

**OPTIMIZACIÓN DEL TIEMPO MEDIANTE EL DESARROLLO DE UN PLAN  
DE PRUEBA Y CALIBRACIÓN DE HERRAMIENTAS Y EQUIPOS USADOS  
EN LA PERFORACIÓN DE POZOS PETROLEROS Y DISEÑO-  
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SIMULACIÓN ORIENTADO A LA  
PRUEBA EN SUPERFICIE DE LA HERRAMIENTA DIRECCIONAL EM MWD  
G4 PLUS**



**DIEGO FERNANDO NARANJO LÓPEZ**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
NEIVA-HUILA  
2007**

**OPTIMIZACIÓN DEL TIEMPO MEDIANTE EL DESARROLLO DE UN PLAN  
DE PRUEBA Y CALIBRACIÓN DE HERRAMIENTAS Y EQUIPOS USADOS  
EN LA PERFORACIÓN DE POZOS PETROLEROS Y DISEÑO-  
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SIMULACIÓN ORIENTADO A LA  
PRUEBA EN SUPERFICIE DE LA HERRAMIENTA DIRECCIONAL EM MWD  
G4 PLUS**

**DIEGO FERNANDO NARANJO LÓPEZ**

**Director:**

**Germán Martínez**

**Docente Programa Ingeniería Electrónica**

**Asesor:**

**Sergio Reyes**

**Coordinador MWD**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
NEIVA-HUILA  
2007**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

---

**Director**

---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

**Neiva, Julio 12 de 2007**

A Dios, a mis padres Orlando y Florenia, a mi hermana Diana, a mi novia Yully, a toda mi familia, y a todos los que han confiado en mí en el transcurso de la carrera.

**Diego Fernando**

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa agradecimiento:

A Dios

Al ingeniero Gemán Martínez, Director de pasantía

Al ingeniero Sergio Reyes, Asesor de pasantía

Al cuerpo de profesores del programa de Ingeniería electrónica.

A Weatherford-Presicion Energy Services por brindarme la oportunidad.

A todos los compañeros de estudio.

A mi familia y a todas aquellas personas que participaron dentro del proyecto, que brindaron aportes valiosos para la culminación del mismo.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág</b>
INTRODUCCIÓN	12
RESUMEN	13
1. FUNDAMENTOS DE LA PERFORACIÓN DIRECCIONAL	15
1.1 SARTA DIRECCIONAL (BHA)	18
2. HERRAMIENTA DIRECCIONAL EM G4 PLUS	20
2.1 INCLINACIÓN	23
2.2 AZIMUTH	23
2.3 CARA ALTA DE LA HERRAMIENTA EN MAGNÉTICO	23
2.4 CARA ALTA DE LA HERRAMIENTA EN GRAVIMÉTRICO	24
2.5 ÁNGULO DE INCLINACIÓN	24
2.6 CAMPO MAGNÉTICO TOTAL	24
3. PRUEBA DE LA HERRAMIENTA DIRECCIONAL	26
3.1 INSPECCIÓN VISUAL	26
3.2 ATENUADOR DE LA SEÑAL	30
3.3 SEÑAL DE LA G4 PLUS	30
3.4 SPECTRUM SUITE	31
4. EQUIPO DE SUPERFICIE (SURFACE TRANCEIVER)	32
4.1 VISTA POSTERIOR	32
4.2 VISTA ANTERIOR	33
5. SONDA DE RAYOS GAMMA	35
5.1 PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN	37
6. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL INTERFAZ DE SIMULACIÓN	45
6.1 DISEÑO DE LAS ETAPAS	46
6.1.1 DISEÑO DEL GENERADOR DE RUIDO BLANCO	46
6.1.2 DISEÑO DE LA ETAPA DE ATENUACIÓN	47
6.1.3 GENERADOR DE ONDA SENOIDAL Y ONDA CUADRADA	49
6.1.4 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL INTERFAZ DE SIMULACIÓN	49
6.1.5 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN	50

6.2 MONTAJE DEL CIRCUITO	51
6.2.1 ELABORACIÓN DE LOS CIRCUITOS IMPRESOS	51
6.2.1.1 CIRCUITO IMPRESO PARA SIMULACIÓN	51
6.2.1.2 CIRCUITO IMPRESO PARA LA FUENTE	52
6.2.2 FABRICACIÓN DE LA ESTRUCTURA FINAL	52
6.2.2.1 COMPOSICIÓN INTERNA	52
6.2.2.2 VISTA FRONTAL	53
6.2.2.3 VISTA POSTERIOR	53
6.3 PRUEBA DE LA BARRA DE TRANSMISIÓN	54
6.4 SEÑAL MEDIDA A LA SALIDA DEL INTERFAZ DE SIMULACIÓN	54
6.4.1 SEÑAL CUADRADA MAS SAÑAL SENO DE MAYOR FRECUENCIA	54
6.4.2 ONDA CUADRADA MAS ONDA CUADRADA DE MAYOR FRECUENCIA	54
CONCLUSIONES	56
BIBLIOGRAFÍA	57
ANEXOS	58

## LISTADO DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Vista de sección	15
Figura 2. Pozos tipo “J”	16
Figura 3. Pozo tipo “S”	16
Figura 4. Pozo Horizontal	16
Figura 5. Zona productora de difícil acceso	17
Figura 6. Motor de Fondo	17
Figura 7. Construyendo la curva	17
Figura 8. Trayectoria perforada	18
Figura 9. BHA	18
Figura 10. Taladro de perforación	19
Figura 11. Radio Transmisión	20
Figura 12. Herramienta direccional G4 Plus	21
Figura 13. Sensores	22
Figura 14. Referencia de la medida	22
Figura 15. G4 Plus Dentro de BHA	25
Figura 16. G4 Plus a 90° de Inclinación	26
Figura 17. G4 Plus a 60° de Inclinación	26
Figura 18. O’Rings y conectores	27
Figura 19. Marcas de torque	27
Figura 20. Conector de antena	28
Figura 21. Batería de Litio	28
Figura 22. Conexión entre la G4 y la Batería	28
Figura 23. Etapa Divisora	30
Figura 24. Señal de Sincronismo	30
Figura 25. Spectrum Suite	31
Figura 26. Tranceiver	32
Figura 27. Vista Frontal	32
Figura 28. Vista Anterior	33

Figura 29. Voltímetro	34
Figura 30. Sensor de Gamma Ray	35
Figura 31. G4 Plus y Gamma Ray dentro de BHA	36
Figura 32. Partes del Gamma Ray	37
Figura 33. Gamma Ray CSGx interface	38
Figura 34. Gamma Ray Probe	38
Figura 35. Configuración de calibración	38
Figura 36. Spectrum Suite para Gamma Ray	39
Figura 37. Conexión entre Gamma Ray CSGx interface y Gamma Ray	39
Figura 38. Conexión entre Gamma Ray CSGx interface y batería de litio	39
Figura 39. Calibrador de Gamma Ray	40
Figura 40. Estabilización de la señal	40
Figura 41. Calibrador Instalado	41
Figura 42. Calculo del Nuevo K1	41
Figura 43. K1 calculado	42
Figura 44. Excede el 10%	42
Figura 45. Memoria Spectrum Suite	43
Figura 46. Datos leídos	43
Figura 47. Borrar memoria	44
Figura 48. Memoria Borrada	44
Figura 49. Diagrama de bloques del generador de ruido blanco	46
Figura 50. Diagrama del generador de ruido blanco	46
Figura 51. Diagrama de la etapa de atenuación	47
Figura 52. Gráfica del Campo eléctrico vs distancia perforada	47
Figura 53. Generador de onda	49
Figura 54. Diagrama esquemático del interfaz de simulación	50
Figura 55. Esquema de fuente de alimentación	50
Figura 56. Montaje del circuito	51
Figura 57. Circuito impreso para simulación	51
Figura 58. Circuito impreso para la fuente	52
Figura 59. Composición interna	52

Figura 60. Vista frontal	53
Figura 61. Vista posterior	53
Figura 62. Señal cuadrada mas señal seno	54
Figura 63. Onda cuadrada mas otra cuadrada	54

## LISTADO DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Medida de la señal con la etapa divisora	29
Tabla 2. Escala del Voltímetro	33

## INTRODUCCIÓN

Las mediciones que arrojan cualquier tipo de procesos en cualquier campo de acción o producción se considera pieza fundamental a la hora de tomar algún tipo de determinación en aras a la constante búsqueda de metas propuestas u objetivos trazados con anterioridad, para que de esta forma, este proceso tenga el éxito esperado y así poder beneficiar a toda una estructura organizacional que se encuentra detrás de dicho proceso.

En este caso, tratándose de una compañía que se ubica en el sector petrolero como lo es **WEATHERFORD – PRECISION ENERGY SERVICES COLOMBIA** que presta distintos tipos de servicios a otras compañías que de igual forma se especializan en este mismo campo de acción, resulta de suma importancia una óptima obtención de medidas, debido que a partir de ellas se toman decisiones que están enfocadas a prestar un servicio con mayor eficiencia, buscando cada día tener un mejor posicionamiento a nivel de compañías que prestan servicios petroleros en todo el mundo e incluyendo el caso del mercado colombiano.

Una clase de servicio que presta esta compañía es la de **DRILLING SERVICES** que se encarga de la perforación de pozos direccionales mediante las herramientas MWD ( Mesourement While Drilling) y LWD ( Logging While Drilling ) como una parte fundamental del todo el proceso de búsqueda, localización y extracción del petróleo, entre otras, y que se acoge a las estipulaciones dictaminadas por el cliente,es decir,lo que se refiere al DIRECCIONAMIENTO.

## **RESUMEN**

La finalidad de éste proyecto es mejorar la calidad del servicio de las herramientas y equipos utilizados para la perforación de pozos direccionales mediante el desarrollo de un plan de prueba y calibración de las herramientas y equipos, y además con el diseño e implementación del sistema de simulación orientado a la prueba en superficie de la herramienta direccional se busca una semejanza de lo que ocurre en el momento de la perforación.

En éste informe se hace una pequeña introducción acerca de la perforación direccional, como tipo de pozos, configuración de un pozo y como se perfora un pozo direccional.

En la primera parte de éste informe describe lo referente a las herramientas y equipos tenidos en cuenta para la prueba y calibración, como descripción de las partes de las herramientas, procedimientos de prueba y calibración, elementos necesarios y resultados de dichas pruebas.

La segunda parte concierne al sistema de simulación como lo es el diseño, seguido de la implementación, elementos requeridos para tal fin y por último algunos resultados obtenidos en el laboratorio simulando la salida de la señal de la herramienta direccional, con el fin de verificar el buen funcionamiento de dicho sistema.

## **ABSTRACT**

The purpose of this project is to improve the quality of the service of the tools and equipments used for the perforation of directional wells by means of the development of a plan of test and calibration of the tools and equipments, and in addition with the design and implementation of the system of simulation orientated to the test in surface of the directional tool a similarity is looked of what happens in the moment of the perforation.

In formless this one a small introduction is done brings over of the directional perforation, as type of wells, configuration of a well and how a directional well is perforated.

In the first part of this report of formless this one it describes the relating thing to the tools and equipments taken in account for the test and calibration, as description of the parts of the tools, procedures of test and calibration, elements necessary and proved from the above mentioned tests.

The second part of this report concerns the system of simulation like it is the design followed of the implementation, elements needed for such an end and finally some results obtained in the laboratory simulating the exit of the sign of the directional tool, in order to check the good functioning of the above mentioned system.

## 1. FUNDAMENTOS DE PERFORACIÓN DIRECCIONAL

La perforación direccional está definida como un control de la dirección y desviación para llegar a un sitio u objetivo predeterminado bajo la corteza terrestre.

Un pozo direccional tiene la siguiente configuración:

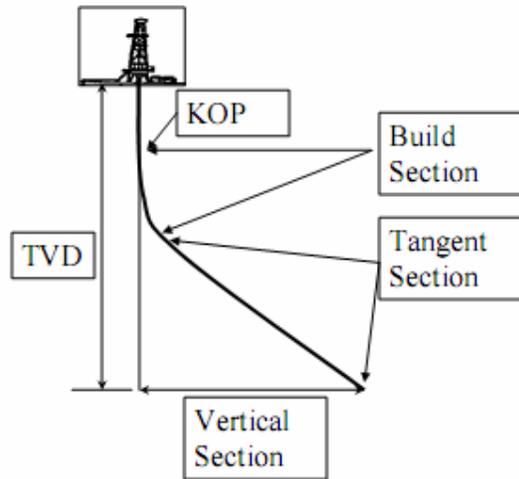


Figura 1. Vista de sección

- KOP (Kickoff Point): Profundidad a la cual el pozo es separado intencionalmente de la vertical hacia una dirección específica.
- Build Section: Sección del pozo en donde se construye la inclinación con respecto a la vertical a un valor predeterminado.
- Tangent Section: Sección en donde se mantiene constante una dirección y una inclinación.
- True Vertical Depth: Profundidad perforada con respecto al plano vertical.
- Vertical Section: Distancia perforada con respecto a la vertical.

Existen varias aplicaciones, para pozos direccionales como los tipo “J”, tipo “S” y pozos horizontales mostrados en la figura 2, 3 y 4 respectivamente.

