

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SIMULADOR DE SENSORES DE UN
POZO DIRECCIONAL**

JOHAN MARCELO AYALA BELTRÁN

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2005

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SIMULADOR DE SENSORES DE UN
POZO DIRECCIONAL**

JOHAN MARCELO AYALA BELTRÁN

**Trabajo para optar el título de
INGENIERO ELECTRÓNICO**

Director

ING. ALFREDO RAFAEL ACEVEDO P. UIS

Codirector

ING. CARLOS LEON. SPERRY DRILLING SERVICES

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE FÍSICO - MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y

TELECOMUNICACIONES

BUCARAMANGA

2005

CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN	13
1. MARCO TEÓRICO	15
1.1. QUE ES UN SURVEY DIRECCIONAL?	15
1.2. QUÉ ES UNA ESTACIÓN SURVEY?	16
1.3. PORQUE ES IMPORTANTE UN SURVEY DIRECCIONAL?	16
1.4. CUANDO Y COMO TOMAR SURVEYS?	17
1.4.1. Survey mientras se perfora	17
1.4.2. Survey después de Perforar.	18
1.4.3. Sensores Magnéticos	18
1.4.4. Sensores Giroscópicos	18
1.5. CÁLCULO DE SURVEYS	19
1.5.1. Método de ángulo promedio	19
1.5.2. Método Tangencial	20
1.5.3. Método Radio de Curvatura	21
1.5.4. Método de Curvatura Mínima	23
1.6. BRÚJULA ELECTRÓNICA	24
1.7. Transmisión de Surveys.	26
1.7.1. Sistema de pulsos MWD	27
1.7.2. Componentes de pozo	27
1.7.3. Componentes de superficie.	28
2. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS EXISTENTES.	29
2.1. SENSORES	29
2.1.1. Sensores en el pozo	30
2.1.2. Modo de funcionamiento	30
2.2. EQUIPO DE SUPERFICIE	34
2.2.1. Sensor de Presión	34
2.2.2. Sensor de Profundidad	36
2.2.3. Sensor de Cuñas (Marcas de Profundidad)	37
2.3. SISTEMA BARRIER BOX	37
2.3.1. Señales Analógicas	37
2.3.2. Señales Digitales	40
2.4. SISTEMA INSITE	42
3. DISEÑO DEL HARDWARE	50
3.1. SEÑAL ANALÓGICA	50
3.1.1. Conversor Digital/Analógico	51
3.1.2. Amplificador de la señal	54
3.1.3. Análisis de ruido	59
3.1.4. Precisión de los componentes	61
3.2. SEÑAL DIGITAL	62
3.3 ALIMENTACIÓN DEL CIRCUITO	63

4. SOFTWARE DEL SISTEMA	66
4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA	66
4.1.1. Prueba Básica	67
4.1.2. Simulador	68
4.1.3. Positive Pulse	73
4.1.4. DDU	75
4.2. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	76
5. PRUEBAS DEL SISTEMA	79
5.1. PRUEBA BÁSICA DEL SISTEMA.	79
5.1.1. Prueba de Cuñas (Slips)	79
5.1.2. Prueba de señal de profundidad	81
5.1.3. Prueba de presión	82
5.1.4. Prueba del DDU.	84
5.2. PRUEBA DEL SIMULADOR	86
CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES	95
RECOMENDACIONES	97
BIBLIOGRAFÍA	98
ANEXOS	100

LISTA DE FIGURAS

	<i>pág.</i>
<i>Figura 1. Inclinación y dirección del hueco.</i>	15
<i>Figura 2. Reporte de Survey Direccional.</i>	16
<i>Figura 3. Mwd Tool.</i>	17
<i>Figura 4. ESS Tool.</i>	18
<i>Figura 5. Método de Ángulo Promedio.</i>	20
<i>Figura 6. Método Tangencial.</i>	21
<i>Figura 7. Radio de Curvatura.</i>	22
<i>Figura 8. Cálculo Radio de Curvatura.</i>	23
<i>Figura 9. Cálculo Curvatura Mínima.</i>	24
<i>Figura 10. Campo Magnético Terrestre.</i>	25
<i>Figura 11. Arreglo de magnetómetros y acelerómetros en la herramienta .</i>	26
<i>Figura 12. Herramienta MWD .</i>	27
<i>Figura 13. Componentes a analizar.</i>	29
<i>Figura 14. Configuración de la herramienta</i>	31
<i>Figura 15. Inserto DDS.</i>	31
<i>Figura 16. Modo de operación del sistema en el pozo.</i>	33
<i>Figura 17. Montaje en superficie de los sensores de presión.</i>	35
<i>Figura 18. Esquema interno sensor de profundidad.</i>	36
<i>Figura 19. Esquema del proceso de la señal de presión.</i>	38
<i>Figura 20. Configuración utilizada para convertir la señal de corriente.</i>	38
<i>Figura 21. Filtro del sistema.</i>	39
<i>Figura 22. Esquema del proceso de la señal de profundidad y cuñas.</i>	41
<i>Figura 23. Programación de la velocidad de transmisión en el sistema Insite.</i>	43
<i>Figura 24. Configuración de alarmas.</i>	44
<i>Figura 25. Lista creada para un trabajo direccional.</i>	45
<i>Figura 26. Sistema Insite en funcionamiento.</i>	47

<i>Figura 27. Ventana de interpretación de datos.</i>	48
<i>Figura 28. DDU.</i>	49
<i>Figura 29. Esquema de conversión de la señal digital a analógica.</i>	50
<i>Figura 30. Arquitectura del conversor.</i>	53
<i>Figura 31 Configuración de la etapa de amplificación.</i>	58
<i>Figura 32. Esquema del sistema de presión.</i>	59
<i>Figura 33. Transmisión de la señal digital.</i>	62
<i>Figura 34. Esquema general del sistema que transmite la señal de presión.</i>	64
<i>Figura 35. Esquema general del sistema que transmite la señal de cuñas y profundidad.</i>	64
<i>Figura 36. Ventana Principal.</i>	67
<i>Figura 37. Ventana prueba básica.</i>	67
<i>Figura 38. Ventana Simulador.</i>	69
<i>Figura 39. Estados del Indicador de Cuñas.</i>	70
<i>Figura 40. Ventana de profundidad del Insite.</i>	71
<i>Figura 41. Session Log Sistema Insite.</i>	73
<i>Figura 42. Visor de Pulsos Positivos.</i>	74
<i>Figura 43. DDU.</i>	75
<i>Figura 44. Prueba de señales de Cuñas.</i>	80
<i>Figura 45. Prueba de señal de profundidad.</i>	81
<i>Figura 46. Dirección de la señal de profundidad.</i>	82
<i>Figura 47. Gráfica Voltaje vs PSI.</i>	83
<i>Figura 48. Prueba de Presión.</i>	84
<i>Figura 49. Prueba de Compass test.</i>	85
<i>Figura 50. Prueba de Alpha test.</i>	86
<i>Figura 51. Configuración del simulador.</i>	87
<i>Figura 52. Positive Pulse del Insite y de la aplicación.</i>	88
<i>Figura 53. Listas de los sistemas.</i>	89
<i>Figura 54. Verificación de datos transmitidos.</i>	90
<i>Figura 55. Datos del loopback.</i>	91

<i>Figura 56. DDU.</i>	91
<i>Figura 57. Activación de cuñas.</i>	93
<i>Figura 58. Verificación final.</i>	94

LISTA DE TABLAS

pág.

<i>Tabla 1. Ciclo de trabajo del sensor de profundidad. -----</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 2. Ítems de la lista del Insite. -----</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 3. Controles del panel de Cuñas. -----</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 4. Presión vs Voltaje.-----</i>	<i>82</i>

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. HOJAS DE DATOS.....	100
ANEXO B. MANUAL DEL SIMULADOR.....	112
ANEXO C. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA DEL SISTEMA INSITE.....	122

RESUMEN

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SIMULADOR DE SENSORES DE UN POZO DIRECCIONAL

AUTOR: JOHAN MARCELO AYALA BELTRÁN**

Palabras Clave: pozo exploratorio, cuñas, profundidad, presión.

Descripción

En este documento se describe un sistema para simular los sensores de profundidad, presión y cuñas que se utilizan en pozos exploratorios. En la perforación de pozos direccionales es de gran importancia contar con la ayuda de distintos sensores que permitan tomar decisiones en tiempo real. Los equipos que se utilizan para realizar las medidas requeridas, deben estar en las mejores condiciones posibles ya que una falla en ellos puede causar pérdidas de tiempo, dinero y en algunos casos puede impedir llegar al objetivo inicial trazado.

Antes de desarrollar el proyecto las pruebas se realizaban a manualmente y se necesita el uso de todos los sistemas, sensores y realizar el mismo montaje que se hace en un pozo, tornándose en un proceso lento, costoso y poco seguro para la empresa. El objetivo principal del proyecto es diseñar un sistema que permita probar el sistema Insite y simular un pozo, así como implementar un procedimiento para realizar las pruebas.

Para el desarrollo de este proyecto primero se hizo un análisis de los sistemas y elementos implicados en el proceso de prueba y exploración de pozos. Con esta información se diseña el hardware que se utiliza en el sistema y luego se desarrolla el software que va manipular el hardware. Con el desarrollo del sistema se automatiza el proceso de prueba, se hace más seguro para las personas que efectúan las pruebas, se proporcionan herramientas adicionales para realizar pruebas, se ahorran costos en transporte de elementos y sistemas al laboratorio, es más fácil desarrollar la prueba y la puede realizar personal con conocimientos básicos del sistema Insite.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Ingeniería Electrónica. Alfredo Acevedo Picon

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A SIMULATOR OF SENSORS AS WELL DIRECTIONAL*

AUTHOR: JOHAN MARCELO AYALA BELTRÁN**

Keywords: exploratory well, slips, depth, pressure.

Description:

This document describes a system to simulate the sensors of depth, pressure and slips that are used in wells exploring. In the perforation of directional wells it is great importance to have the help of different sensors that it allows to make decisions in real time. The equipments that are used to carry out the required measures, it should be since under the best possible conditions a failed it, can cause lost-time, money and in some cases it can prevent to arrives to the initial objective.

Before developing the project the tests was made manually and use of all the systems, sensors needing to carry out at the same assembly, that is done in a well, being a slow, expensive and not very sure process for the company. The main objective of the project is design a system that allows to proves the Insites system and to simulate a rig, improving procedures to do the tests.

For the development of this project an analysis of the systems and elements needed in the test process and exploration of wells was made. With this information the hardware that's used in the system is designed and then the software is developed to manipulate the hardware. With this project the system test process is automated, it becomes sure for people who make the tests, additional tools are provided to carry out tests, saving costs in transport of elements and system laboratory involves, been so easy the probe and knowledge for all the person involved for this basic system.

* Work of grade

** Faculty of Engineering Physical-mechanics. Engineering Electronic. Alfredo Acevedo Picon

INTRODUCCIÓN

En empresas de servicios petroleros como lo es **Sperry Drilling Services**, se usan equipos que utilizan alta tecnología para realizar los procesos para los cuales están diseñados, los cuales requieren un plan de mantenimiento, debido a que una falla en ellos representa grandes pérdidas de dinero, tanto para los clientes como para la misma empresa.

