquitrán, los disolventes, etc [21].
- **Pozo Petrolero:** Hace referencia a la instalación y el montaje necesarios para realizar la perforación con el fin de explorar, extraer y llevar a producción un yacimiento de petróleo [22].
- **Sensor:** Es el elemento que toma de la variable medida la información requerida y emite una señal de otra naturaleza conocida como variable de conversión [23].
- **Yacimiento Petrolero:** Es un depósito natural donde se encuentra la formación de hidrocarburos que puede estar compuesta por crudo o gas en forma líquida, está ubicado bajo la corteza terrestre y se llega a este mediante perforaciones desde la superficie [24].
- **Toolface:** (Orientación de la Cara de la Herramienta), el término se usa en conexión con las herramientas de deflexión o los motores dirigibles y se puede expresar en dos formas.
 - Física - El lugar sobre una herramienta de deflexión, marcado usualmente con una línea de marca, que se posiciona hacia una orientación determinada mientras se perfora, para determinar el curso futuro del pozo.
 - Conceptual - En el pozo, el término “toolface”, es a menudo usado como frase corta de orientación de la cara de la herramienta, “orientación toolface” [25].
- **Inclinación:** La inclinación es definida como el ángulo, medido en grados, en que el agujero (o instrumento de medición) varía desde una línea vertical verdadera. Una inclinación de 0° es vertical, y una inclinación de 90° es horizontal o paralelo a la superficie de la tierra [25].
- **Geopilot:** Es un tipo de motor con control direccional completo, con rotación continua de la sarta de perforación y un alto grado de dirección [26].
- **Campo:** Es una zona con abundancia de pozos de los que se extraen hidrocarburos del subsuelo. Debido a que las formaciones subterráneas que

contienen petróleo (yacimientos petrolíferos) pueden extenderse sobre grandes zonas, a veces de varios cientos de kilómetros cuadrados. Además, puede haber pozos exploratorios que investigan los límites, tuberías para transportar el petróleo a cualquier lugar y locales de apoyo [27].

- **Voltaje:** Es la diferencia de potencial o capacidad de diferentes cargas para ejercer un trabajo y lograr que se muevan los electrones de un lugar a otro. Su unidad de medida es el Voltio (V) [28].
- **Resistencia:** La resistencia es la oposición al flujo de corriente. Los usos más frecuentes son: limitar la corriente, dividir el voltaje y generar calor. Su unidad de medida es el Ohm (Ω) [28].
- **Corriente:** Movimiento o flujo de electrones debido a un diferencial de potencial en un tiempo determinado. Su unidad de medida es el Amperio (A) [28].
- **Energía eléctrica:** Es una fuente de energía renovable que se obtiene mediante el movimiento de cargas eléctricas (electrones positivos y negativos) que se produce en el interior de materiales conductores (por ejemplo, cables metálicos como el cobre). El origen de la energía eléctrica está en las centrales de generación, determinadas por la fuente de energía que se utilice. Así, la energía eléctrica puede obtenerse de centrales solares, eólicas, hidroeléctricas, térmicas, nucleares y mediante la biomasa o quema de compuesto de la naturaleza como combustible [29].
- **Potencia eléctrica:** Es la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo, es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado. La potencia eléctrica se representa con la letra P y la unidad de medida es el Vatio (Watt) [30].
- **Clutch:** También conocido como embrague, es un sistema que permite tanto transmitir como interrumpir la transmisión de una energía mecánica a su acción final de manera voluntaria. Su función es separar y unir el giro del motor a la transmisión para liberar el movimiento hacia las ruedas motrices siempre que haya una marcha engranada [31].
- **Circuito:** Es un conjunto de elementos conectados entre sí por los que puede circular una corriente eléctrica [32].
- **Rectificador:** Es el elemento o circuito que permite convertir la corriente alterna en corriente continua. Esto se realiza utilizando diodos rectificadores [33].
- **Regulador de voltaje:** Es un dispositivo electrónico diseñado para mantener un nivel de tensión constante. Los reguladores electrónicos de tensión se encuentran en dispositivos como las fuentes de alimentación de los

computadores, donde estabilizan las tensiones de Corriente Continua usadas por el procesador y otros elementos. En los alternadores de los automóviles y en las plantas generadoras, los reguladores de tensión controlan la salida de la planta [34].

- **Diodo:** Es un componente discreto que permite la circulación de corriente entre sus terminales en un determinado sentido, mientras que la bloquea en el sentido contrario [35].
- **Hall effect:** El sensor de efecto Hall o simplemente sensor Hall o sonda Hall (denominado según Edwin Herbert Hall) sirve para la medición de campos magnéticos o corrientes o para la determinación de la posición en la que está. Si fluye corriente por un sensor Hall y se aproxima a un campo magnético que fluye en dirección vertical al sensor, entonces el sensor crea un voltaje saliente proporcional al producto de la fuerza del campo magnético y de la corriente. Si se conoce el valor de la corriente, entonces se puede calcular la fuerza del campo magnético; si se crea el campo magnético por medio de corriente que circula por una bobina o un conductor, entonces se puede medir el valor de la corriente en el conductor o bobina. Si tanto la fuerza del campo magnético como la corriente son conocidos, entonces se puede usar el sensor Hall como detector de metales [36].
- **Iconel:** Es una marca de Special Metals Corporation que se refiere a una familia de super aleaciones de base níquel-cromo. Las aleaciones de iconel se utilizan normalmente en aplicaciones a altas temperaturas. [37].

13.6 Manual de Usuario

Para acceder al manual de usuario, por favor abrir el siguiente hipervínculo:

[Manual de Usuario Prototipo de Inserto Electrónico del Geopilot.pdf](#)