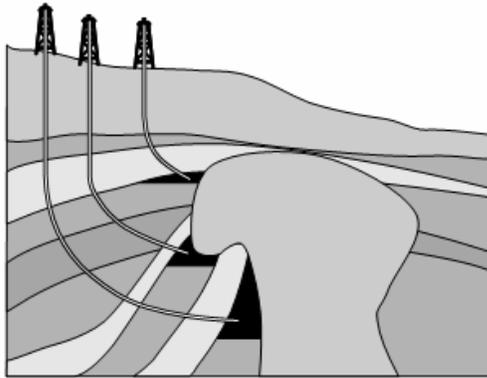


Figura 2. Pozos tipo "J"

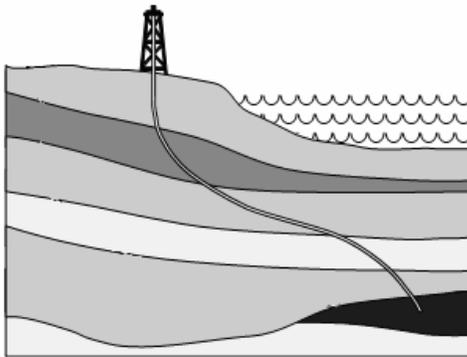


Figura 3. Pozo tipo "S"

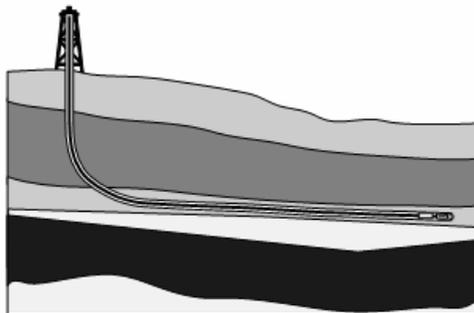


Figura 4. Pozo Horizontal

En donde no contar con un control direccional sería difícil llegar a un objetivo debido a la unicación de las zonas productoras, por ejemplo una zona de difícil acceso es como muestra la figura 2 y 5.

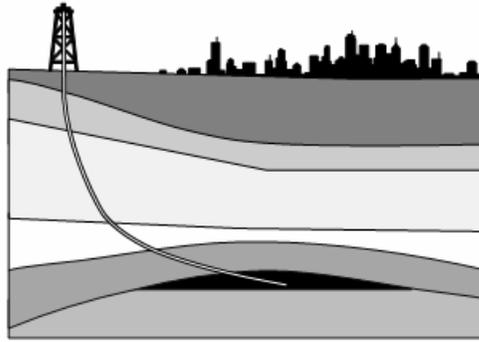


Figura 5. Zona productora de difícil acceso

Éstas clase de pozos tienen dirección o rumbo e inclinación con respecto a la vertical, es decir, que para los horizontales la inclinación es  $90^\circ$ , lo que nos indica que se debe tener un completo control sobre la sarta de perforación y más exactamente sobre el motor de fondo, el cual en su extremo inferior posee una pequeña curvatura, para que ubicándolo en la dirección del pozo construya la curva, tal como muestra las figuras 6 y 7.



Figura 6. Motor de Fondo

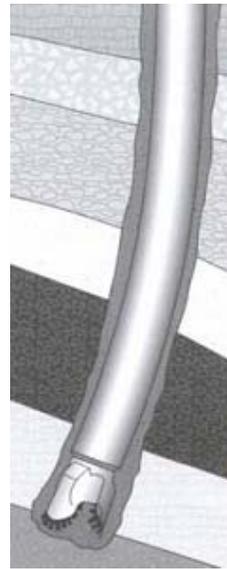


Figura 7. Construyendo la curva

Ésto es para seguir un plan previamente establecido. Éste control se obtiene con base en los datos de azimuth, (es decir, dentro de un marco de referencia en 3D, es la dirección que toma sobre el plano X-Y, en donde Z es la vertical) e inclinación que nos arroja la herramienta MWD durante la perforación; son llamados "Surveys" los cuales cada uno de éstos ubica un punto en 3D, para que de esta manera se observe la trayectoria ya perforada.

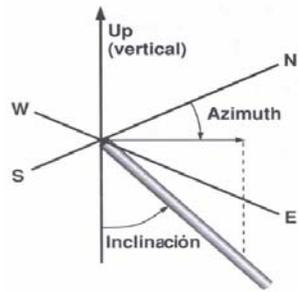


Figura 8. Trayectoria perforada

### 1.1 SARTA DIRECCIONAL (BHA)

Comprende todos los elementos con los cuales sucede la perforación, es decir toda la configuración de tubería de perforación llamada BHA (Bore Hole Assembly), el cual está constituido (como ejemplo) de la siguiente manera tal como se muestra en la figura 9.

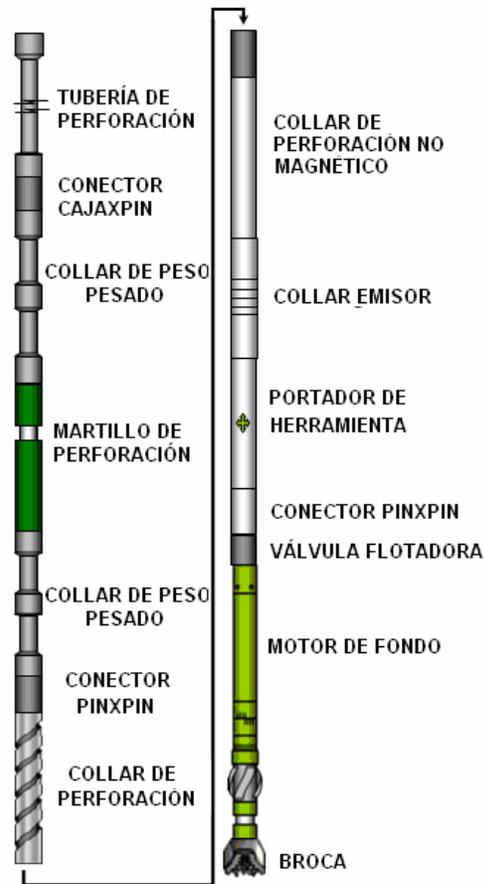


Figura 9. BHA

Con el anterior conjunto se perfora un pozo, siendo el taladro, el equipo que aporta la maquinaria necesaria para la manipulación de toda la tubería, tal como se muestra en la siguiente figura.



Figura 10. Taladro de perforación

## 2. HERRAMIENTA DIRECCIONAL EM G4 PLUS

La probeta EM G4 PLUS es una herramienta direccional utilizada para perforación de pozos tipo “J”, tipo “S” y pozos horizontales anteriormente descritos, la cual arroja datos de inclinación y dirección, entre otros.

El sistema de comunicación de ésta herramienta es mediante ondas electromagnéticas propagadas, las cuales llevan la información a la superficie a través de la formación de las capas terrestres, que a su vez son recibidas por el equipo en superficie SURFACE TRANCEIVER por medio de antenas puestas a tierra, con ayuda de algún contrapozo cercano al que se esté perforando o se puede utilizar también alguna línea de producción cercana.

Este sistema de comunicación se hace de forma Bi-direccional, es decir, le solicitamos información a la herramienta (operador-herramienta), y ésta entrega lo solicitado (herramienta-operador), lo que no sucede por ejemplo con la tecnología de pulso ya sea positivo o negativo, que funciona mediante parámetros predeterminados (programados), es decir, en el momento de la perforación no se establece comunicación operador-herramienta, pero si, herramienta-operador, entregando la información con base a una situación determinada, por ejemplo, en el momento que se interrumpa la circulación de fluido a través de la tubería, la herramienta detecta que no existe vibración y envía información al operador, esto por nombrar un caso particular.

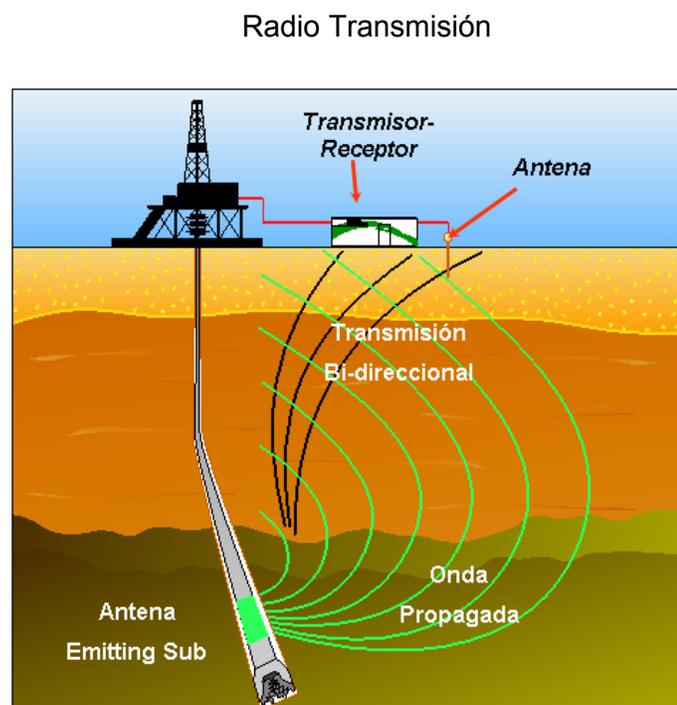


Figura 11. Radio Transmisión

Esta herramienta está conformada por dos partes importantes:

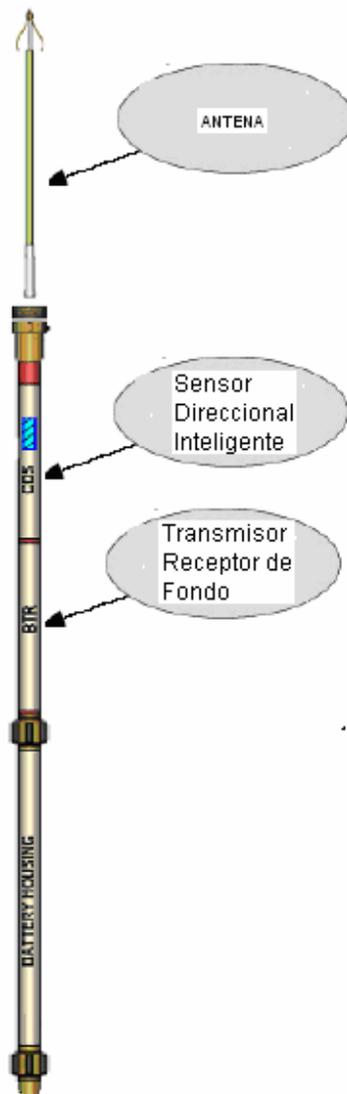


Figura 12. Herramienta direccional  
G4 Plus

- **BTR** ( Bottom Transmitter Receiver ): *Transmisor Receptor de Fondo*, que consta de un conjunto electrónico de elementos que codifica, decodifica la información que emite y que recibe, lee los sensores, almacena datos en memoria para luego ser leídos y transmitidos a través de la etapa de transmisión y recepción, que por medio de una configuración física de la herramienta, se convierte en un dipolo eléctrico generando así la onda electromagnética.

- **CDS** ( Clever Directional Sensor): *Sensor Direccional Inteligente*, ésta parte de la herramienta contiene los sensores direccionales los cuales son los **acelerómetros** que responden al campo gravitatorio de la tierra y los **magnetómetros** que responden al campo magnético de la tierra (la explicación de cómo están dispuestos o de qué se conforman éste tipo de sensores no es de competencia para éste informe), estos dos tipos de sensores están referenciados a un eje de coordenadas como vectores unitarios en la dirección ( x, y, z ), como lo muestra la figura 13 y 14 :

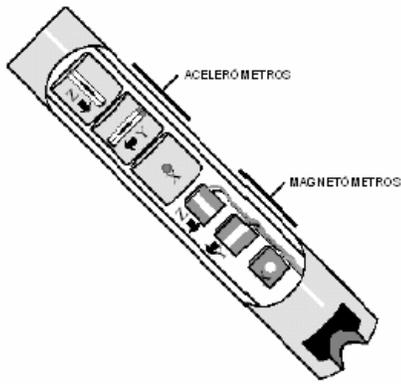


Figura 13. Sensores

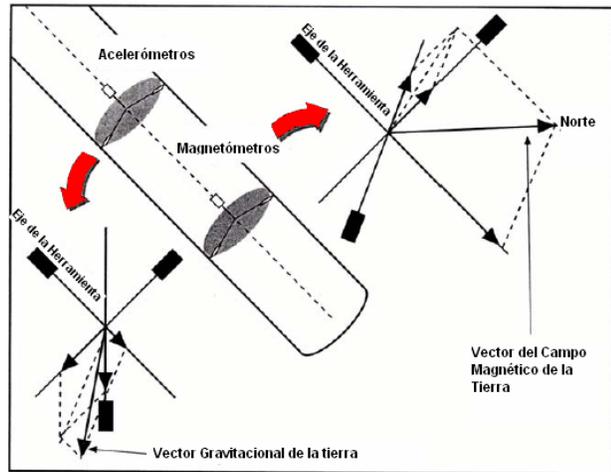


Figura 14. Referencia de la medida

Para los **acelerómetros** el vector dirección en x es  $G_x$ , el vector dirección en y es  $G_y$  y el vector dirección en z es  $G_z$ , de igual forma en los **magnetómetros** el vector dirección en x es  $H_x$ , el vector dirección en y es  $H_y$  y el vector dirección en z es  $H_z$ , cada uno estrechamente ligado entre sí, lo que significa que para cada cambio de sentido de un vector implica que los otros dos cambien también en ese mismo sentido y proporción, excepto que la herramienta permanezca con 90° de inclinación, en donde el vector en la dirección z no varía conforme varía x y y, esto es:

$$G_{total} = (G_x^2 + G_y^2 + G_z^2)^{1/2}$$

y

$$H_{total} = (H_x^2 + H_y^2 + H_z^2)^{1/2}$$

Es decir, que la herramienta lee los sensores y calcula con respecto a los vectores, valores como lo son de Inclinación, Azimuth, Tool Face (Indica la cara alta de la herramienta, "hacia donde está mirando", lo cual debe ser la misma que la del motor de fondo), éste último ya sea en magnético o en gravimétrico, entre otro valores como el Dip Angle (ángulo de inclinación), y campo magnético total, los cuales la herramienta los calcula mediante estas expresiones trigonométricas.