Actualmente las pruebas que se realizan a estos equipos se hacen manualmente, tornándose en un proceso lento, impreciso y se pueden cometer errores por fallas humanas, además que se requiere la disponibilidad de sensores y sistemas en el laboratorio que pueden ser utilizados en otros trabajos.

En situaciones como esta es donde la Ingeniería Electrónica encuentra campo de aplicación, creando aplicaciones que mejoran los procesos, haciéndolos más rápidos, precisos, permitiendo establecer un punto de comparación fiable y que no se requiera el uso de equipo físico para realizar las pruebas.

En el presente trabajo se hará una descripción del modo de funcionamiento de algunas herramientas utilizadas por **Sperry**, un análisis de las características del sistema a simular, así como la explicación del software y hardware que se implemento.

En el capítulo 1 se expondrán los fundamentos de la perforación con elementos direccionales, para una mejor comprensión y entendimiento del tema a desarrollar en este proyecto.

En el capítulo 2 se hará un análisis del funcionamiento de los sistemas a emular en este proyecto, análisis fundamental para obtener un correcto acople entre el sistema Insite y el dispositivo desarrollado.

En el capítulo 3 se encuentra una descripción del diseño del hardware así como las características de los componentes utilizados en el diseño del dispositivo.

En el capítulo 4 se abarcará lo relacionado con el software desarrollado, en el se explicarán las diferentes aplicaciones, funciones, características de la herramienta que se creó para dar cumplimiento con los objetivos de la práctica.

En el capítulo 5 se mostrarán las pruebas hechas al sistema para comprobar su buen funcionamiento y el cumplimiento de los objetivos planteados al inicio de esta práctica.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. QUE ES UN SURVEY DIRECCIONAL?

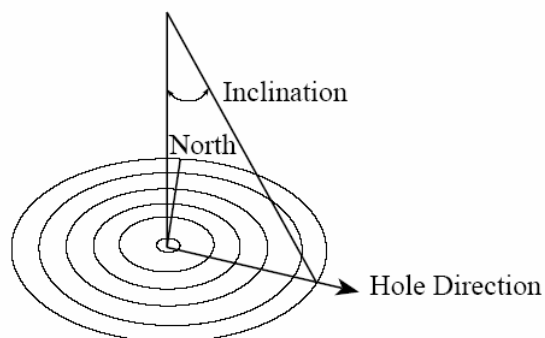
Survey¹ direccional puede ser definido como el método usado para obtener las medidas necesarias para calcular y dibujar en tres dimensiones la ruta de un pozo. Estos parámetros son medidos en diferentes lugares a lo largo de la ruta del pozo. Los principales parámetros medidos son la profundidad, inclinación y dirección del pozo.

Medida de profundidad: esta hace referencia a la profundidad actual del hueco perforado, medido desde la superficie, a cualquier punto del pozo o de su profundidad total

Inclinación: es el ángulo, medido en grados, por el cual el hueco o eje de la herramienta varía desde una línea vertical verdadera. Una inclinación de 0° sería una vertical verdadera, y una inclinación de 90° sería horizontal.

Dirección del hueco: es el ángulo, medido en grados, del componente horizontal del hueco o eje del instrumento desde una referencia conocida. Esta referencia es un norte verdadero, norte magnético y es medido en dirección de las agujas del reloj por convención. Esta dirección es expresada en cualquier forma azimutal (0° a 360°) o en forma de cuadrante (NE, SE, NW, SW).

Figura 1. Inclinación y dirección del hueco.



“SPERRY TRAINING DEPARTMENT”

¹ Palabra utilizada para referirse a una medida realizada por los sensores en cierto punto del pozo.

1.2. QUÉ ES UNA ESTACIÓN SURVEY?

Cada medida de profundidad, inclinación, y dirección del hueco es una estación **survey**. Muchas estaciones **survey** son obtenidas a lo largo de la ruta del hueco. Las medidas son usadas para calcular las coordenadas tridimensionales las cuales pueden ser presentadas como una tabla de números llamada reporte de **survey**.

Figura 2. Reporte de Survey Direccional.



DIRECTIONAL SURVEY REPORT

Mobil North Sea Ltd

222/140-A2

Field 1

United Kingdom

NWD Surveys In Ø 12" Hole

Advanced Depth (feet)	Inclination (degrees)	Direction (degrees)	Vertical Depth (feet)	Latitude (feet)	Departure (feet)	Vertical Section (feet)	Dogleg (deg/100')
7400.00	80.00	40.00	0287.00	9080.00 N	8900.00 E	12054.31	TIE-IN
7434.38	80.23	39.23	6202.00	0108.00 N	9021.60 E	12887.82	2.31
7526.25	81.84	41.22	1507.34	0115.35 N	9080.18 E	12777.02	2.85
7674.07	87.34	43.88	6320.84	0247.04 N	9046.16 E	12873.08	7.87
7748.02	02.42	47.10	6303.58	9013.08 N	9110.51 E	12867.89	3.33

“SPERRY TRAINING DEPARTMENT”

Estas coordenadas pueden ser usadas para mostrar gráficamente la ruta del pozo.

1.3. PORQUE ES IMPORTANTE UN SURVEY DIRECCIONAL?

Los **surveys** direccionales son requeridos para determinar exactamente el fondo del pozo, para poder monitorear el desempeño de la perforación, monitorear la ruta actual mientras se perfora, para asegurar que el objetivo será alcanzado, orientar la desviación de las herramientas en la dirección requerida cuando se necesitan hacer correcciones a la ruta del pozo, calcular la verdadera profundidad de las diferentes formaciones encontradas para permitir un mapeo geológico preciso, alertar al perforador direccional de potenciales problemas durante el curso del pozo, alcanzar los requerimientos de las agencias regulatorias, en el caso donde un pozo productor se salga de control o se incendie los **survey** direccionales pueden ayudar a controlar

el pozo, además con la introducción de la perforación direccional, los **surveys** asumieron un rol más importante. Midiendo la inclinación y dirección del hueco a varias profundidades, asisten en la conducción del curso del pozo dirigiéndolo hacia el objetivo planeado.

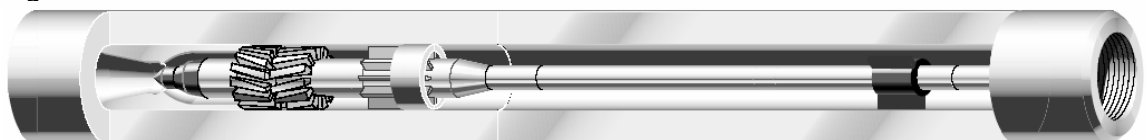
1.4. CUANDO Y COMO TOMAR SURVEYS?

Los **surveys** pueden ser efectuados durante el proceso de perforación o después que la perforación ha sido completada.

1.4.1. Survey mientras se perfora

Surveys individuales pueden ser efectuados durante el proceso de perforación para almacenar la inclinación y dirección del hueco. Con la perforación direccional, estos **surveys** pueden orientar la desviación de las herramientas. Esto es hecho temporalmente deteniendo la perforación, bajando los instrumentos al fondo del pozo y tomando el **survey**. Este **survey** puede ser obtenido con conexiones MWD (**Measurement While Drilling**) instaladas en el fondo del ensamble del hueco (BHA²). Dependiendo del tipo de instrumentos usados, la información de inclinación y dirección del hueco puede ser almacenado en una película, memoria de computador o transmitidos a la superficie. La información es recuperada en la superficie. Esta información le permite al perforador conocer la actual posición del pozo y los cambios de inclinación y dirección si son requeridos.

Figura 3. Mwd Tool.



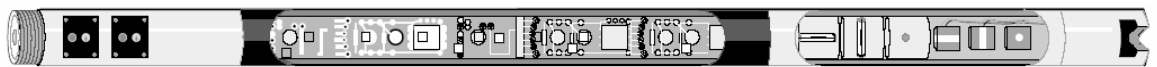
"SPERRY TRAINING DEPARTMENT"

² Sigla utilizada para referirse al fondo de la tubería en el pozo

1.4.2. Survey después de Perforar.

Múltiples **surveys** son efectuados una vez la perforación ha sido completada. Después de un largo periodo de perforación, un instrumento de **survey** es corrido dentro del pozo y los **surveys** son obtenidos sobre toda la extensión del pozo. Información utilizada para dibujar la ruta y posición actual del pozo. Los datos de inclinación y dirección son almacenados para producir una gráfica final de **surveys**.

Figura 4. ESS Tool.



“SPERRY TRAINING DEPARTMENT”

1.4.3. Sensores Magnéticos

Los sensores magnéticos deben trabajar en ambientes no magnéticos. Ellos no deben tener interferencia magnética de pozos adyacentes.

Estos sensores pueden ser clasificados en dos categorías. Se denominan como brújulas y son mecánicas o electrónicas

1.4.4. Sensores Giroscópicos

Los sensores giroscópicos pueden ser utilizados cuando hay interferencia magnética. Estos sensores son utilizados cuando hay pozos cerca y se clasifican en 3 categorías, giroscopios libres, giroscopios de velocidad y sistemas de navegación inercial.

1.5. CÁLCULO DE SURVEYS

Uno de los usos de los instrumentos direccionales es almacenar la información necesaria para calcular un **survey** direccional. Esta información incluye la inclinación y azimutal del hueco obtenido a una profundidad conocida. Se debe tener un entendimiento básico de los conceptos para poder calcular un **survey** muy preciso.

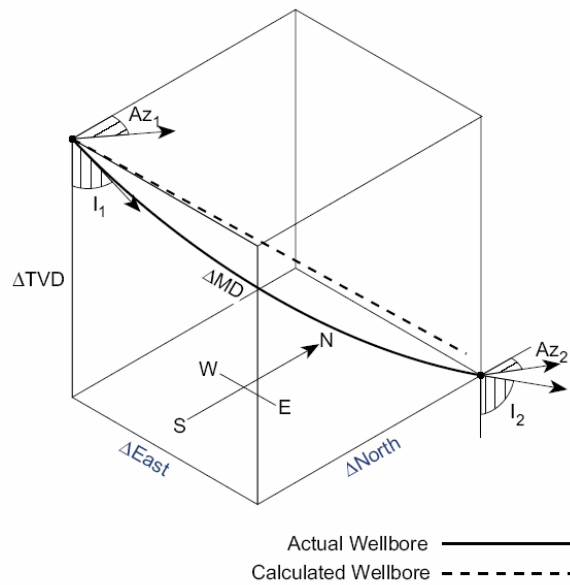
Hay muchos métodos para calcular esto. Los más comúnmente usados son el ángulo promedio, el método tangencial, radio de curvatura y curvatura mínima.

La diferencia entre los métodos es como ellos procesan los datos obtenidos. En los siguientes párrafos se hace una descripción de cada método.