## 2.1 INCLINACIÓN

Dado que la inclinación sólo es función de la gravedad de la tierra, entonces, los sensores que están involucrados directamente con la medida son los acelerómetros  $G_x$ ,  $G_y$  y  $G_z$ , dado que:

$$\text{Sin ( INC )} = G_{xy} / G_{total} \quad \text{y} \quad \text{Cos ( INC )} = G_z / G_{total}$$

Entonces:

$$\text{INC} = \text{ATAN ( } G_{xy} / G_z \text{ )}$$

Donde:

$$G_{xy} = (G_x^2 + G_y^2)^{1/2} \quad \text{y} \quad G_{total} = (G_x^2 + G_y^2 + G_z^2)^{1/2}$$

## 2.2 AZIMUTH

La medida de Azimuth o dirección que nos entrega la herramienta, proviene directamente de los sensores que son afectados por el campo magnético terrestre, es decir, de los magnetómetros  $H_x$ ,  $H_y$  y  $H_z$ , ya que estos permanentemente se orientan con el norte magnético; estan dados en nano Tesla (nT) por convergencia del programa, ya que la herramienta los entrega en puntos, esto es, que para un valor en puntos corresponde un valor en (nT) y lo calcula mediante ésta expresión trigonométrica:

$$\text{Azimuth} = \text{ATAN} \left( - \frac{H_x \text{ Sin (HSTF)} + H_y \text{ Cos (HSTF)}}{[H_x \text{ Cos (HSTF)} - H_y \text{ Sin (HSTF)] \text{ Cos(INC)} + H_z \text{ Sin (INC)}} \right)$$

Donde  $H_x$ ,  $H_y$  y  $H_z$  son los valores de los sensores dirección entregados en nano Tesla y HSTF (Highside Toolface) "Cara Alta de la herramienta puesta hacia arriba" es el valor de en grados de la cara alta de la herramienta en el momento de la medición.

### 2.3 CARA ALTA DE LA HERRAMIENTA EN MAGNÉTICO

La cara alta de la herramienta en magnético generalmente se utiliza para inclinaciones menores a 5° orientando al motor en la dirección que se desee salir; sólo es función de  $H_x$  y  $H_y$ , para esto, el punto de referencia 0° es el norte magnético, esto es:

$$MTF = ATAN (H_y / -H_x)$$

### 2.4 CARA ALTA DE LA HERRAMIENTA EN GRAVIMÉTRICO

La cara alta de la herramienta en gravimétrico generalmente se utiliza para inclinaciones mayores a 5° orientando al motor para alcanzar la construcción y la curva deseada; sólo es función de  $G_x$  y  $G_y$ , el punto de 0° de referencia es el eje x de los acelerómetros y

está dado por la siguiente expresión:

$$GTF = HSTF = ATAN (G_y / -G_x)$$

### 2.5 ÁNGULO DE INCLINACIÓN

Es el ángulo de inclinación que tiene el vector dirección del campo magnético de la tierra en un punto donde sucede la perforación, con respecto a la recta tangente a ese mismo punto, lo que implica que para cada ubicación geográfica de la tierra existe un ángulo de inclinación o módulo de inclinación ( $H_{INC}$ ) inherente a dicho punto, y está dado por:

$$DIP = ASIN \left\{ \frac{(H_x * G_x) + (H_y * G_y) + (H_z * G_z)}{G_{total} * H_{total}} \right\}$$

### 2.6 CAMPO MAGNÉTICO TOTAL

Este es el valor medido del campo magnético total o módulo del campo magnético ( $H_{MOD}$ ) para un punto determinado, y está dado por:

$$H_{total} = (H_x^2 + H_y^2 + H_z^2)^{1/2}$$

Todo esto nos indica que todos los valores medidos y entregados por la herramienta deben corresponder todos entre sí, ya que de otra forma

estariamos obteniendo lecturas erróneas, afectando la efectividad en cuanto a la perforación se refiere, por esta razón es importante la prueba que se le realiza a la herramienta en superficie debido a que nos permite observar si todos los valores corresponden en sus proporciones, de lo contrario existe una posible falla en la herramienta, éste test se realiza con formatos proporcionados por la compañía, teniendo en cuenta unos rangos de tolerancia permitidos por la herramienta para efectos de calidad, por ejemplo:

Para el **Azimuth**

$$|AZ_{max}-AZ_{min}| < 1^{\circ}$$

Y para la **Inclinación**

$$|Inc_{max}-Inc_{min}| < 0.1^{\circ}$$

Finalmente la herramienta direccional G4 Plus (Figura 12) tiene una ubicación dentro del BHA, en el portador de herramienta, tal como se muestra en la figura 15.



Figura 15. G4 Plus Dentro de BHA

### 3. PRUEBA DE LA HERRAMIENTA DIRECCIONAL

Se empieza hacer la prueba una vez se haya sincronizado la herramienta programando los comandos necesarios para obtener los datos requeridos, para una cara alta de la herramienta de  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ , y  $270^\circ$ , con sus valores de Inclinación, Azimuth, ángulo de inclinación, Campo magnético total, luego el MTF (Toolface Magnético) debe guardar una proporción con el GTF (Toolface Gravimétrico) igual para cada caso, es decir, para  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ , y  $270^\circ$ , de lo contrario no pasa la prueba y queda no conforme, luego vienen las componentes de los campos gravimétrico y magnético que de igual forma deben corresponder en proporciones iguales, por último la prueba del giro aleatorio, que consiste en hacer la misma prueba excepto que ya no es a una inclinación de  $90^\circ$  cambiándolo a  $60^\circ$  debido a que el acelerómetro en la dirección z  $G_z$  no experimenta ningún cambio durante las cuatro posiciones, de esta forma, aseguramos que sí esté respondiendo, y que por especificaciones del fabricante debe ser a  $60^\circ$ .

Para ello se cuenta con una herramienta que nos facilita los movimientos necesarios para hacer dicha prueba, la cual soporta la G4 PLUS ubicándola a  $90^\circ$  o a  $60^\circ$  de inclinación y la podemos cambiar fácilmente de dirección cuando sea necesario.



Figura 16. G4 Plus a  $90^\circ$  de Inclinación



Figura 17. G4 Plus a  $60^\circ$  de Inclinación

Este proceso se repite para  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ , y  $270^\circ$  en azimuth, observando de ésta manera el comportamiento en cada una de las posiciones mencionadas.

#### 3.1 INSPECCIÓN VISUAL

Como primera medida la herramienta debe estar completamente limpia, libre de cualquier tipo de grasa o aceite, especialmente en los conectores,

seguidamente se revisan los anillos de caucho (selladores) y de ser necesario se reemplazan, especificando los lugares en la figura 18.

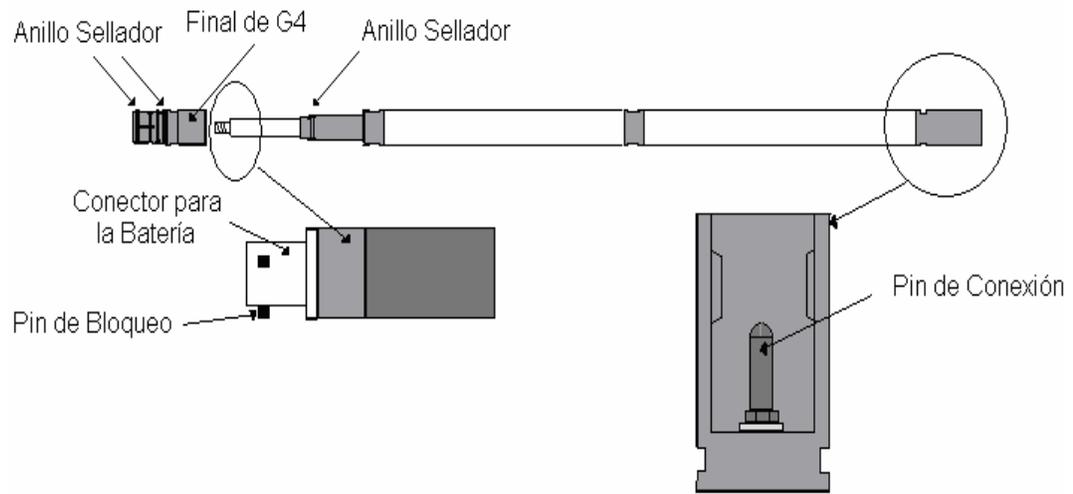


Figura 18. Anillos de caucho (selladores) y conectores

Observar que las líneas de torque coincidan, debido a que de no ser así, la herramienta ha tenido un re-torque, afectando seguramente sus componentes internos, lo que con lleva seguramente a un mal funcionamiento de la misma; éstas marcas son de fabricante, como se observa en la siguiente figura.

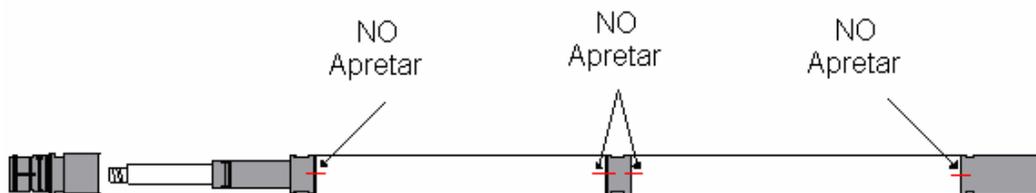


Figura 19. Marcas de torque

Luego, sin tener conectada la batería, se mide con un multímetro la resistencia interna de la herramienta, la cual debe tener un valor aproximado a 14 KΩ; un valor de resistencia bajo, significa que la BTR presenta problemas, por ejemplo, problemas con el aislamiento, provoca seguramente un corto-circuito, y/o por otro lado, puede encontrarse suciedad en los conectores, en ambos casos la señal de la herramienta direccional se verá afectada, lo que significa un mal rendimiento de la misma, ésto se muestra en la figura 20.

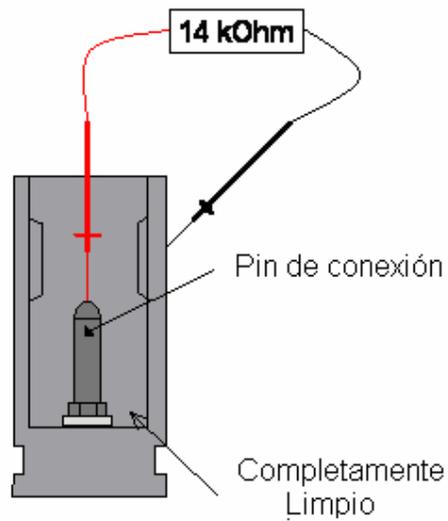


Figura 20. Conector de antena

A continuación procedemos a conectar la herramienta direccional G4 PLUS con la batería de litio a 18 V DC siendo esta la que le proporciona la alimentación, seguidamente se establece la comunicación de esta con el SURFACE TRANSCIEVER mediante el cable de superficie y de éste último al PC por medio de un cable de datos.



Figura 21. Batería de Litio



Figura 22. Conexión entre la G4 y la Batería

Medimos la corriente que circula a través de la herramienta en cada una de sus cuatro fases, teniendo además, un monitoreo más completo acerca de como está funcionando, la medida comprende:

- G4 MWD standby  $\approx 45$  mA : En este momento la herramienta está a la espera de recibir una orden.
- G4 MWD + CDS  $\approx 80$  mA : Durante esta fase lee los sensores.
- G4 MWD + CDS + Dir sensor  $\approx 200$  mA : Actúa el sensor de dirección y envía la información.
- G4 MWD Emitting at  $I_{med}$ , 1 Ohm load on the transceiver  $\approx 800$  mA : Para esta medida la herramienta debe estar emitiendo a 3 Amp que es la corriente media, siendo la baja 1 Amp y la alta 10 Amp, con el strap puesto a 1 ohm en el transceiver.

Si la corriente que fluye a través de la herramienta varía en un 10% y todas la conexiones han sido verificadas, por consiguiente debe ser enviada a reparación.

Además, se debe configurar la herramienta a emitir a 1 , a 3 y a 10 Amp, haciendo pasar la señal que proviene de la herramienta por la etapa divisora de señal del TRANSCEIVER, la cual consta de un arreglo de resistencias de 0.1, 1 y 10 ohm, para verificar que en todas las condiciones debe ser decodificada la señal, teniendo en cuenta unos niveles de voltaje de referencia, realizando el proceso de la siguiente forma.

<b>Posición del puente (Strap)</b>	OFF	10 Ohms	<b>1 Ohm</b>	0.1 Ohm
$I_{(BAJO)}$	18 mV	18 mV	<b>1.8 mV</b>	0.18 mV
$I_{(MEDIO)}$	18 mV	18 mV	<b>4 mV</b>	0.4 mV
$I_{(ALTO)}$	18 mV	18 mV	<b>10 mV</b>	1 mV

Tabla 1. Medida de la señal con la etapa divisora

### 3.2 ATENUADOR DE LA SEÑAL

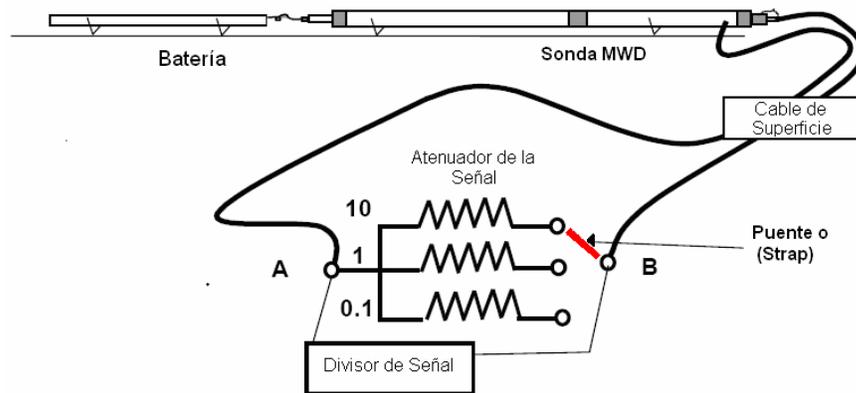


Figura 23. Etapa Divisora

Después de cierto procedimiento necesario para lograr la sincronización de la herramienta con el equipo de superficie, se obtiene la señal que indica que se puede seguir con el procedimiento, para que una vez completo, por medio del programa SPECTRUM SUITE que es el interfáz con el operador, iniciar la prueba.