1.5.1. Método de ángulo promedio

Este método usa el promedio de las inclinaciones y azimutales medidos en el límite inferior y superior de la estación **survey**. El promedio de los dos conjuntos de ángulos es asumido a diferentes profundidades. La ruta del pozo es calculada usando funciones trigonométricas. Este método requiere de cálculos que pueden ser efectuados en una calculadora de mano.

Figura 5. Método de Ángulo Promedio.



Average Angle Calculations

$$\Delta\text{North} = \Delta\text{MD} \times \sin\left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right) \times \cos\left(\frac{Az_1 + Az_2}{2}\right)$$

$$\Delta\text{East} = \Delta\text{MD} \times \sin\left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right) \times \sin\left(\frac{Az_1 + Az_2}{2}\right)$$

$$\Delta\text{TVD} = \Delta\text{MD} \times \cos\left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right)$$

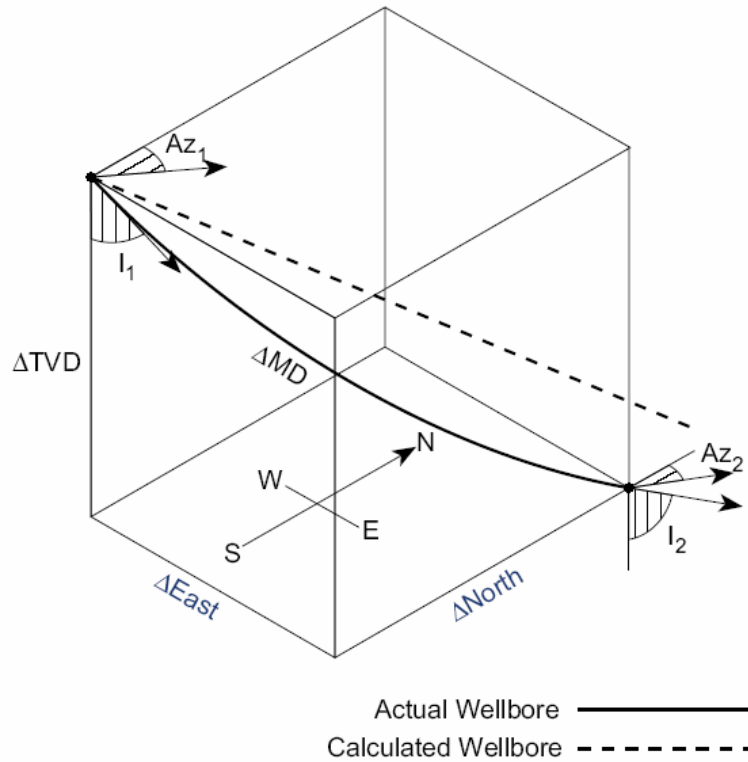
“SPERRY TRAINING DEPARTMENT”

1.5.2. Método Tangencial

Este método usa la inclinación y el azimut final del pozo para calcular una línea recta que representa el pozo, el hueco se asume que es una línea a través del curso.

Este método es el más impreciso y no debe ser utilizado en la determinación de **surveys** a menos que la longitud del pozo no sea más larga que la longitud de la herramienta.

Figura 6. Método Tangencial.



Tangential Calculations

$$\Delta\text{North} = \Delta\text{MD} \times \sin I_2 \times \cos Az_2$$

$$\Delta\text{East} = \Delta\text{MD} \times \sin I_2 \times \sin Az_2$$

$$\Delta\text{TVD} = \Delta\text{MD} \times \cos I_2$$

“SPERRY TRAINING DEPARTMENT”

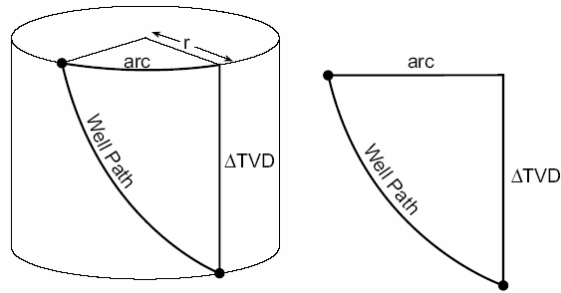
1.5.3. Método Radio de Curvatura

Este método usa la medida de inclinación y azimutal superior e inferior de la longitud del curso para generar un arco circular que puede ser visto en el plano horizontal y vertical.

Este método asume que la ruta del pozo es unida por cilindros con ejes verticales, y tiene un radio igual al radio de curvatura en el plano horizontal. Esto determina la

longitud del arco entre el principio y el final del curso en el plano horizontal. Los cilindros pueden ser “abiertos”³ para calcular la longitud del arco circular a lo largo de la superficie del cilindro. Consecuentemente el incremento TVD no es afectado por cambios en la medida azimutal.

Figura 7. Radio de Curvatura.

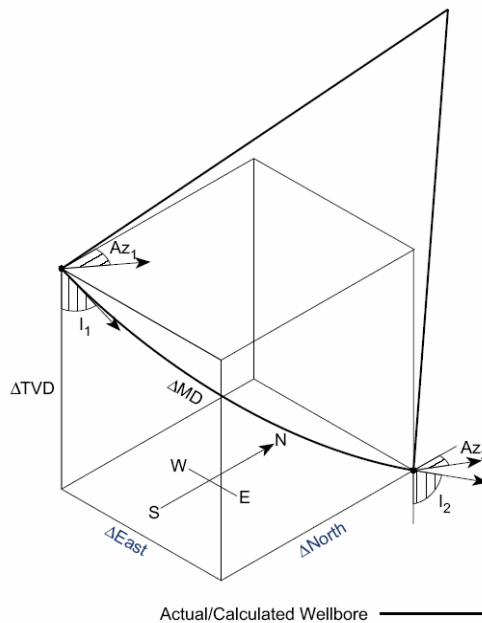


“SPERRY TRAINING DEPARTMENT”

Esta curva tiene la forma de un arco circular en un plano vertical envuelto alrededor del cilindro, es tangencial a la inclinación y al azimutal pasando a través del principio y fin de la ruta. Es uno de los más precisos y puede ser calculado fácilmente con una calculadora de mano.

³ Término utilizado para indicar el desdoblamiento de un sólido.

Figura 8. Cálculo Radio de Curvatura.



Radius of Curvature Calculations

$$\Delta\text{North} = \frac{\Delta\text{MD} \times ((\cos I_1 - \cos I_2) \times (\sin Az_2 - \sin Az_1))}{(I_2 - I_1) \times (Az_2 - Az_1)}$$

$$\Delta\text{East} = \frac{\Delta\text{MD} \times ((\cos I_1 - \cos I_2) \times (\cos Az_1 - \cos Az_2))}{(I_2 - I_1) \times (Az_2 - Az_1)}$$

$$\Delta\text{TVD} = \frac{\Delta\text{MD} \times ((\sin I_2 - \sin I_1))}{(I_2 - I_1)}$$

“SPERRY TRAINING DEPARTMENT”

1.5.4. Método de Curvatura Mínima

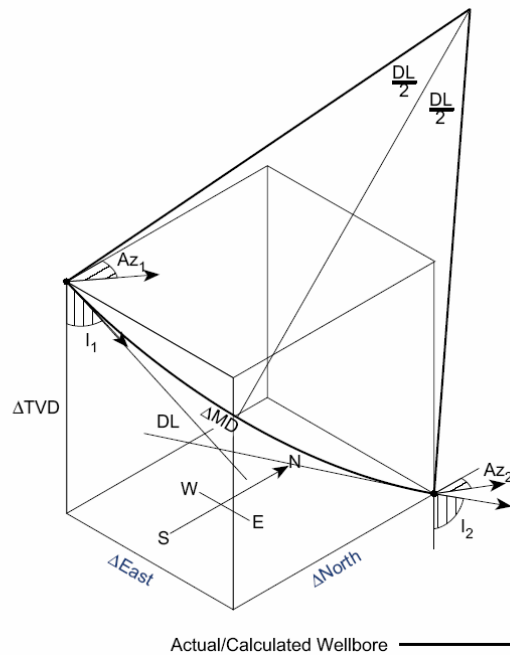
Este método genera un arco suavizado que representa la ruta del hueco. Es realmente una modificación del método tangencial, en cambio de aproximarse al hueco con dos líneas rectas, estas son reemplazadas por un arco circular.

La diferencia entre el radio de curvatura y el método de curvatura mínimo es que el radio de curvatura usa el cambio de inclinación fuera del curso para calcular el

desplazamiento en el plano vertical y el azimutal cambia para calcular el desplazamiento en el plano horizontal.

Este método es una de los más precisos para determinar la posición del pozo pero no es fácil de calcular manualmente.

Figura 9. Cálculo Curvatura Mínima.



Minimum Curvature Calculations

$$\Delta\text{North} = \frac{\Delta\text{MD}}{2} ((\sin I_1 \times \cos Az_1) + (\sin I_2 \times \cos Az_2)) \times \text{RF}$$

$$\Delta\text{East} = \frac{\Delta\text{MD}}{2} ((\sin I_1 \times \sin Az_1) + (\sin I_2 \times \sin Az_2)) \times \text{RF}$$

$$\Delta\text{TVD} = \frac{\Delta\text{MD}}{2} (\cos I_1 + \cos I_2) \times \text{RF}$$

$$\text{Where RF} = \frac{2}{\text{DL}} \times \tan \frac{\text{DL}}{2}$$

$$\text{and } \cos \text{DL} = \cos(I_2 - I_1) - \sin I_1 \times \sin I_2 \times (1 - \cos(Az_2 - Az_1))$$

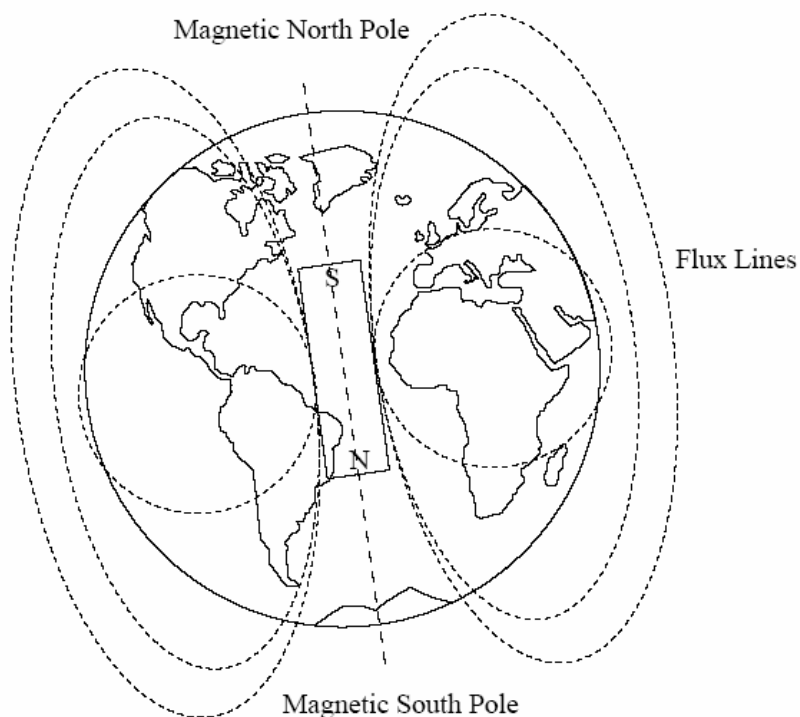
“SPERRY TRAINING DEPARTMENT”

1.6. BRÚJULA ELECTRÓNICA

La brújula electrónica es de estado sólido, son instrumentos de **survey** direccionales que miden el campo magnético de la tierra y las fuerzas gravitacionales.

La tierra se puede imaginar que tiene una gran barra magnética en su centro, uniendo los ejes norte y sur. Las líneas normales del campo magnético emanan de la barra magnética con un patrón que, en los polos, las líneas de fuerza (líneas de flujo) están a 90° de la superficie terrestre, mientras en el ecuador estas líneas están a 0° de la superficie terrestre⁴. En cualquier punto de la tierra un campo magnético puede ser observado. El campo magnético esta compuesto de fuerza y dirección (vector). La fuerza es llamada magnitud y su medida es en teslas. Usualmente medidas de aproximadamente 60 micro teslas en el polo norte y 30 micro teslas en el ecuador. La dirección es llamada norte magnético. El ángulo que el vector forma con la superficie terrestre es llamado dip.

Figura 10. Campo Magnético Terrestre.



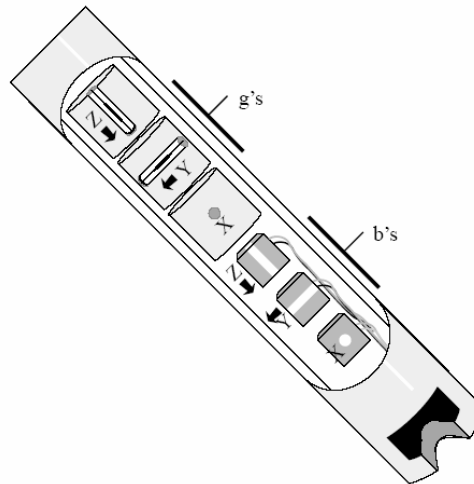
“SPERRY TRAINING DEPARTMENT”

⁴ SPERRY TRAINING DEPARTMENT. Capítulo 7. 1999

La inclinación es medida por acelerómetros que miden el campo gravitacional de la tierra en los planos X, Y, Z. El plano Z es eje central de la herramienta, el plano X e Y son perpendiculares entre ellos y a Z. Estas medidas pueden ser sumadas para determinar la inclinación.

La dirección del hueco es medida por acelerómetros gravimétricos y por magnetómetros. Estos magnetómetros miden los componentes magnéticos en los mismos tres ejes que los acelerómetros. Medidas utilizadas para determinar el **survey**.

Figura 11. Arreglo de magnetómetros y acelerómetros en la herramienta .



“SPERRY TRAINING DEPARTMENT”

Entre las ventajas de estas brújulas se tiene, mejor precisión de los instrumentos, es un instrumento que mide cualquier **survey**, gran velocidad, análisis de datos eficientes y no interfiere con las operaciones normales de operación.

Y sus desventajas son mayores costos, se requiere de computadores para su interpretación y de collares no magnéticos para ser usados.

1.7. Transmisión de Surveys.

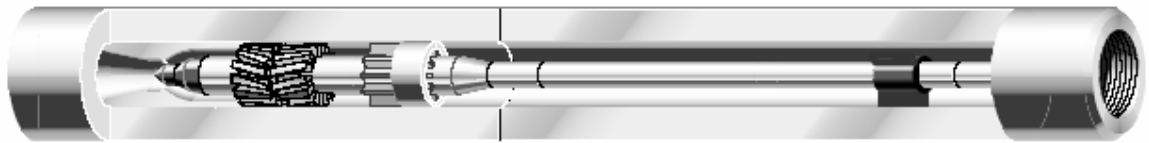
Las herramientas pueden ser configuradas para almacenar la información del **survey** o para transmitir esta información a la superficie. Como este proyecto abarca la parte

de transmisión de **surveys** a superficie y no el almacenamiento solo se explicará este ítem.

1.7.1. Sistema de pulsos MWD

El sistema MWD es la adquisición de información durante la operación de perforación que puede ser usado para tomar decisiones en el proceso de perforación. La información de **survey** es obtenida con una brújula electrónica. El MWD codifica la información del **survey** en pulsos de lodo que son enviados y decodificados en la superficie. En este caso la información puede ser recibida en tiempo real.

Figura 12. Herramienta MWD .



“SPERRY TRAINING DEPARTMENT”

Los componentes principales de las herramientas MWD pueden ser divididos en equipo de pozo y equipo de superficie. El equipo de pozo es el responsable de obtener la información de **survey** y enviarlo a la superficie. El equipo de superficie es el responsable de recibir y decodificar la información que usa el perforador direccional.

1.7.2. Componentes de pozo

En un pozo hay sensores para medir la información requerida, un transmisor para enviar datos a la superficie, un microprocesador o sistema de control que coordina las diferentes funciones de la herramienta y la fuente de poder

1.7.3. Componentes de superficie.

En la superficie se encuentran un **transducer** de presión para detectar las variaciones en presión y convertirlas en señales eléctricas, un computador de superficie para interpretar los resultados y un **display** para comunicar los resultados del **survey** al perforador.

El sistema MWD debe estar puesto en el BHA con un collar no magnético. La ventaja de las herramientas MWD sobre las demás herramientas es la habilidad de transmitir **survey** a la superficie sin el uso de un cable de poder. Así la rotación del taladro no está limitada. Los más comunes sistemas de telemetría usados son pulsos de lodo. Los métodos actualmente utilizados para transmitir datos a la superficie son pulsos positivos, pulsos negativos y sistema de ondas continuas

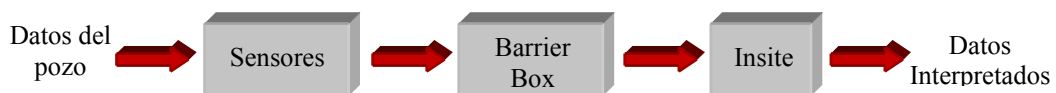
2. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS EXISTENTES.

Para poder alcanzar los objetivos planteados al inicio de esta práctica una parte fundamental del desarrollo del proyecto es entender el funcionamiento de los equipos que se utilizan en **SPERRY**.

Con esto en mente en este capítulo se hará un análisis del funcionamiento y de las características que se deben cumplir para un correcto acople con el sistema que se va a implementar y para poder emular los diferentes elementos en un computador mediante el desarrollo de una aplicación.

Los tres componentes a analizar son los sensores, el sistema **Barrier Box** y el sistema Insite, estos elementos se pueden observar en la figura 13.

Figura 13. Componentes a analizar.



“Autor”

2.1. SENSORES

Los sensores en los que se apoya SPERRY para ofrecer sus servicios se pueden dividir en dos tipos principales, los sensores que se encuentran en el pozo y los sensores que se encuentran en la superficie.

Para entender mejor el funcionamiento se hará un análisis de los dos tipos de sensores que se pueden encontrar.

2.1.2. Sensores en el pozo

Los sensores que se encuentran en el pozo son los encargados de realizar las mediciones que requiere el cliente, entre los sensores que se pueden encontrar se tienen de resistividad, presión, vibración, evaluación de formaciones (FEWD), dirección, neutrones, porosidad, temperatura entre otros.

Estos sensores de última tecnología registran la información del pozo en el proceso de perforación. Los sensores trabajan en modo “**Recorder**” o en “**Real Time**”.

En el modo “**Recorder**” los sensores cuentan con una memoria que almacena todos los datos que fueron tomados en el trabajo. Una vez las herramientas se encuentran en la superficie son conectados al equipo de superficie y la información es recuperada, almacenada e interpretada.

En el modo “**Real Time**” ha medida que los sensores registran la información esta es transmitida a la superficie, el equipo de superficie se encarga de registrar, acondicionar, almacenar e interpretar la información.

2.1.2. Modo de funcionamiento

A continuación se hará la descripción del modo de trabajo de un sensor de vibraciones (DDS), la manera como este sensor trabaja se hace extensible a los demás sensores ya que todos trabajan con el mismo principio de operación.

Como se puede observar en la figura 14 con esta configuración se bajan las herramientas al pozo. En el extremo se encuentran los sensores registrando los datos que requiere el cliente. En este caso se hace referencia a un sensor DDS.

Figura 14. Configuración de la herramienta

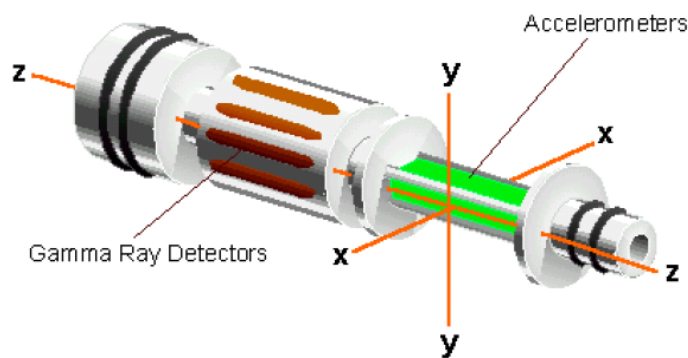


"Operations Manual DDS "

El sensor DDS mide las vibraciones del pozo en tiempo real, haciendo posible prevenir o eliminar daños por stress a las herramientas MWD, motores, brocas y otros componentes para la perforación. Para monitorear en tiempo real los parámetros de perforación como puede ser la velocidad de rotación de la broca, esta puede ser ajustada cuando se detectan altos niveles de vibración, evitando excesivos periodos de exposición a niveles dañinos de vibración⁵.

El DDS esta compuesto de acelerómetros triaxiales. El sensor mide la aceleración longitudinal, lateral y torsional. Aceleraciones promedio, pico e instantánea son medidas en cada uno de los 3 ejes. Se puede observar en la figura 15 un esquema del inserto DDS.

Figura 15. Inserto DDS.