### 3.3 SEÑAL DE LA G4 PLUS

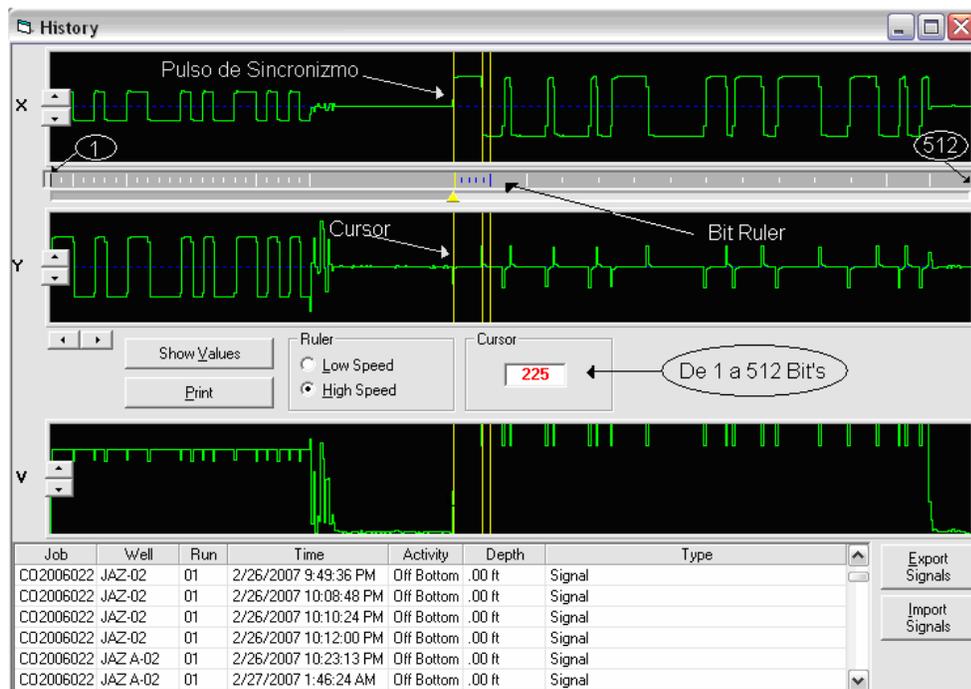


Figura 24. Señal de Sincronismo

### 3.4 SPECTRUM SUITE

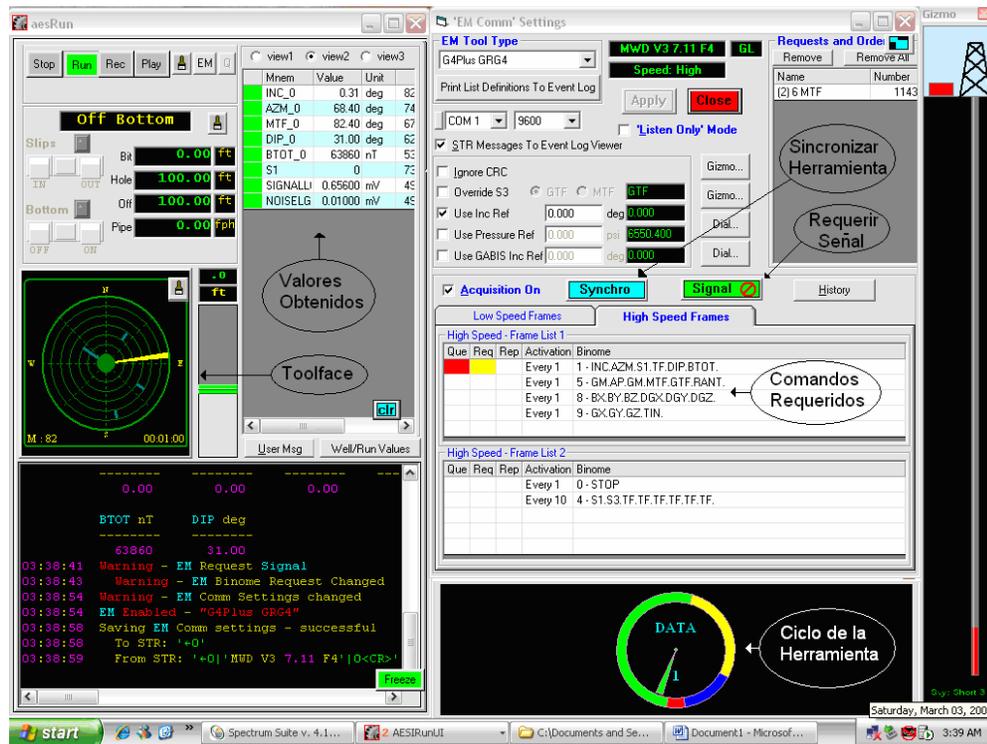


Figura 25. Spectrum Suite

Este tipo de pruebas se debe realizar en la base antes de salir para operación y además estando en campo, antes de iniciar la perforación.

Se debe tener en cuenta que el uso máximo, es decir, horas máximas de operación que puede garantizar el fabricante es de 2000 hr, tiempo que empieza cuando se conecta y termina cuando se desconecta, esto para cada corrida sumando su tiempo y haciendo un total hasta la cantidad de horas límite, una vez cumplido este tiempo es enviada a mantenimiento y reparación.

En el caso que la herramienta pase la prueba, se etiqueta verde en su cuerpo de lo contrario, una etiqueta roja es puesta en la herramienta, indicando la no conformidad, inmediatamente se hace la logística pertinente para enviarla a reparación.

#### 4. EQUIPO DE SUPERFICIE (SURFACE TRANCEIVER)

El SURFACE TRANSCEIVER V3. está diseñado para ser el interfáz entre la herramienta direccional G4 PLUS y el PC donde se controla la herramienta mediante el programa de operador SPECTRUM SUITE, recibe y decodifica la señal emitida por la herramienta MWD electromagnética, que a su vez envía los comandos y ordenes a la MWD, (todos los datos ordenados y requeridos, deben ser hechos a través del PC on-line).



Figura 26. Equipo de superficie (surface tranceiver)

Los programas utilizados por el equipo de superficie (surface tranceiver) son almacenados en una memoria EEPROM, la cual permite de una manera rápida y simple la reconfiguración para diferentes propósitos, el programa puede ser cargado por medio de un puerto serial del PC , esto permite cambiar rápidamente el programa sin tener que programar la EEPROM externamente, además que todos los datos decodificados por el TRANSCEIVER pueden ser enviados y almacenados en el PC on-line.

El cual comprende de:

##### 4.1 VISTA POSTERIOR

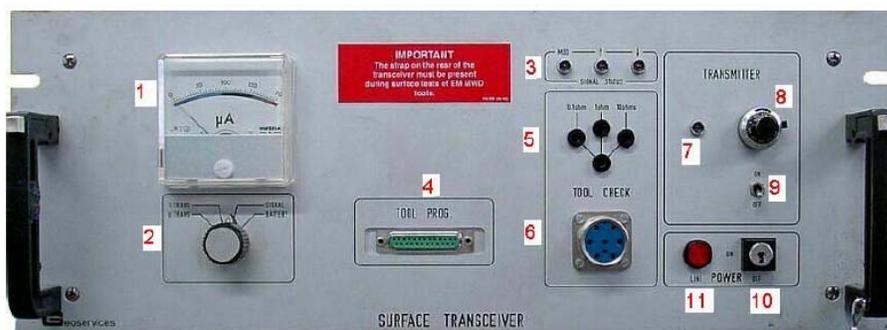


Figura 27. Vista Frontal

1. Voltímetro
2. Selector del Voltímetro
3. LED's Indicadores de estado de la señal
4. Conector de programación
5. Selector de carga resistiva
6. Conector de prueba para la herramienta MWD (Cable de superficie)
7. LED de poder del Transmisor
8. Potenciómetro de ajuste de corriente del transmisor
9. Interruptor del transmisor
10. Interruptor principal de poder
11. Indicador principal de poder

Escala del Voltímetro

Scale	0	50	100	150	200
<b>U-Trans</b>	0 V	5 V	10 V	15 V	20 V
<b>I-Trans</b>	0 A	5 A	10 A	15 A	20 A
<b>Battery</b>	0 V	5 V	10 V	15 V	20 V
<b>Signal LG</b>	0 mV	5 mV	10 mV	15 mV	20 mV
<b>Signal HG</b>	0 mV	0.17 mV	0.33 mV	0.5 mV	0.66 mV

Tabla 2. Escala del Voltímetro

## 4.2 VISTA ANTERIOR



Figura 28. Vista Anterior

1. Fusible principal (3Amp)
2. Conector para alimentación
3. Puerto serie 1 (usado para conectar con el PC )
4. Puerto serie 2
5. Puerto serie 3
6. Salida para señal análoga

7. Entrada para antenas (emisión / recepción)
8. Configuración Strap
9. Entrada para batería externa (únicamente telecomando)

Para hacer la prueba, es necesario conectar y sincronizar la herramienta direccional, es decir, cuando se esté haciendo la prueba de la EM MWD, paralelamente se esté haciendo la del TRANCEIVER.

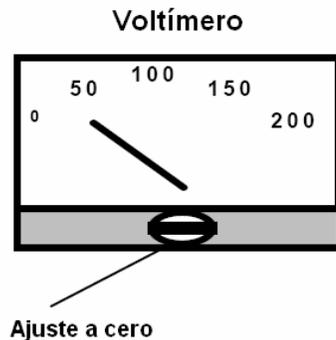


Figura 29. Voltímetro

El primer paso de prueba se trata de datos generales de la herramienta, luego se considera la inspección visual, que consta de observar en que condiciones físicas se encuentra el equipo, tanto interno como externo, considerando que sus conexiones se encuentren en buen estado, calibrando el voltímetro a cero, tal como muestra la figura.

Además se verifica en que estado está la batería interna, si decodifica, es decir, si recibimos los datos que esperamos, entre otras.

Por último se revisa si los parámetros de emisión y recepción de la señal se encuentran en buenas condiciones, esta prueba sólo es posible realizarse en campo, cuando las condiciones y el despliegue de toda la parte técnica así lo permitan, en donde darse cuenta de alguna anomalía a última hora, implicaría pérdida de tiempo y de efectividad de la compañía; es de anotar que ahora es posible realizar este procedimiento en la base antes de enviarlo a campo con el diseño del sistema de simulación contemplado para este proyecto, permitiendo verificar las condiciones de emisión / recepción del equipo.

Finalmente, debemos pasar la herramienta de 1 a 3 y 10 Amp, por medio del PC on-line y observar que el TRANCEIVER lo codifique correctamente, para luego constatar dicho proceso mediante el programa del operador.

## 5. SONDA DE RAYOS GAMMA

El GAMMA RAY es una herramienta que se utiliza para obtener registros de la formación mientras se perfora, útil para hacer los trabajos de geología, en donde tener una clara percepción de la ubicación de cada tipo de formación terrestre que se encuentra, es la diferencia entre tener una buena producción o sencillamente no tener nada, ésto debido a que se debe tener plenamente ubicada la zona productora o la zona donde posiblemente se encuentre el hidrocarburo para así mismo ser explotada.

Ésta es una herramienta “Pasiva” y detecta la radiactividad natural que ocurre en varias formaciones de la tierra; existen tres isótopos radiactivos, los cuales son el *Potasio*, *Uranio* y *Torio* por su abundancia en la corteza terrestre son detectados por la herramienta.

La respuesta *Litológica* es diferente en las arcillas que en las areniscas, debido a la cantidad de componentes radiactivos propios para cada capa terrestre. De ésta forma se reconoce el tipo y grosores de la formación en otras palabras los topes.

Actuando como muestra en la figura 30.

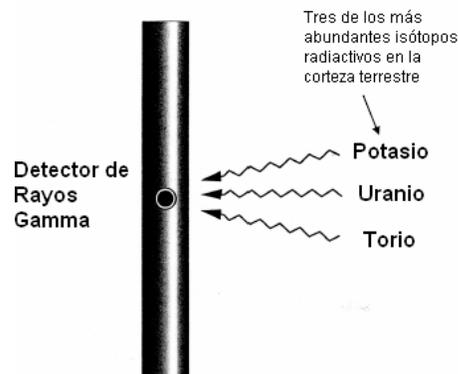


Figura 30. Sensor de Rayos Gamma

La SONDA DE RAYOS GAMMA GRG4 está conectada directamente con la herramienta direccional, que a su vez se encuentra dentro del portador de herramienta (BHA figura 9) tal y como se muestra en la figura 31, que a través de ésta, envía la información a la superficie.

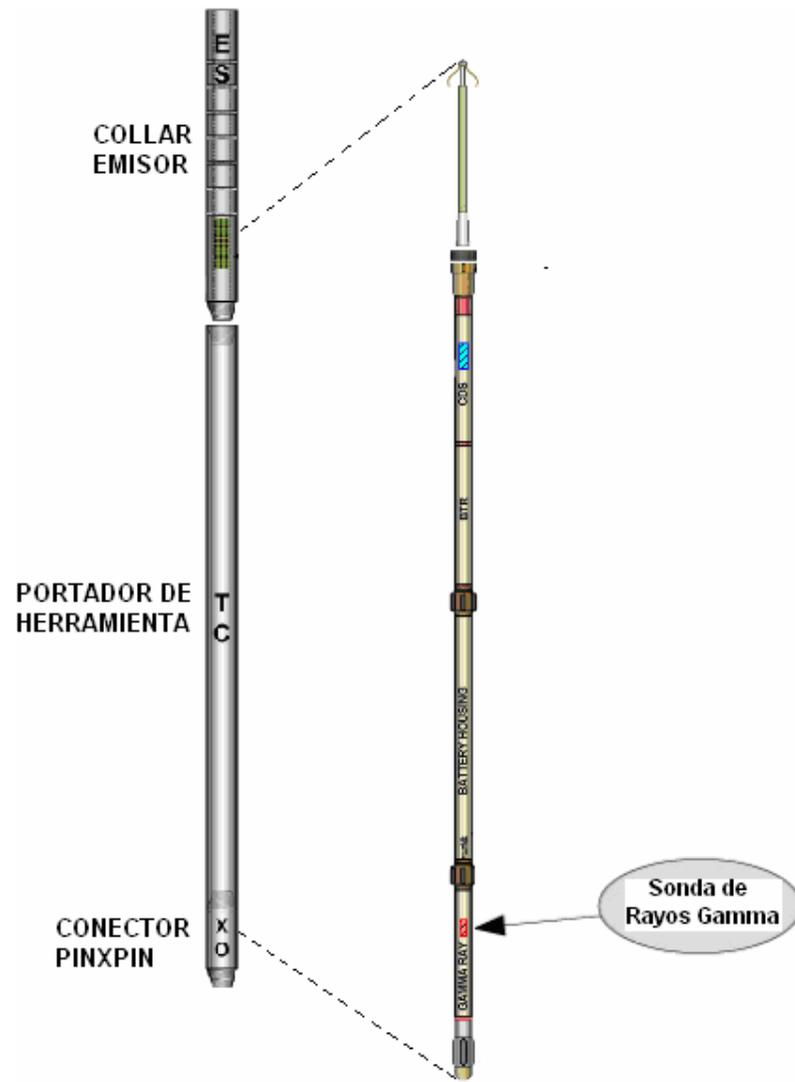


Figura 31. G4 Plus y sonda de rayos gamma dentro de BHA

## 5.1 PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

La calibración de la herramienta se trata de encontrar el factor K1 que es el factor de escala entre el K1 que viene por defecto con la herramienta y el sensor actualmente calibrado, es decir, un nuevo K1. El objetivo es encontrar la misma respuesta del sensor en comparación con el original; cada sensor tiene su propio factor K1 y este es introducido al programa SPECTRUM SUITE para hacer la corrección y convertir automáticamente el flujo de datos.

Este proceso se empieza con una inspección externa de la herramienta para verificar en qué estado se encuentra los conectores, los anillos de caucho, que esté totalmente limpia, reemplazar los anillos de caucho defectuosos por unos nuevos, verificar que no haya sido torquada teniendo en cuenta las marcas dispuestas por el fabricante tal como se muestra en la figura 32.

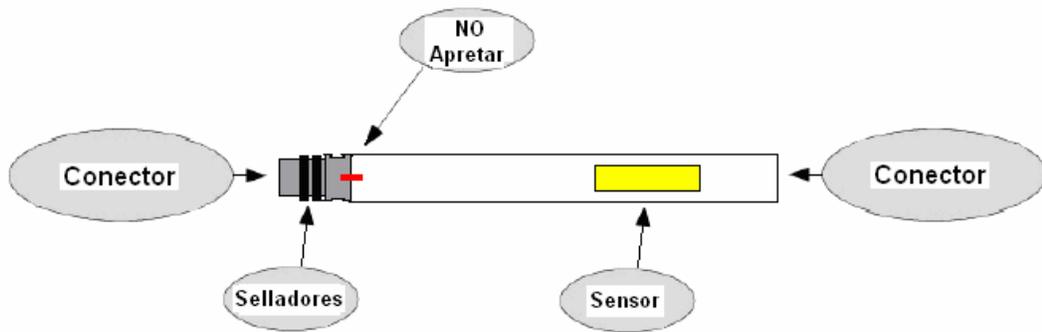


Figura 32. Partes de la sonda de rayos gamma

Seguidamente ubicamos la batería de litio con la que vamos a alimentar la herramienta como se muestra en la figura 21, por medio de la interface *Gamma Ray CSGx interface* como se muestra en la figura 33, y ésta con la SONDA DE RAYOS GAMMA indicada en la figura 34, para llegar a una configuración mostrada en la figura 35 como sigue:

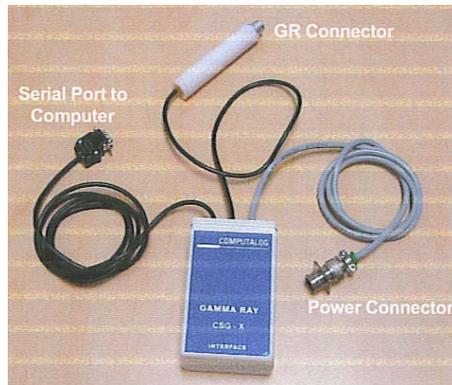


Figura 33. Gamma Ray CSGx interface

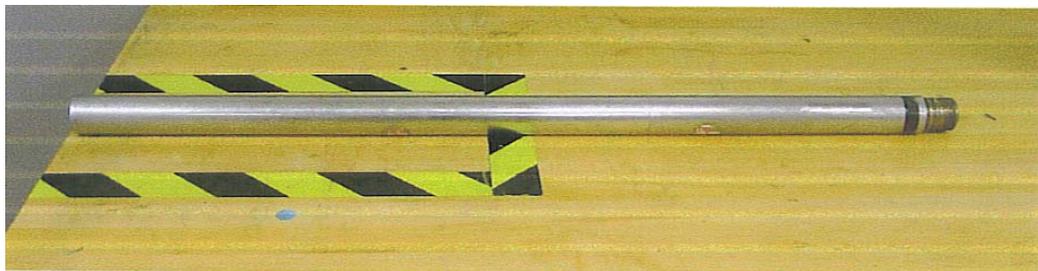


Figura 34. Sonda de Rayos Gamma

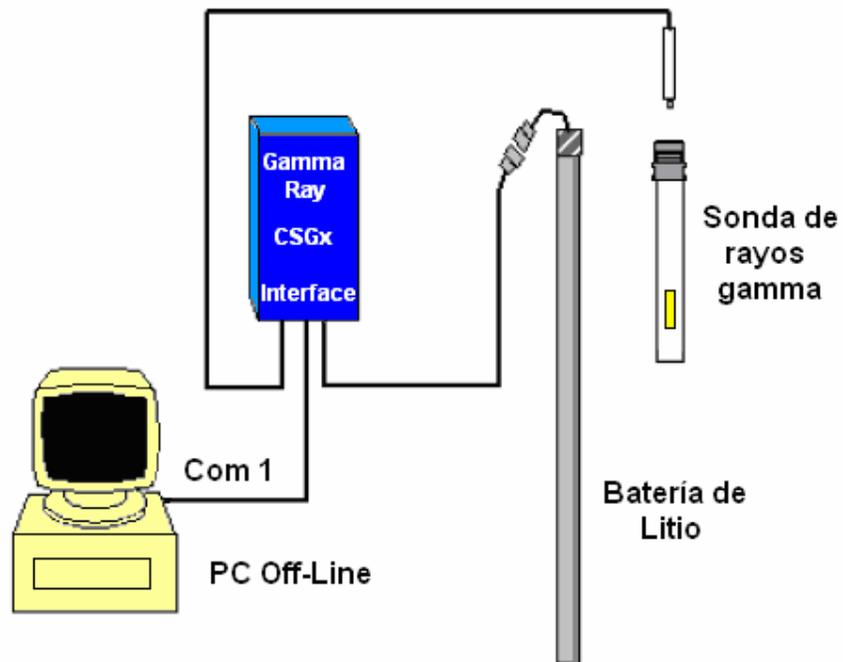


Figura 35. Configuración de calibración

Luego, por medio del programa SPECTRUM SUITE, controlamos nuestra herramienta para efectos de la calibración, como se muestra en la figura 36.

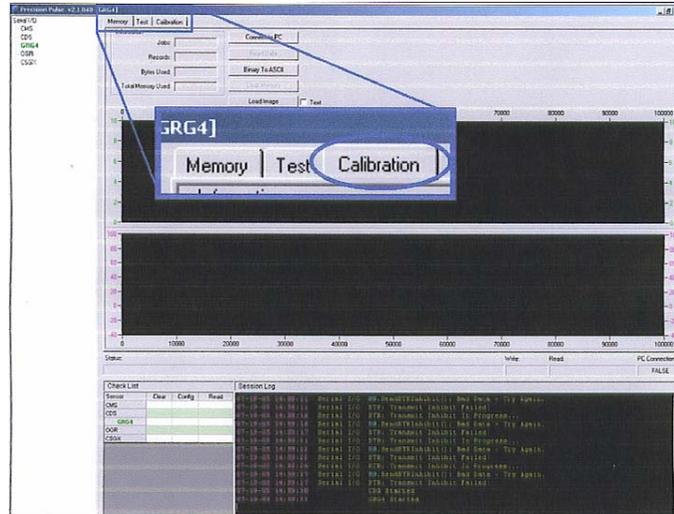


Figura 36. Spectrum Suite para sonda de rayos gamma

Conectamos la herramienta con interface (*Gamma Ray CSGx interface*), y a su vez, ésta con la batería de litio para la alimentación del circuito como aparece en la figura 37 y 38 respectivamente.



Figura 37. Conexión entre (Gamma Ray CSGx interface) y Sonda de rayos gamma



Figura 38. Conexión entre (Gamma Ray CSGx interface) y batería de litio

Procedemos a llenar con los datos generales, requeridos por el programa, tales como: número de serie de la herramienta, encontramos el *Factor K1* de la herramienta con la que llega por defecto, el operador y donde se realiza la calibración, el serial del calibrador, y el factor de calibración del instrumento calibrador, instrumento que se muestra en la figura 39, y por último, la fecha en la que ocurrió dicha calibración.

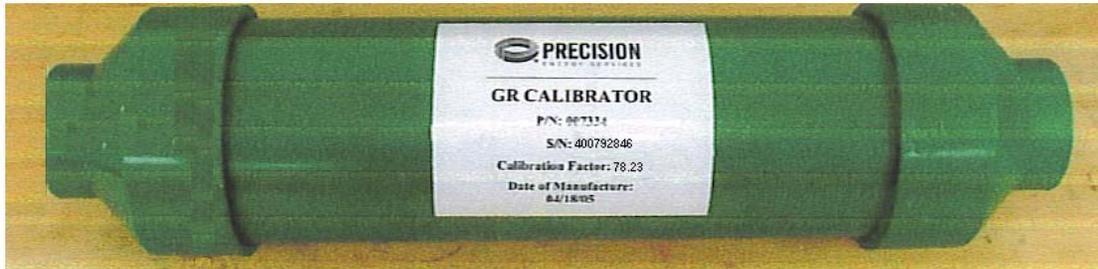


Figura 39. Calibrador de la sonda de rayos gamma

Luego de haber introducido los datos anteriormente nombrados, seguido de obtener la configuración de la figura 35, procedemos a iniciar la calibración.

En éste momento, empieza a estabilizarse la señal de la herramienta, proceso en donde tarda al menos una hora, tiempo en el cual aseguramos la estabilización de dicha señal, tal como se muestra en la figura 40.

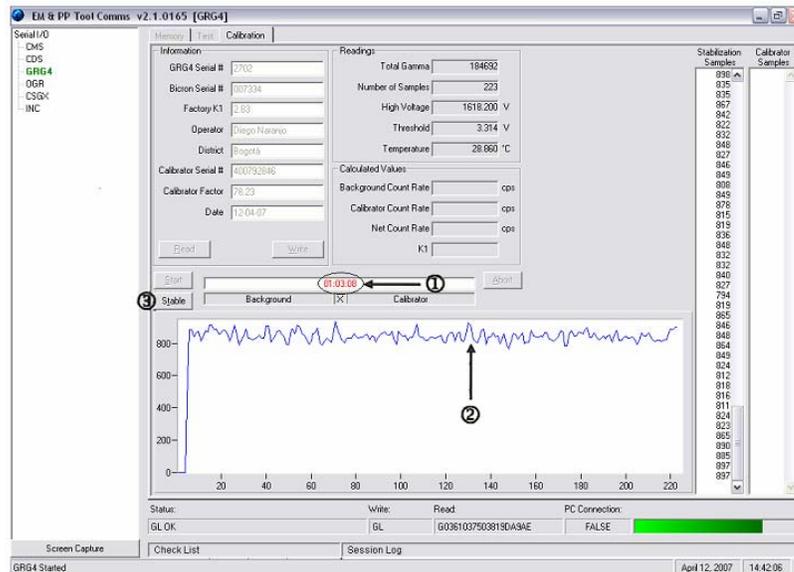


Figura 40. Estabilización de la señal

1. Tiempo de estabilización de la señal.
2. Señal estabilizada.
3. Finalizar la estabilización.

Luego procedemos a instalar el calibrador de la figura 39 en la SONDA DE RAYOS GAMMA como lo muestra la figura 41, para encontrar el nuevo valor de  $K1$ , el cual no debe exceder del 10% del  $K1$  por defecto de la herramienta, como se muestra en la figura , en éste caso se crea un reporte de falla.

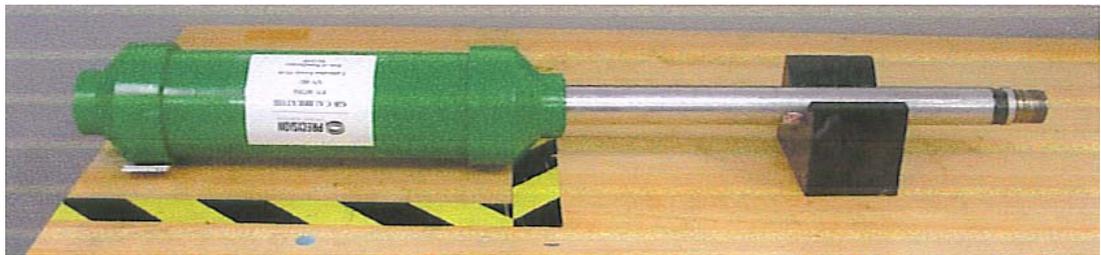


Figura 41. Calibrador Instalado

En este momento el programa empieza a calcular el nuevo valor, como lo indica la figura 42.