"Operations Manual DDS "

⁵ Operations Manual DDS. SPERRY TRAINING DEPARTMENT. 1999

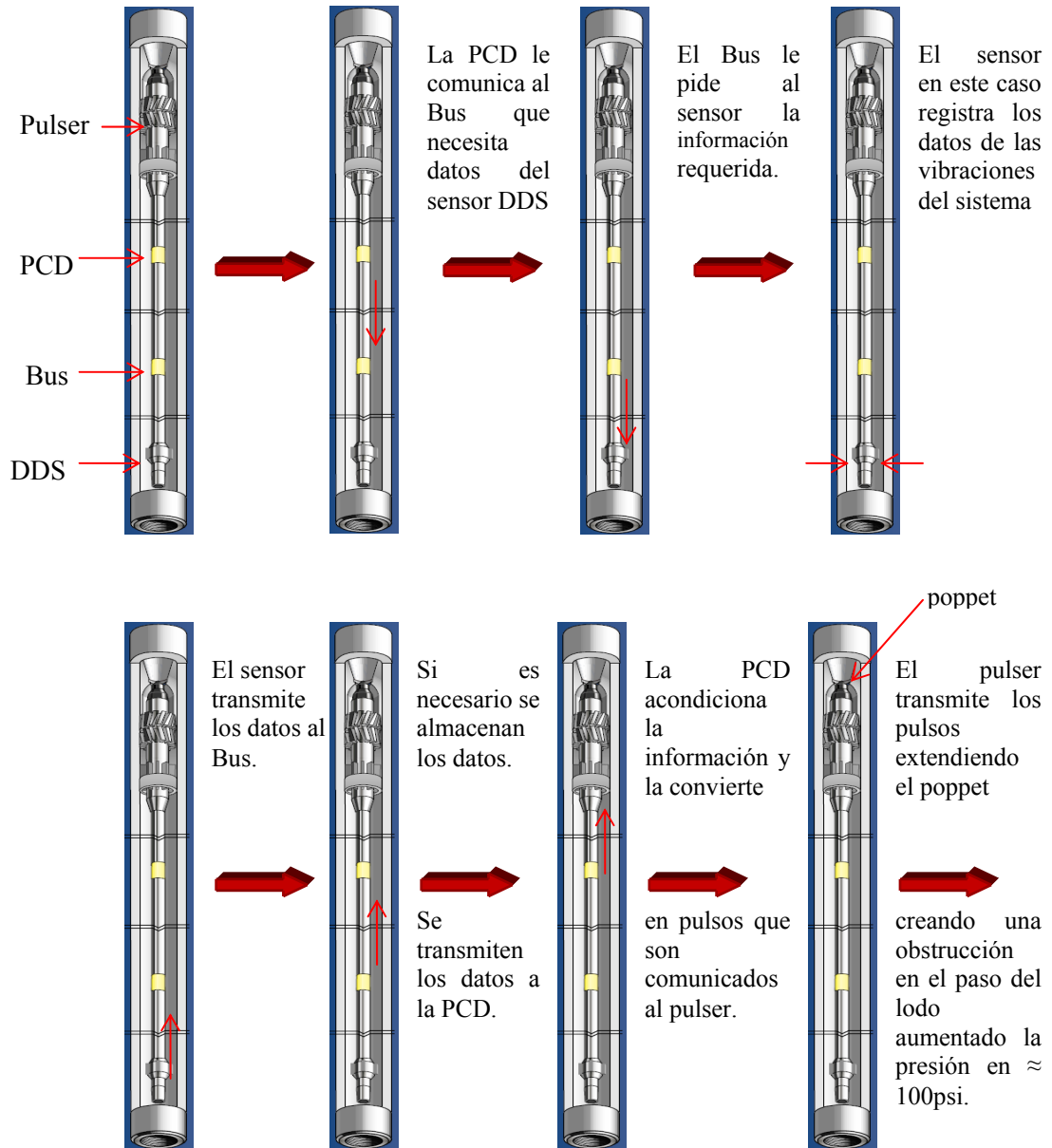
Cuando el sensor registra la información, es comunicada al bus maestro, que es el elemento encargado de suministrarla a la probeta según la programación que se ha hecho en superficie antes de bajar las herramientas. El bus también cumple con la función de almacenar la información de las herramientas que no cuentan con memoria y son corridas en modo "**Recorder**".

La probeta (PCD) es la encargada de administrar todo el sistema. La PCD es programada en superficie con una lista de los datos que se van a registrar en el pozo. De esta manera se sincroniza el equipo de superficie con el equipo que se encuentra en el pozo. En el pozo ella se encarga de organizar la información en la misma secuencia que la lista ha sido programada y convertirlos en datos que el pulsador pueda interpretar.

Con los datos organizados en la secuencia que espera el equipo de superficie, son transmitidos al pulsador. Este se encarga de transmitirlos a la superficie modificando su geometría causando una diferencia de presión en el lodo que es inyectado en el sistema, presión que es registrada por el equipo de superficie.

En la figura 16 se hará un esquema general del proceso que se lleva a cabo en el interior del pozo.

Figura 16. Modo de operación del sistema en el pozo.



"Autor"

En términos generales este es el funcionamiento del sistema en el pozo.

Ahora se hará la descripción y análisis del funcionamiento del equipo de superficie. Que es el equipo que se necesita analizar a fondo, ya que es el equipo que se va a emular con el simulador de **Labview**.

2.2. EQUIPO DE SUPERFICIE

El equipo de superficie esta compuesto principalmente por tres elementos, los sensores de Superficie, el sistema **Barrier Box** y el sistema Insite

Con estos tres elementos se recibe, se acondiciona y se interpreta respectivamente la información que ha sido transmitida por el **pulser**.

En superficie se encuentran los sensores de presión, profundidad y cuñas (Registro de profundidad o **Slips**)

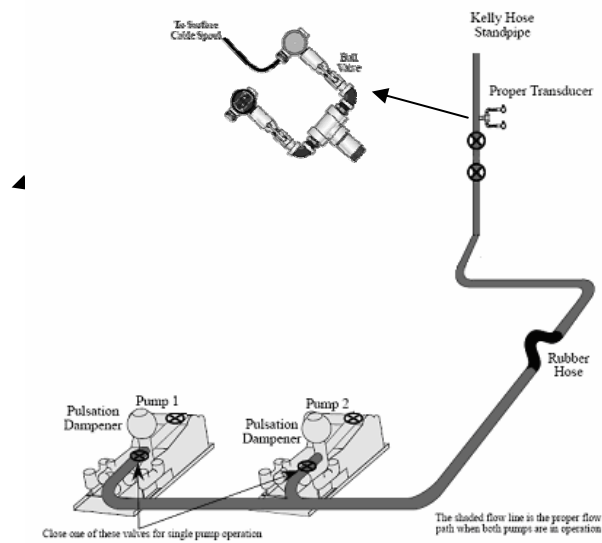
2.2.1. Sensor de Presión

En la superficie del pozo se encuentran las bombas encargadas de inyectar por la tubería el lodo a presión (el nivel de presión de estas bombas comúnmente es de unos 2000 psi). Como los datos de los sensores son transmitidos por esta tubería alterando estos niveles de presión, a ella se conectan dos transductores de presión estableciendo una configuración redundante con el objetivo de detectar posibles fallas en el registro de estos datos⁶.

Esta configuración se puede observar en la figura 17.

⁶ MSC MWD Surface Computer Operations Manual. SPERRY TRAINING DEPARTMENT. 1995.

Figura 17. Montaje en superficie de los sensores de presión.



“MSC MWD Surface Computer Operations Manual”

Como se mencionó anteriormente los datos del pozo son transmitidos como pulsos de diferencia de presión a la superficie (la variación de presión es próxima a los 100 psi). Los sensores se encargan de vigilar constantemente la presión de la tubería y transmitirla al sistema **Barrier Box**.

Para poder emular este sensor se deben tener en cuenta sus características durante el proceso de diseño del sistema.

Es un sensor que tiene características mecánicas para ser usados en ambientes peligrosos o propensos a incendios o explosiones y tiene capacidad para transmitir hasta una distancia de 10 millas.

El rango de presión utilizado es de 0-5000 psi que son los rangos máximos que se van a presentar en un pozo. Tiene una precisión mínima de 0.25% de la escala total y una resolución alta. La señal que suministra es una corriente de 4-20mA con una impedancia de 5000Mohm⁷.

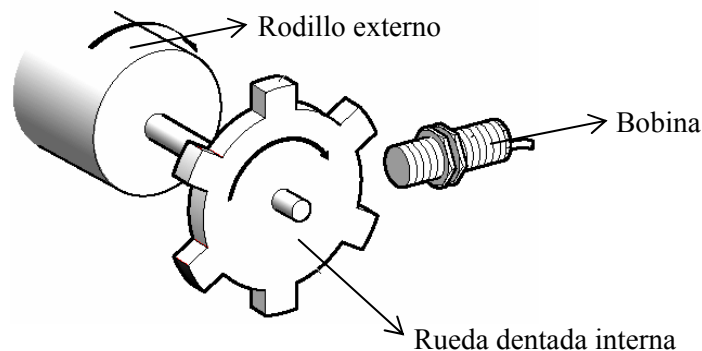
⁷ Características extractadas de las especificaciones de la hoja de datos del fabricante. www.honeywell.com

2.2.2. Sensor de Profundidad

El sensor de profundidad es un transductor de inductancia variable. Su operación se fundamenta en la variación que experimenta la autoinducción de un arrollamiento, debido al cambio producido en el acople magnético entre el arrollamiento y un elemento móvil, generalmente ferromagnético⁸.

Estos transductores se clasifican en dos grupos: sistemas acoplados y sistemas libres de contacto. En este caso el sensor es un sistema libre de contacto como se puede observar en la figura 18.

Figura 18. Esquema interno sensor de profundidad.



“Autor”

El rodillo externo va conectado al sistema que se encarga de subir o bajar la tubería. Cuando la tubería baja el sistema rota, el movimiento es transmitido al rodillo externo que está conectado a la rueda dentada. Al producirse la rotación en la rueda dentada se altera el patrón de líneas de campo magnético produciendo un cambio en el campo eléctrico de la bobina que se traduce en una tensión que varía de 0 a 8 V; señal que es transmitida al sistema **Barrier Box**.

⁸ **Dr. Juan José González de la Rosa.** Área de Electrónica. Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática, Tecnología Electrónica y Electrónica.

2.2.3. Sensor de Cuñas (Marcas de Profundidad)

Cuando se están perforando pozos con frecuencia se necesita extraer la tubería por fallas, horas cumplidas de trabajo o mantenimiento. En estos casos es necesario mantener la profundidad que se registra hasta el momento. Esta función la realiza un sensor que proporciona una señal que le indica al sistema que debe mantener el registro de profundidad sin modificaciones. Además de cumplir con este objetivo como su nombre lo indica (cuñas), es utilizado para asegurar la tubería y evitar que caiga en el pozo.

El sensor de cuñas básicamente es un interruptor, que al ser activado cierra el circuito proporcionando una tensión de 5V al sistema.

Con estos sensores el sistema registra toda la información necesaria para ser interpretada por el sistema Insite. Después de los sensores de superficie el sistema **Barrier Box** toma estos datos y los acondiciona para ser transmitidos al sistema Insite.

2.3. SISTEMA BARRIER BOX

Básicamente el sistema acondiciona 2 tipos de señales. La señal analógica que es la proporcionada por los sensores de presión y las señales digitales que son proporcionadas al sistema por los sensores de profundidad y de cuñas.

2.3.1. Señales Analógicas

En la figura 19 se puede observar el esquema que sigue la señal de presión en la **Barrier Box**.

Figura 19. Esquema del proceso de la señal de presión.

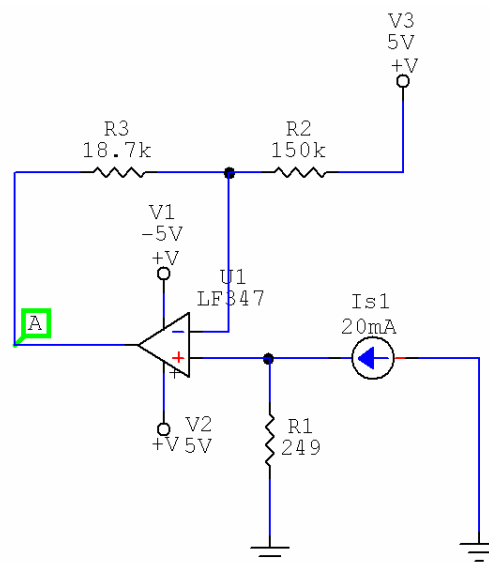


“Autor”

La señal que proporciona los sensores de presión es una corriente que oscila entre los 4-20mA, que sería la señal de entrada al sistema Insite.

En un primer proceso el sistema se encarga de hacer la conversión de la señal de corriente, en la figura 20 se puede observar la configuración que utiliza el sistema **Barrier Box** para cumplir con este primer proceso.

Figura 20. Configuración utilizada para convertir la señal de corriente.



“Autor”

Realizando el análisis teórico del circuito tenemos.

$$\frac{V_- - V_o}{R_3} + \frac{V_- - 5}{R_2} = 0 \quad \text{y} \quad V_+ = I * R_1$$

Despejando

$$V_- \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_2} \right) - \frac{5}{R_2} = \frac{V_o}{R_3}$$

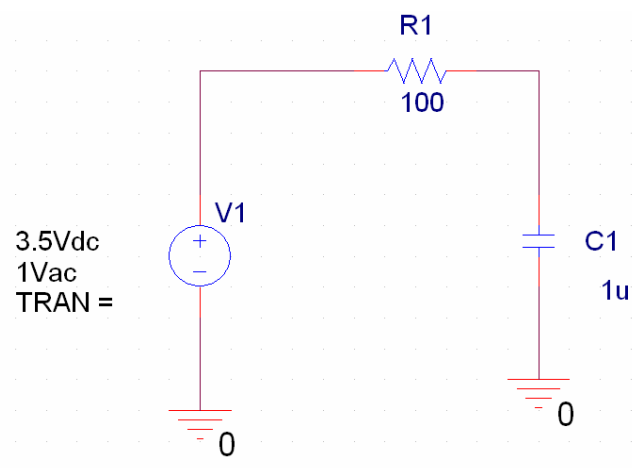
Como $V_+ = V_-$.

$$V_o = R_3 \left((I * 1.4975e - 2) - 3.33e - 5 \right)$$

Si se reemplazan en la ecuación los límites de la señal de entrada (4 - 20 mA) el rango de salida de la señal es de 0.49 a 4.99 V, que son los límites en los que trabaja el sistema.

En la siguiente etapa se filtra la señal, en la figura 21. Se puede observar el filtro que utiliza el sistema. Filtro que es de primer orden y de implementación pasiva.

Figura 21. Filtro del sistema.



“Autor”

Desarrollando el análisis teórico del sistema para encontrar la función de transferencia.

$$\frac{V_o - V_i}{R_1} + V(sC) = 0$$

Despejando la ecuación

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 + sCR_1}$$

La ganancia máxima del filtro es 1 y para hallar su ancho de banda se despeja de la ecuación y se halla el valor de la frecuencia para el cual el valor de la ganancia corresponde a 0.7079.

Desarrollando las respectivas operaciones matemáticas, el ancho de banda del sistema es de 1.313Khz.

En la última etapa hay un amplificador de aislamiento (ISO122). Debido a que el sistema **Barrier Box** además de acondicionar las señales de los sensores para el sistema Insite, también cumple con la función de proporcionar la tensión necesaria para que estos funcionen adecuadamente; estas tensiones y corrientes que maneja el sistema son muy altas. Si estos voltajes y corrientes llegan al computador (sistema Insite) puede ocasionarle graves daños a la tarjeta madre o tarjetas de adquisición de datos. Para prevenir estos inconvenientes el sistema en su etapa final cuenta con esta etapa de aislamiento galvánico.

2.3.2. Señales Digitales

La señal que proviene de los sensores de profundidad es una señal analógica y el sistema se encarga de convertirla en pulsos digitales (lógica compatible con tecnología TTL). En la figura 22 se puede observar el tratamiento que le da el sistema a la señal.

Figura 22. Esquema del proceso de la señal de profundidad y cuñas.



“Autor”

Como se explicó anteriormente el sensor de profundidad le proporciona al sistema una señal de tensión que esta en el rango de 0-8V. Señal que se encuentra oscilando entre estos límites dependiendo del movimiento del rodillo externo.

Para propósitos de ilustración de la primera etapa del proceso (conversión de la señal) supóngase que se tiene una señal de entrada (señal del sensor de profundidad) que está a 0v a medida que la tubería va ingresando en el pozo provoca un aumento en la señal del sensor de profundidad; el sistema **Barrier Box** internamente tiene 2 comparadores de voltaje que producen dos pulsos lógicos (TTL) cuando la señal se encuentra alrededor de los 4 y los 7 v.

En la tabla 1 se puede observar el ciclo de trabajo del sensor de profundidad, en esta tabla se denomina señal A al estado del pulso del primer comparador y señal B al estado del pulso del segundo comparador.

Tabla 1. Ciclo de trabajo del sensor de profundidad.

Señal entrada	Señal A	Señal B
0V	Bajo (0V)	Bajo(0V)
4V	Alto (5V)	Bajo(0V)
7V	Alto(5V)	Alto(5V)
0V	Alto(5V)	Alto(5V)
4V	Bajo(0V)	Alto(5V)
7V	Bajo(0v)	Bajo(0V)

“Autor”

El sistema necesita de estas dos señales para poder identificar si la tubería se encuentra bajando o saliendo del pozo. Si la señal A es la primera en establecerse en alto o en bajo el sistema detecta que la tubería esta bajando en el pozo. Por el contrario si la señal B es la primera en encenderse o en apagarse el sistema detecta que la tubería esta saliendo del pozo.

Una vez la señal ha sido convertida a pulsos digitales esta es aplicada a un **driver**. En este caso es utilizado un controlador inversor SN74ALS04, elemento que a su salida limita las corrientes a 5.2 mA⁹, el sistema **Barrier Box** además de realizar estos condicionamientos a las señales se encarga de suministrar la alimentación a los sensores cuyas corrientes son grandes y pueden ser perjudiciales para el sistema Insite. Al establecer un límite de las corrientes a la salida de la conversión de la señal se esta protegiendo el sistema Insite.

En la última etapa del sistema se encuentra el CI PC8Q66 que es un opto acoplador, separando totalmente la señal del sistema **Barrier Box** de la señal del sistema Insite. Haciendo aún más segura la transmisión de datos al sistema Insite.

La señal de cuñas cumple el mismo proceso en el sistema, que la señal del sensor de profundidad. Como la señal desde su inicio es un pulso no necesita ser transformada y entra directamente a la segunda etapa del proceso antes descrito con la señal del sensor de profundidad.

2.4. SISTEMA INSITE

El sistema Insite es el encargado de interpretar los datos con las señales que le suministra el sistema **Barrier Box**. A continuación se hará una descripción de la manera como trabaja el sistema.

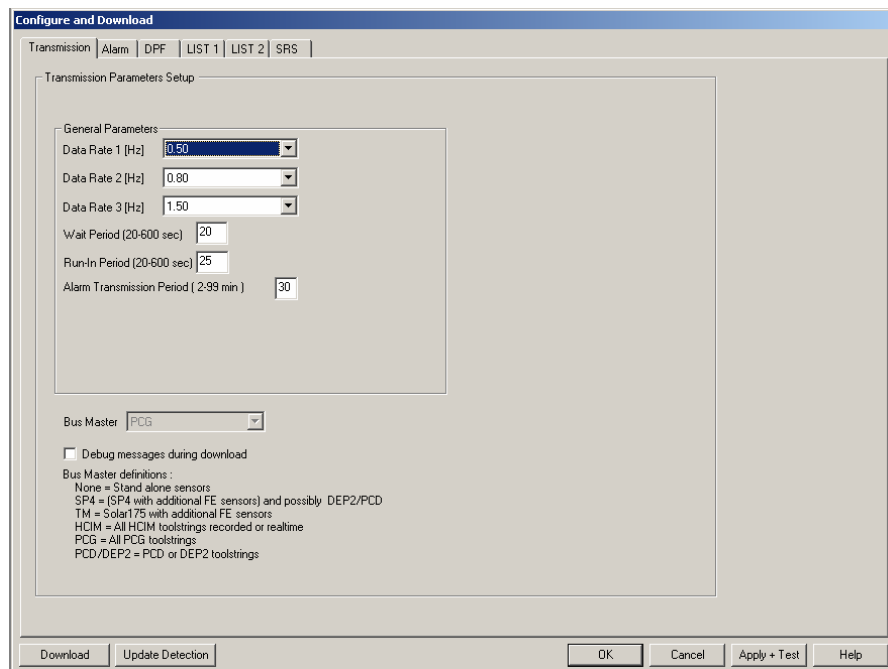
Cuando se va a iniciar un trabajo las herramientas deben ser programadas antes de ser bajadas en el pozo. Como ya se mencionó anteriormente la probeta se encarga de

⁹ Según la hoja de datos del fabricante. Texas Instruments.

recibir esta programación para que el sistema Insite se sincronice con las herramientas que se encuentran en el pozo.

Primero se programa la lista en el software del sistema Insite. En la primera parte se programan las tasas a las que se van a transmitir los datos. Hay tres opciones 0.5Hz, 0.8Hz, 1.5Hz. Actualmente las herramientas trabajan solo a 0.5Hz o 0.8Hz. Esta ventana de diálogo se puede ver en la figura 23.

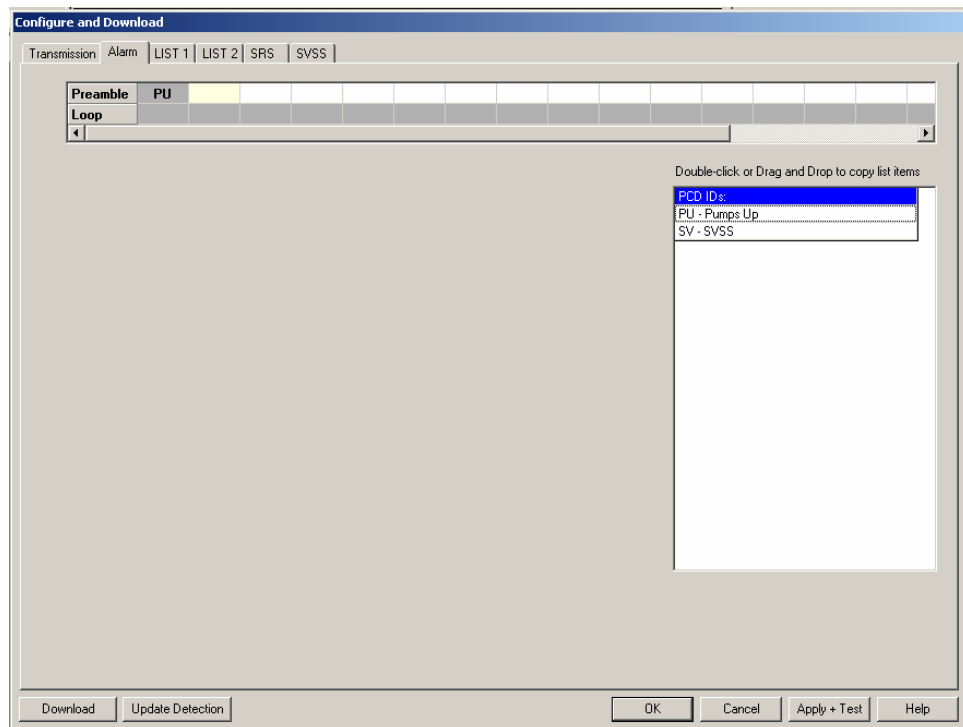
Figura 23. Programación de la velocidad de transmisión en el sistema Insite.