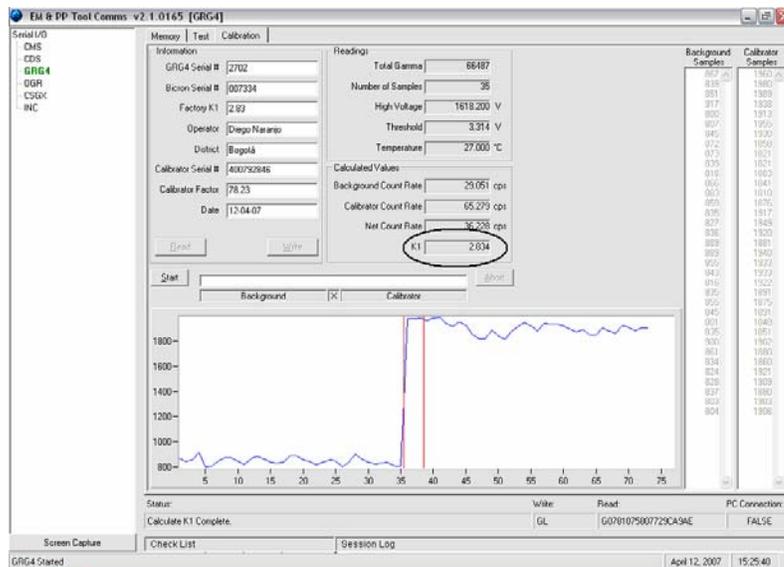


Figura 42. Calculo del Nuevo K1

Arrojando como resultado el factor de escala  $K1$  calculado como lo muestra la figura 43, generando su respectivo reporte.

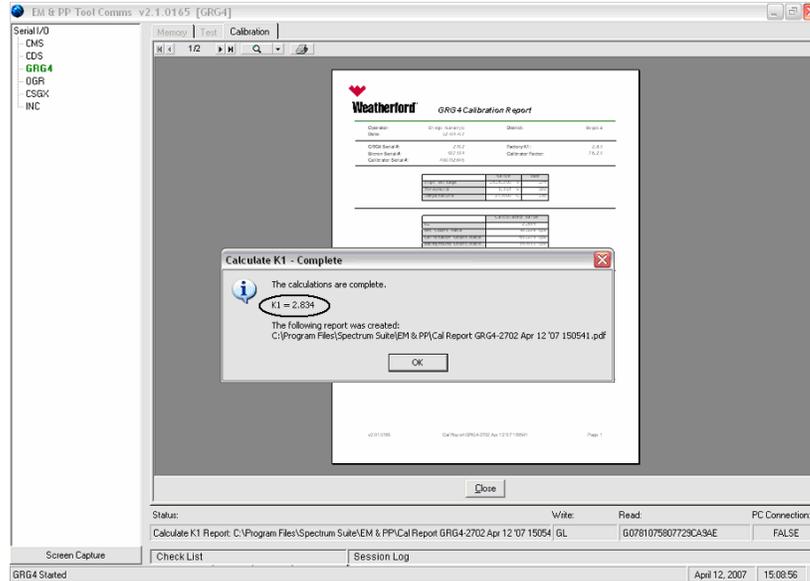


Figura 43. K1 calculado

Caso en el que el nuevo valor de  $K1$  excede el 10% del valor de  $K1$  por defecto, el cual es mostrado como la figura 44.

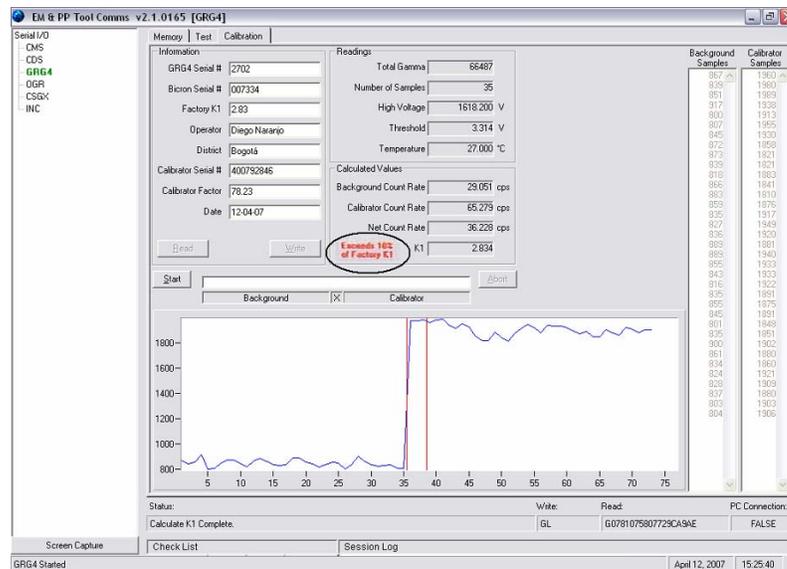


Figura 44. Excede el 10%

Por último se diligencian algunos formatos especializados para llevar un control sobre las herramientas que llegan de operación y así mismo permitir que salgan de la base en buenas condiciones de operabilidad.

Por otro lado, se debe de inspeccionar la memoria de la SONDA DE RAYOS GAMMA, esto es, leer lo que contiene y posteriormente borrar dicho contenido, este procedimiento se realiza teniendo la configuración de la figura 35, seguidamente procedemos a seleccionar la opción de memoria en la ventana del programa, como se observa en la figura 45.

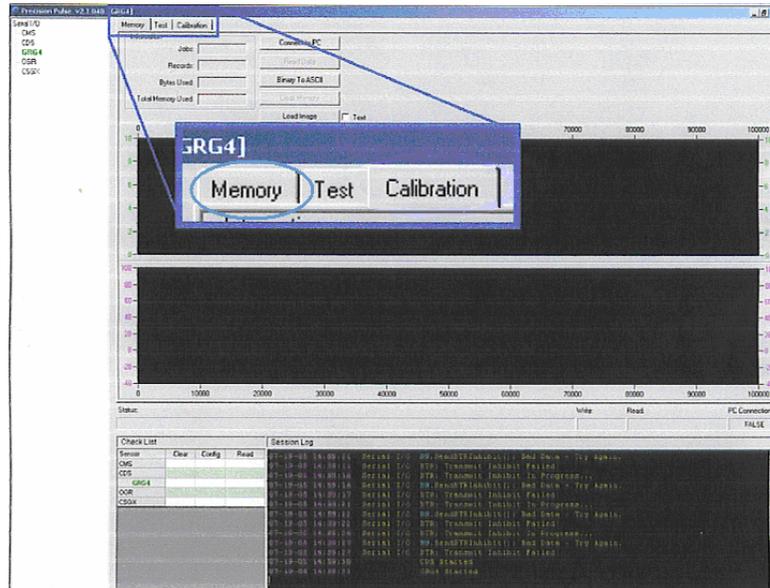


Figura 45. Memoria Spectrum Suite

Una vez se ha establecido la comunicación entre la herramienta y el programa, procedemos a leer algunos datos contenidos, tal como muestra la figura 46.

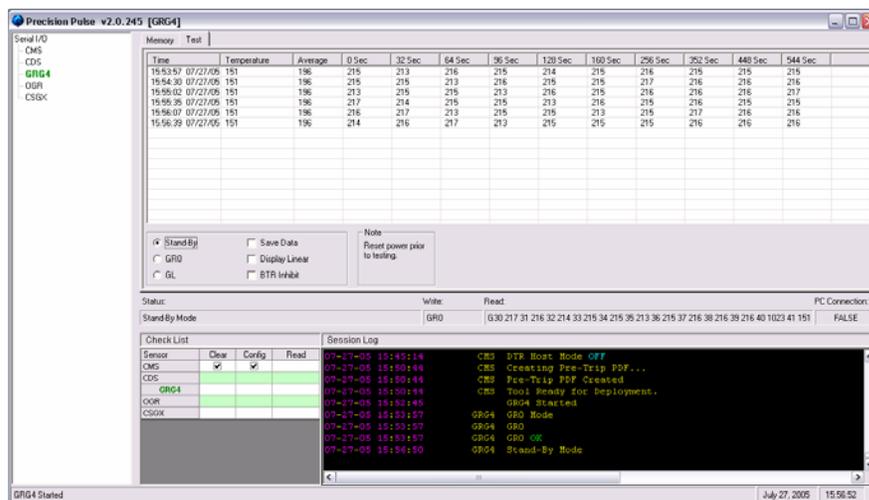


Figura 46. Datos leídos

Para luego, ser borrada la memoria, como se observa en la figura 47.

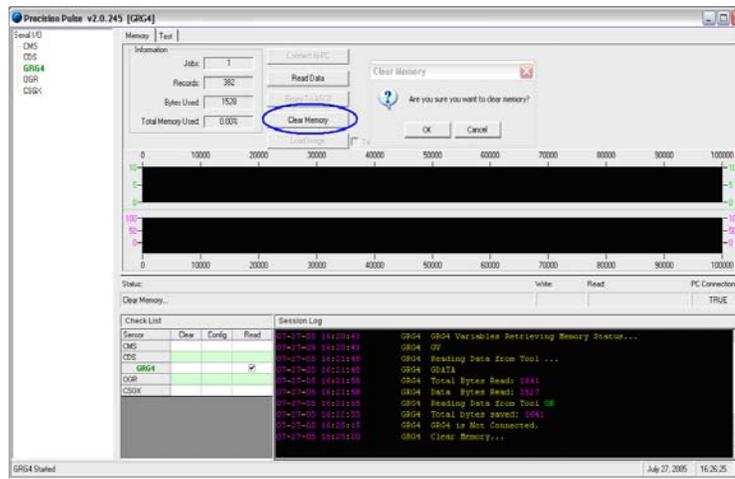


Figura 47. Borrar memoria

Podemos darnos cuenta que dicho procedimiento se cumplió satisfactoriamente, mediante la figura 48, en donde nos indica que no contiene ningún dato almacenado.

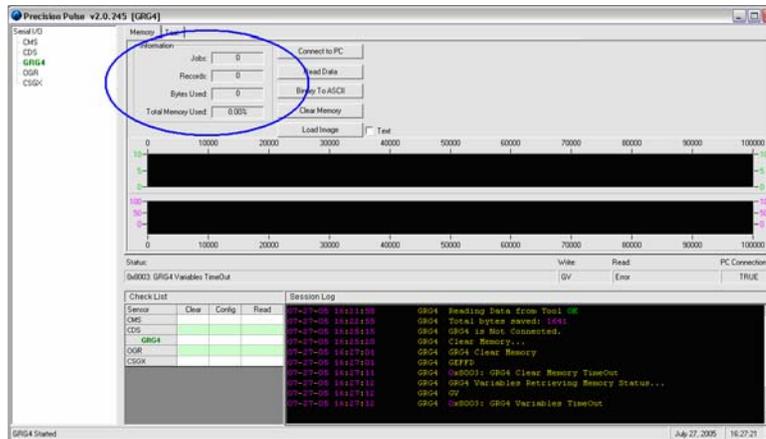


Figura 48. Memoria Borrada

## 6. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL INTERFAZ DE SIMULACIÓN

Durante la prueba en superficie, se cuenta con condiciones ideales de operación, debido a que no existe ningún tipo de señales o ruidos externos que pueda afectar la señal de la herramienta y por consiguiente afectar la codificación / decodificación.

Estas señales externas son comúnmente de otros equipos de superficie (TRANCEIVER) que se encuentren en operación a una pequeña distancia uno del otro, afectando el sistema debido a que se capta la señal vecina, siendo esta señal, entendida por el equipo de superficie como ruido, y en ocasiones, la relación señal a ruido disminuye vertiginosamente; es en este momento en donde nos daremos cuenta si el sistema herramienta direccional y tranceiver está en condiciones de decodificar la información, con la presencia de estos niveles de ruido, lo cual representa un riesgo, porque ya en estos momentos la herramienta se encuentra en fondo, además estas señales también son causadas por bombas electrosumergibles, las cuales son ubicadas ocasionalmente en los pozos que se encuentran produciendo para extraer el crudo y son introducidos al sistema debido a que los pozos cercanos a donde se está perforando, se utiliza como antenas a tierra para recibir la información y captar la onda electromagnética por medio del revestimiento de dicho pozo, esto debido a que estamos conectados físicamente por medio de un cable que se extiende desde las salidas del tranceiver hasta el cabezal de éste pozo en mención.

Otro caso, es cuando se introduce ruido al sistema, debido los arcos de soldadura presentado comúnmente dentro de la locación, esto causa que la amplitud de la señal disminuya en una proporción importante, limitando la profundidad a la cual la herramienta pueda llegar, esto es, que la amplitud de la señal captada en superficie, es inversamente proporcional a la profundidad perforada, con esto decimos que el parámetro de atenuación de la señal es importante tenerlo en cuenta, porque está estrechamente ligada con la profundidad a la cual podemos llegar, cabe anotar, que el comportamiento de la señal no es el mismo en todos los campos, esto porque, la litología en un punto de la tierra no necesariamente es el mismo que en otro punto distinto, con esto se entiende, que en algunos campos podemos llegar más profundo que en otros, es en este momento en donde por experiencias anteriores o por reporte de zona, teniendo en cuenta este parámetro, se decide entrar con otra herramienta MWD distinta a la telemetría electromagnética, como por ejemplo, la telemetría de pulso positivo, en donde se captura y se decodifica la señal que llega como aumentos de la presión en el fluido, llegando más profundo que la electromagnética pero menos versátil.

## 6.1 DISEÑO DE LAS ETAPAS

### 6.1.1 DISEÑO DEL GENERADOR DE RUIDO BLANCO

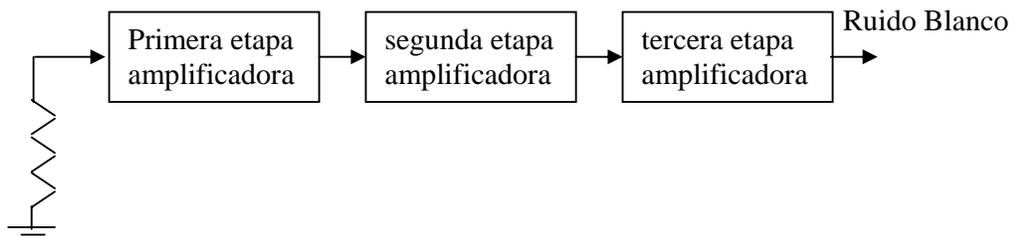


Figura 49. Diagrama de bloques del generador de ruido blanco

El circuito simplemente amplifica la señal de ruido generada en la resistencia de  $100\Omega$ . El circuito de amplificación se realiza en tres etapas, con el fin de obtener un ancho de banda mayor para el generador de ruido. El circuito mostrado está realizado de tal forma que la primera etapa introduce una ganancia aproximada de voltaje de 760, la segunda con una ganancia de 119 y la tercera con un máximo de 3.3, teniendo el control de variar la ganancia, para variar la potencia al ruido y de esta manera controlarlo. La primera etapa tiene mayor ganancia, lo cual garantiza que el ruido amplificado sea el ruido generado en la resistencia de  $100\Omega$ .