“Autor”

Ahora se programan las alarmas del sistema. En este caso se ha programado que el sistema de un aviso cuando las bombas han sido encendidas (PU-pumps up). Otra alarma que se puede programar es la SV que indican cuando las vibraciones están muy altas Estas alarmas son programadas para evitar daños en la herramientas y para indicar cuando el sistema empieza a trabajar nuevamente. En la figura 24 se puede observar esta ventana de diálogo.

Figura 24. Configuración de alarmas.

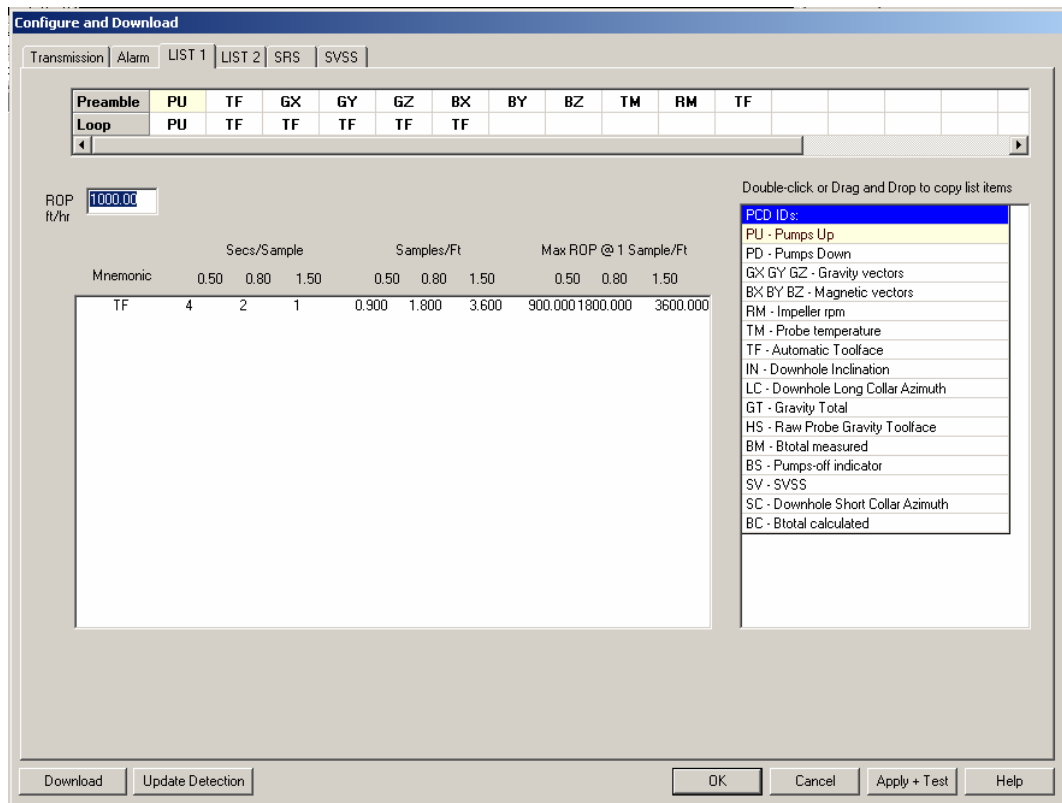


“Autor”

Luego se configuran las listas. La lista esta compuesta de dos elementos el preámbulo y el **loop**. El preámbulo es la información inicial que va a registrar el sistema una vez las bombas han sido encendidas, y el **loop** son los datos que el sistema registra constantemente. El **loop** se reproduce indefinidamente hasta que las bombas son apagadas.

En la figura 25 se puede observar las diferentes opciones para crear estas listas.

Figura 25. Lista creada para un trabajo direccional.



“Autor”

En la tabla 2 se puede observar a lo que corresponde cada ítem de la lista

Tabla 2. Ítems de la lista del Insite.

Denominación	Descripción
PU (pumps up)	Indica si las bombas se encienden o se apagan.
TF (toolface)	Indica la dirección en la que esta posicionada la herramienta respecto al punto 0 del sistema
GX GY GZ (vectores gravimétricos)	Con estos vectores se toma la inclinación de las herramientas si es menor a 10 grados (acelerómetros).
BX BY BZ (vectores magnéticos)	Cuando la inclinación es mayor de 10 grados la inclinación se mide con los

	vectores magnéticos (magnetómetros).
TM (temperatura):	Temperatura de trabajo de las herramientas.
RM (rpm)	Revoluciones por minutos a las que esta trabajando el sistema.

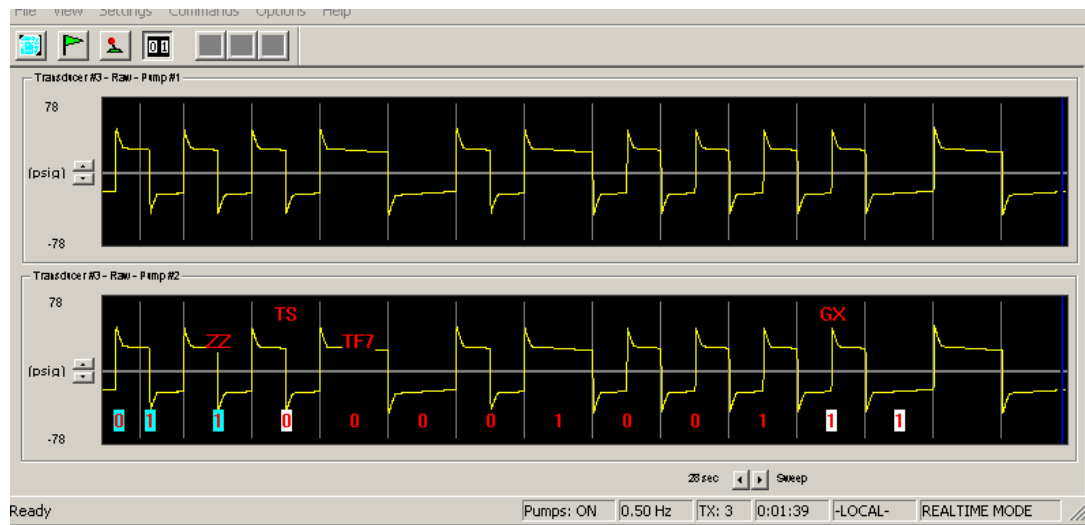
“Autor”

Cuando los datos del preámbulo han sido registrados el sistema cambia a registrar la información que ha sido programada en el **loop**. El sistema queda en este modo hasta que las bombas se apaguen. En este caso el sistema registra la dirección de las herramientas (TF).

Con las listas creadas y almacenadas en el software, estas son programadas en la PCD, de este modo las herramientas de pozo saben que información, en que orden y a que velocidad se deben enviar los datos a la superficie, y el equipo de superficie conoce de antemano el orden de la información y velocidad de los datos provenientes del pozo. La creación de estas listas es un paso fundamental, ya que sin ellas sería imposible sincronizar las herramientas y la interpretación de datos sería errada.

En la figura 26 se puede ver como el sistema registra los datos provenientes del pozo. En la figura se pueden observar los pulsos que corresponden a diferencias de presión. En este caso la presión a la que esta trabajando el sistema es de 2200 psi con una variación de 100 psi.

Figura 26. Sistema Insite en funcionamiento.

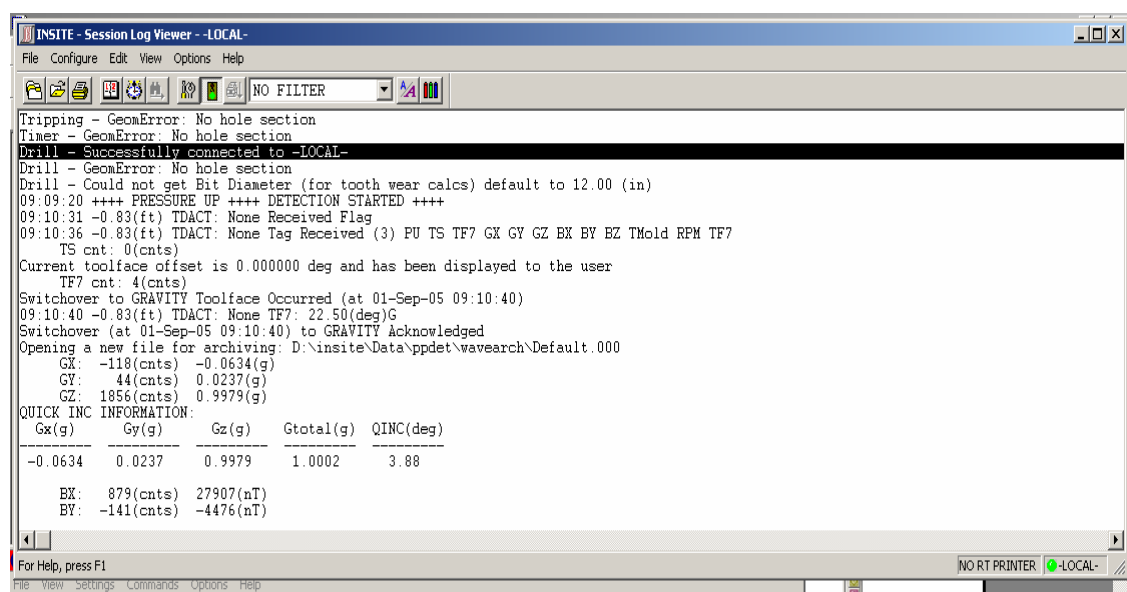


“Autor”

A medida que los pulsos van llegando el sistema los va interpretando como bits de información. En la figura se observa que el sistema esta interpretando bits que corresponden al registro de un TF (**toolface**) y comienza a registrar información del vector gravimétrico GX.

En la figura 27 en la línea 6 se puede apreciar que el sistema detectó que la presión ha aumentado o se han encendido las bombas. Una vez el sistema se ha sincronizado la velocidad muestra la lista de datos que espera recibir del pozo (línea 8). En las líneas siguientes se aprecia que el sistema ya ha recibido y procesado la información de ciertos bits. En este caso el TF nos indica que la herramienta se encuentra a 22.5 grados del punto cero del sistema. Y de acuerdo a los vectores gravimétricos las herramientas están a una inclinación de 3.88 grados.