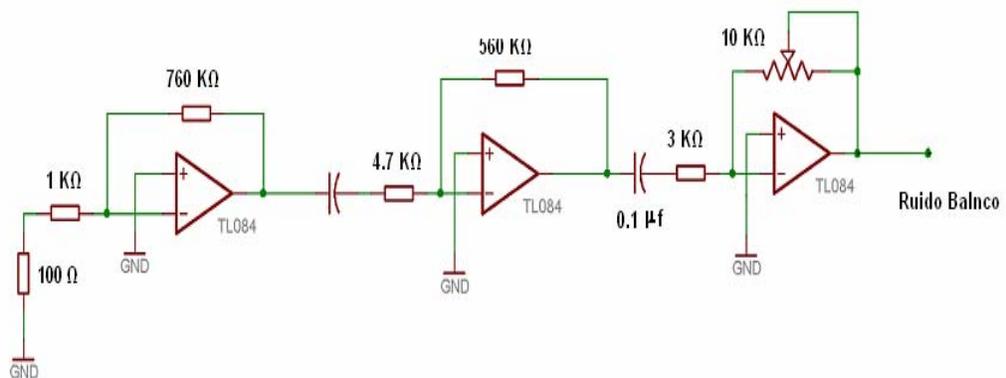


Figura 50. Diagrama del generador de ruido blanco

Con esta etapa de generador de ruido blanco podemos simular los ruidos eléctricos externos, variándole la potencia de salida al ruido, para que de esta manera sumado con la señal que arroja la herramienta, podamos ver el comportamiento del sistema ante este parámetro en varios momentos de ruido.

## 6.1.2 DISEÑO DE LA ETAPA DE ATENUACIÓN

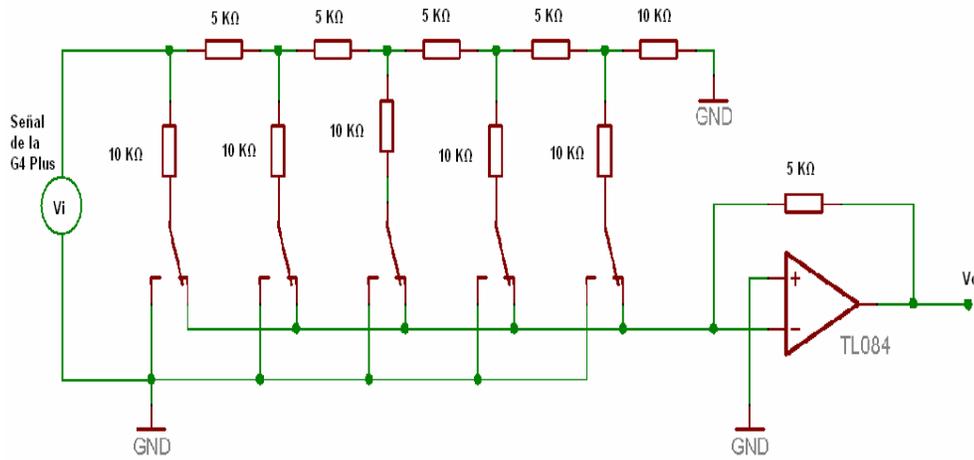


Figura 51. Diagrama de la etapa de atenuación

Se escogió éste tipo de circuito, debido a que su comportamiento es similar al comportamiento que experimenta la onda electromagnética que emite la herramienta direccional, conforme aumenta la distancia perforada, esto es:

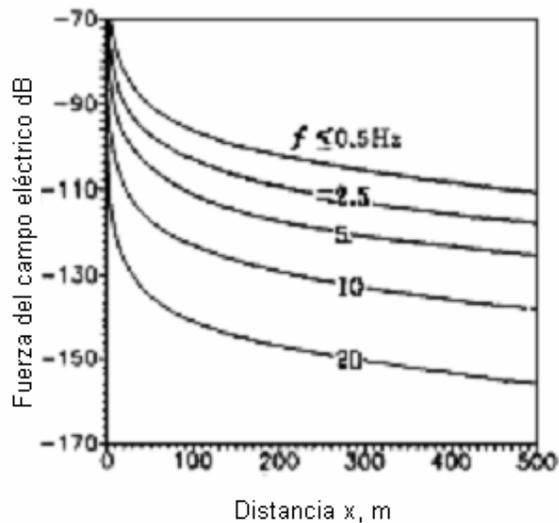


Figura 52. Gráfica del Campo eléctrico vs distancia perforada

Ésta gráfica ilustra la atenuación experimentada por la onda electrognética, en donde corresponde a pruebas realizadas con distintas frecuencias de transmisión, que para nuestro caso es de 5.33 Hz, que es la frecuencia a la

transmite la herramienta, y que en la gráfica es la tercera curva; ésta gráfica corresponde a un comportamiento en un sitio específico, lo cual, implica que para otro lugar diferente no necesariamente tiene el mismo comportamiento, pero la respuesta será cercana.

Con base en esto, se diseña la etapa de atenuación, con el fin de aplicarle variación de parámetros semejantes a los reales, para verificar el comportamiento del sistema, esto es, que el comportamiento de atenuación del circuito está dividido en cinco casos como sigue:

- Caso 1: El primer grado de atenuación corresponde aproximadamente a un 50.16% del 100% de la señal de entrada.
- Caso 2: El segundo grado de atenuación corresponde aproximadamente a un 69.18% de la señal de entrada disminuyendo una proporción de 19.02% con respecto al anterior.
- Caso 3: El tercer grado de atenuación corresponde aproximadamente a un 78.36% de la señal de entrada disminuyendo una proporción de 10.18% con respecto al anterior.
- Caso 4: El cuarto grado de atenuación corresponde aproximadamente a un 88.19% de la señal de entrada disminuyendo una proporción de 9.83% con respecto al anterior.
- Caso 5: Por último, la señal es prácticamente atenuada en su totalidad llevandola a un 99.6% en donde no tenemos decodificación.

Con estos resultados nos damos cuenta que la proporción de atenuación de los últimos casos se mantiene aproximadamente constante, haciendo una relación somera con la gráfica del campo eléctrico vs distancia perforada que muestra la figura 52.

Este tipo de comportamiento se ha observado en algunos campos de perforación, en donde a cierta profundidad perforada experimentamos un decremento abrupto de la señal, y conforme seguimos perforando, ese decremento de la señal va sucediendo ya en proporciones más pequeñas, es decir, tiende a ser constante.

### 6.1.3 GENERADOR DE ONDA SENOIDAL Y ONDA CUADRADA

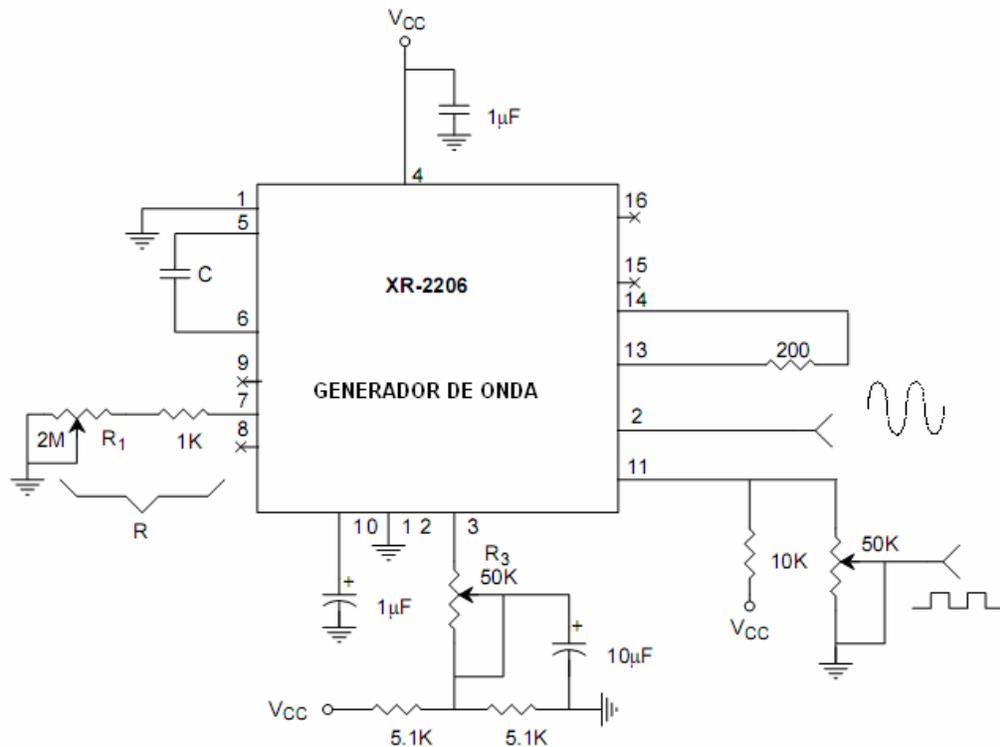


Figura 53. Generador de onda

La finalidad del montaje del generador de onda es observar el comportamiento del sistema ante una señal de entrada externa a la señal original, esto para simular el comportamiento del sistema cuando existe otro equipo de superficie (TRANSEIVER) transmitiendo cerca, tal y como se describió anteriormente.

### 6.1.4 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL INTERFAZ DE SIMULACIÓN

Una vez diseñada cada una de las etapas, sus salidas llegan a la entrada de un sumador, para que en el momento que se quiera, se evalúe con la suma de todos los parámetros, por ejemplo, la etapa de atenuación sumado con la etapa del generador de ruido blanco, para que en la salida se vean los efectos consecuentes a éstos dos parámetros, es decir, que a una potencia constante de ruido, sumado con distintos niveles de la señal, se obtienen situaciones en las que se va a ver menos afectada la señal cuando tiene suficiente amplitud, para que la relación señal a ruido sea tal, que no se vea afectada la señal de entrada, caso contrario sucede cuando la señal ha sido atenuada, en éste momento, esta relación va disminuir, lo que implica que afectará la señal de entrada.

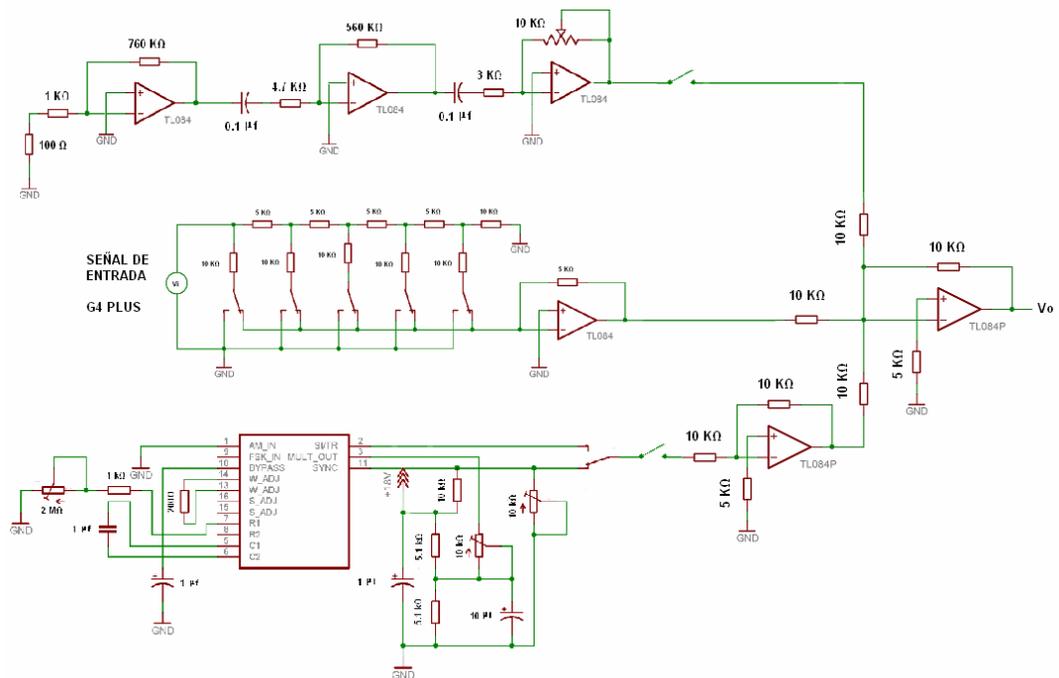


Figura 54. Diagrama esquemático del interfaz de simulación

### 6.1.5 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Fue necesario el diseño e implementación de una fuente de alimentación dual, que fuera capaz de entregar a la salida 18 V DC y -18 VDC, voltaje requerido para polarizar los circuitos integrados según necesidades del diseño.

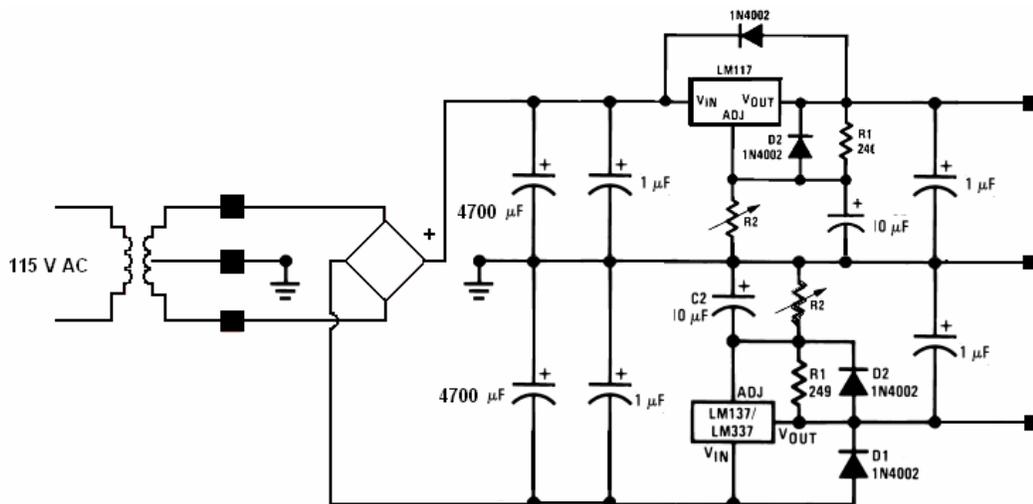


Figura 55. Esquema de fuente de alimentación

## 6.2 MONTAJE DEL CIRCUITO

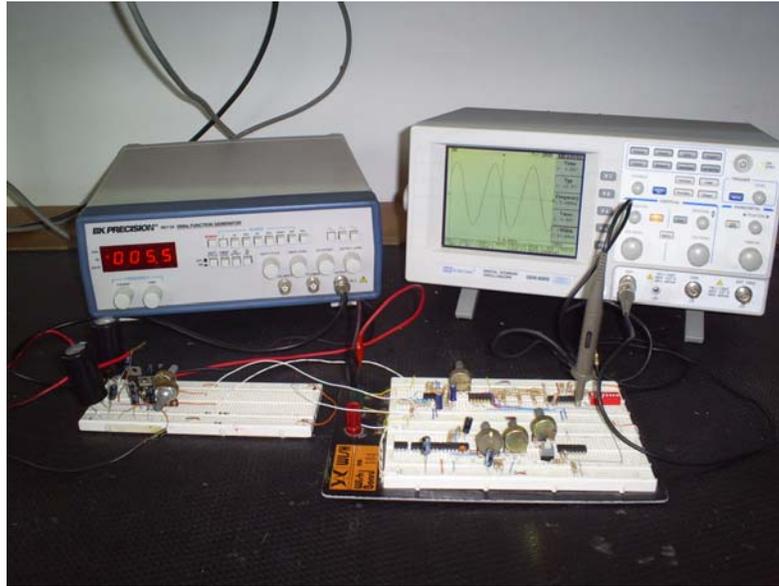


Figura 56. Montaje del circuito

### 6.2.1 ELABORACIÓN DE LOS CIRCUITOS IMPRESOS

#### 6.2.1.1 CIRCUITO IMPRESO PARA SIMULACIÓN

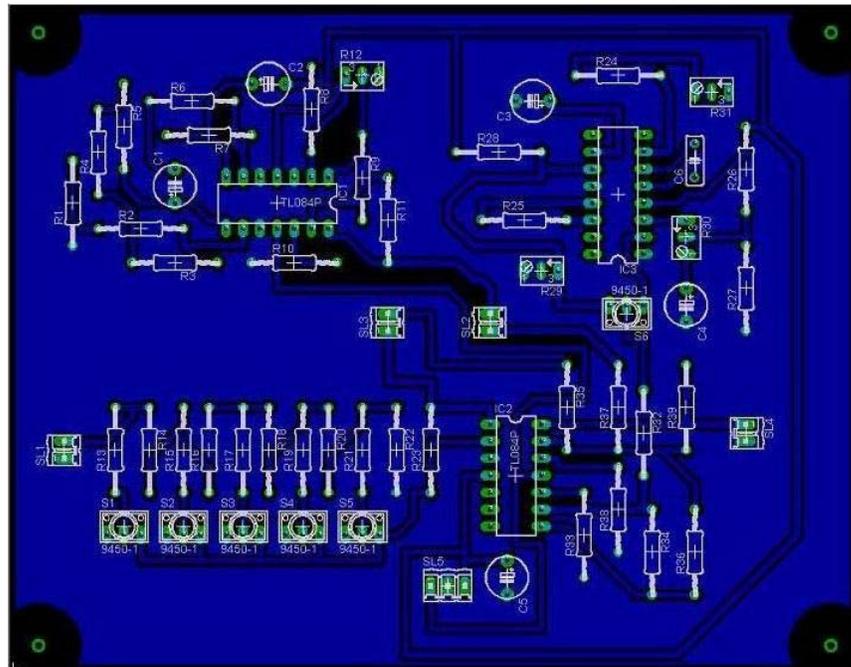


Figura 57. Circuito impreso para simulación

### 6.2.1.2 CIRCUITO IMPRESO PARA LA FUENTE

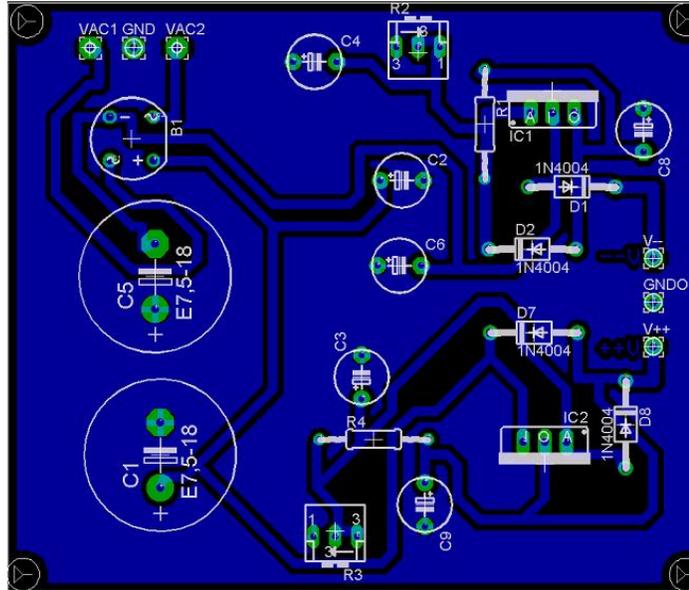


Figura 58. Circuito impreso para la fuente

### 6.2.2 FABRICACIÓN DE LA ESTRUCTURA FINAL

Finalmente se construye la estructura en donde se ubicarán todos los elementos necesarios para cumplir con tal fin y para la fácil manipulación en aras de la utilización permanente de dicho proyecto.

#### 6.2.2.1 COMPOSICIÓN INTERNA

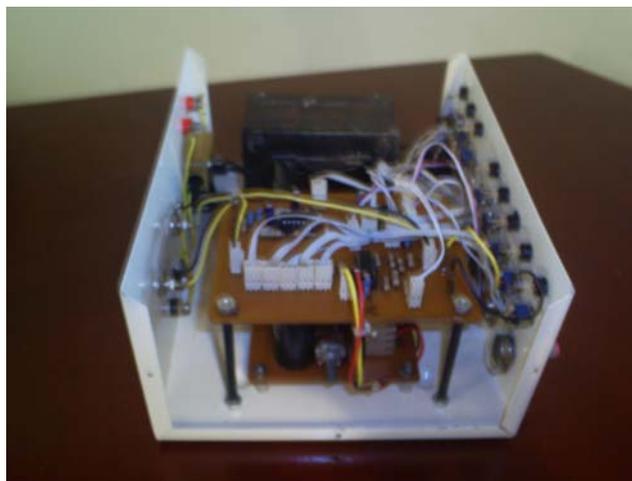


Figura 59. Composición interna

### 6.2.2.2 VISTA FRONTAL



Figura 60. Vista frontal

### 6.2.2.3 VISTA POSTERIOR

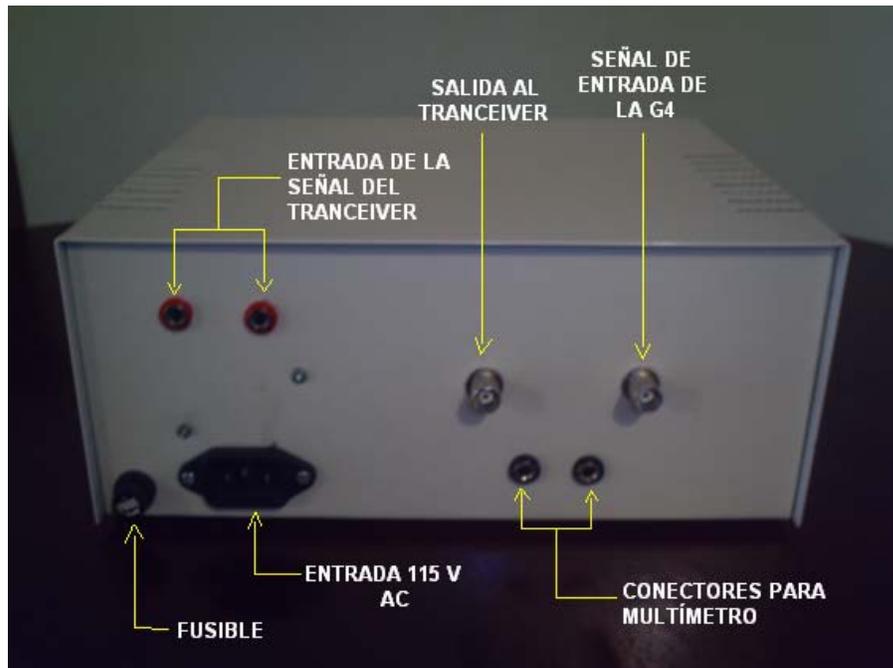


Figura 61. Vista posterior

### 6.3 PRUEBA DE LA BARRA DE TRANSMISIÓN

Esta prueba consta de hacer circular una corriente a través de una resistencia que se encuentra en el interfaz de simulación, con su respectivo conector de entrada de la señal del tranciver (figura 61), conectada a la entrada de las antenas (transmisión / recepción) del tranciver (ver figura 28), esta corriente la medimos sólo en el ciclo del telecomando, es decir, sólo en el momento que el tranciver le está enviando una orden a la herramienta, esta medida la tomamos con el multímetro, en donde nuestra lectura será de aproximadamente 1.2 Amp, ésto debido a que la señal de salida del tranciver es de aproximadamente 12 V AC y la resistencia de prueba es de  $10\Omega$ .

Con lo anterior, nos damos cuenta de la funcionalidad de la transmitter bar, debido a que cuando se realiza la prueba de superficie, la señal de la herramienta es conectada directamente al conector de prueba para la herramienta MWD (Cable de superficie) (ver figura 27), y no directamente a la entrada de las antenas, esto porque son circuitos diferentes.

### 6.4 SEÑAL MEDIDA A LA SALIDA DEL INTERFAZ DE SIMULACIÓN

#### 6.4.1 SEÑAL CUADRADA MAS SAÑAL SENO DE MAYOR FRECUENCIA

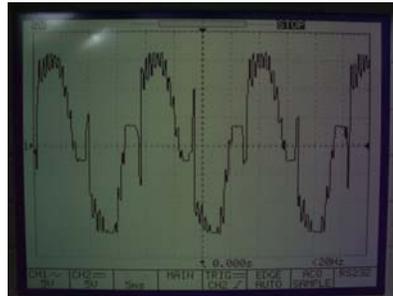


Figura 62. Señal cuadrada mas señal seno

#### 6.4.2 ONDA CUADRADA MAS ONDA CUADRADA DE MAYOR FRECUENCIA

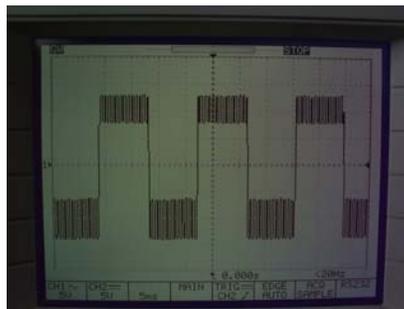


Figura 63. Onda cuadrada mas otra cuadrada

Esta última con una gran similitud a experiencias obtenidas durante la operación en algunos campos de perforación, lo cual es de importancia la simulación de ésta, a la hora tomar alguna determinación durante un trabajo.

## CONCLUSIONES

Para la terminación de la pasantía supervisada se han determinado las siguientes conclusiones:

- Se ha logrado identificar algunos equipos y herramientas que no pasaron la prueba mediante el test en superficie, evitando con esto pérdida de tiempo y dinero.
- El apoyo por parte de la compañía, en entrega y suministro de información ha permitido cumplir una buena labor.
- Resulta de vital importancia toda la ayuda que se pueda tener en el momento de hacer una revisión a cualquier herramienta, debido al aumento de información recibida, para que a la hora de tomar alguna decisión, ayude a que sea la más correcta.
- La información recopilada durante los trabajos en campo, fueron de mucha importancia a la hora de diseñar el interfaz de simulación, para que de ésta manera, se tomen los parámetros, lo mas cercano a la realidad, y poder tener en cuenta lo que sucede con frecuencia.
- Hay que resaltar, que por medio de éste proyecto y de la responsabilidad del pasante, permitió que la universidad surcolombiana se dé a conocer más en el campo laboral, poniendo en alto el prestigio del cuerpo docente, creando la posibilidad de ingreso a nuevos pasantes.

Es de anotar, la importancia que tiene éste proyecto dentro de la compañía porque permite identificar posibles fallas de las herramientas y equipos que antes no eran tenidos en cuenta.

Es por esto que se abre una puerta en el campo de la investigación dentro de la compañía, para que posiblemente en un futuro cercano se mejore éste sistema o se creen otros orientados al desarrollo de la tecnología aplicada en el campo de la perforación.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Toda la información acerca del funcionamiento de las herramientas es suministrada por parte de la compañía.
- Toda la información acerca de los parámetros de medición y calibración de las herramientas son suministrados por parte de los laboratorios de la compañía.
- Como herramienta de consulta se utiliza el motor de búsqueda [www.google.com](http://www.google.com) para el diseño del sistema de simulación.

## **ANEXOS**