Figura 27. Ventana de interpretación de datos.

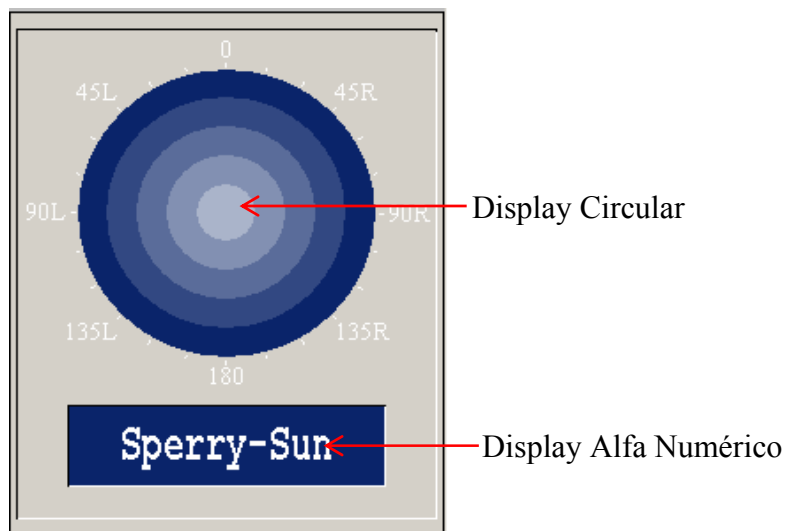


“Autor”

Otro elemento importante para emular en este proyecto es el DDU. El DDU es un **display** que se encuentra en la mesa del taladro. En el se muestran los datos que se van tomando del pozo y se le pueden enviar indicaciones al operador del taladro.

En la figura 28 se puede observar la grafica de un DDU. El DDU esta compuesto por dos **display**. El **display** circular se utiliza para indicar la dirección de la herramienta. El **display** alfanumérico se utiliza para mostrar los datos que han sido registrados, en el se muestra temperatura, inclinación de la herramienta, etc. También se utiliza para enviar mensajes a la mesa del taladro.

Figura 28. DDU.



"Autor"

La transmisión de los datos al DDU se realiza por el puerto serial a una velocidad de 300Bps.

3. DISEÑO DEL HARDWARE

Dado que el sistema tipos de señales analógicas y digitales, el diseño del hardware se divide en dos secciones el manejo que se la da a la señal analógica que es la perteneciente a los sensores de presión y el manejo de las señales digitales que son las correspondientes a los sensores de profundidad y de cuñas.

3.1. SEÑAL ANALÓGICA

El objetivo del diseño del sistema es probar el sistema Insite, se establecerá un rango de señal de entrada de 0.25 a 4.75V. La precisión con la que el sistema debe trabajar será de 0.0012% (12 bits), además debe contar con la capacidad de transmitir las a una frecuencia de 0.5Hz o 0.8Hz, y no se deben utilizar fuentes externas diferentes a las proporcionadas por el sistema Insite (DSP card).

Con estos objetivos en mente se plantea en la figura 29 un esquema para la conversión de la señal digital a señal analógica.

Figura 29. Esquema de conversión de la señal digital a analógica.



“Autor”

Debido a que se tienen que controlar 3 señales distintas simultáneamente y las señales digitales que acepta el sistema Insite son compatibles con la lógica TTL. Se utiliza el puerto paralelo para generarlas. El puerto paralelo transmite señales digitales con lógica TTL además de permitir manejar varias salidas simultáneas. Debido a la

elección de este puerto se deben tener en cuenta las limitaciones de corriente del puerto. Para una transmisión segura de los datos el sistema no le debe exigir más de 10mA al puerto, el violar este límite puede ser perjudicial para la tarjeta madre del computador¹⁰.

3.1.1. Conversor Digital/Analógico

Para obtener una precisión del sistema del 0.0012%, se debe utilizar un conversor que tenga una precisión mayor, analizando las opciones que ofrece el mercado, una resolución mas alta y que no sea redundante para no incurrir en sobre costos y no sobredimensionar el sistema se hará uso de un conversor de 14 bits de resolución.

La señal que requiere el sistema es de tensión, preferiblemente se debe escoger un conversor que proporcione una tensión entre 0 y 5 V para no tener la necesidad de utilizar amplificadores adicionales, inyectando ruido adicional al sistema.

La máxima frecuencia a la que transmite el sistema **Barrier Box** es a 0.8Hz lo que requeriría que el conversor tenga un tiempo de conversión de 1.25seg, velocidad que es fácilmente superada por los conversores que se encuentran en el mercado, por lo que esta característica no representa una limitante en el diseño del sistema.

Otro factor a tener en cuenta es el ancho de banda de la señal que se va a transmitir, se considera suficiente que el conversor tenga un ancho de banda de al menos 1.5Khz. Esto se pudo observar en el análisis del sistema **Barrier Box** en la etapa de filtrado. Característica que es ampliamente superada por los conversores actuales.

Debido a las limitaciones que hay en tensión y corriente se necesitará un conversor que requiera alimentación sencilla preferiblemente de 12v o 5v, que son los voltajes que puede proporcionar la **DSP card** del sistema **Insite**.

Un aspecto importante en el diseño del sistema es la portabilidad y como el conversor debe tener al menos una resolución de 12 bits, su entrada de datos debe ser serial.

¹⁰ Arquitectura de Computadores –Un Enfoque Cuantitativo. Mc Graw Hill.

El dispositivo debe tener al menos 12 bits efectivos (ENOB). Como los bits efectivos están dados en relación a la SNR (relación entre la señal y el ruido del sistema).

$$\text{ENOB} = (\text{SNR} - 1.76\text{dB})/6.02$$

Despejando se obtiene que la SNR esta dada por:

$$\text{SNR} = 6.02n + 1.76$$

Reemplazando por la resolución requerida (n=12) el sistema debe tener una SNR de 74 dB¹¹.

Analizando las opciones ofrecidas por las empresas líderes del mercado se eligió el convertor AD5551 de la **Analog Devices**. Este convertor cuenta con las características para cumplir con los objetivos trazados al comienzo del diseño.

Ahora se analizarán las diferentes especificaciones del convertor que justifican su elección.

Cumpliendo con la premisa más importante del sistema analógico, el convertor cuenta con una resolución de 14 bits. Tiene un error de no linealidad integral máximo de 1LSB que representa una desviación de 305e-6V de la función lineal que debe seguir el convertor. Su no linealidad diferencial máxima es de 0.8 LSB (244e-6V) indica que el convertor no perderá ningún código garantizando su monotonicidad (el limite de DNL para que un convertor sea monotónico debe ser de ±1 LSB). El error de ganancia es de 0.3 LSB (91.5e-6V), error que puede ser corregido por compensación en el software.

Las anteriores características definen las fuentes de error estáticos que son los que más incidencia tienen en el comportamiento DC del sistema. Y como el sistema trabaja solo en frecuencias bajas es muy importante minimizar estos errores.

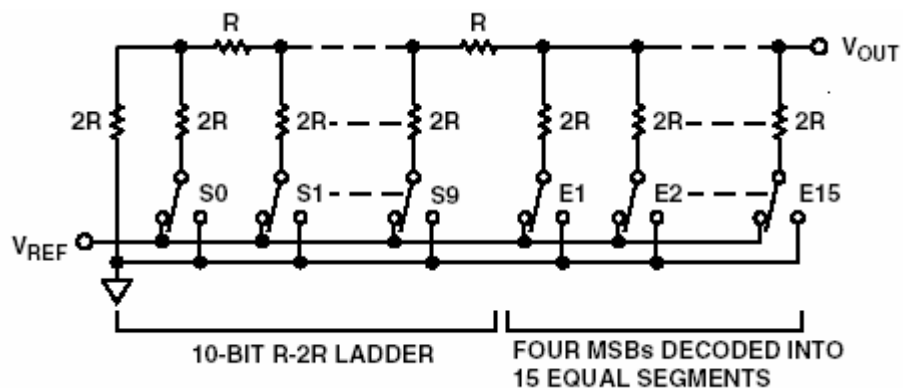
¹¹ Selecting an A/D Converter. Application Bulletin. Texas Instruments

Además de su ventaja de tener alimentación sencilla, se puede configurar el nivel de salida con una tensión de referencia externa, fijandola en 5 V tendría la señal de salida que requiere el sistema además que no se necesitaría de fuentes ni de baterías pues con los voltajes que proporciona la DSP **card** se puede alimentar el conversor y establecer el voltaje de referencia que requiere.

Otra especificación importante es que los niveles de tensión de entrada son compatibles con los niveles TTL que proporciona el puerto paralelo, y solo requiere una corriente máxima de $1\mu\text{A}$ en los terminales de entrada. Al tener un nivel tan bajo de corriente no se requiere el uso de controladores para limitarla, siendo un nivel que esta por debajo de la capacidad que tiene el puerto paralelo.

La velocidad de conversión es de $1\mu\text{seg}$ lo que garantiza no solo transmitir los datos a las velocidades que requiere el sistema, sino pensando en un futuro en que las herramientas de SPERRY aumenten la velocidad de transmisión el sistema pueda responder a estas velocidades sin necesidad de hacer cambios en el diseño del sistema. Teniendo en cuenta esto el conversor también cuenta con un ancho de banda de 1.3 Mhz, garantizando un óptimo desempeño en las frecuencias a las que trabaja el sistema. El conversor esta diseñado con una arquitectura de red escalera R-2R. Que se puede apreciar en la figura 30.

Figura 30. Arquitectura del conversor.



“Analog Devices Datasheet AD5551”

Esta arquitectura de convertidores cuenta con dos modos de funcionamiento llamados “modo voltaje” y “modo corriente”. Cada modo tiene sus ventajas y desventajas. Como la señal de salida es de tensión el convertidor elegido trabaja en “modo voltaje”. Permitiendo establecer el nivel de señal requerido a la salida (5V) que en este caso se convierte en una ventaja. Otro punto a favor de esta arquitectura es que la impedancia de salida del convertidor es constante (6.25 K Ω) permitiendo fácilmente la estabilización del sistema de cualquier amplificador conectado al nodo de salida¹².

El convertidor cuenta con una función de reinicio que al encenderse asegura el arranque del sistema en un valor conocido. Al encenderse el DAC establecerá todas las entradas del registro a cero, hasta que los datos iniciales sean cargados¹³.

Este valor solo es modificado cuando el terminal CS es activado permitiendo mantener la señal deseada sin necesidad de estar realimentando los datos para mantener un nivel de salida, solo se alimenta el convertidor cuando hay un cambio. Evitando el uso de registros externos.

Por último los requerimientos de corriente del convertidor son de 1.1mA en el peor de los casos, corriente que puede ser suministrada por el sistema **Insite** sin correr riesgos de causar daños al equipo.

3.1.2. Amplificador de la señal

La señal que se obtiene del convertidor D/A se encuentra dentro del rango deseado (0.25 – 4.75V), luego con fines de acondicionamiento de la señal no se hace necesaria una etapa de amplificación. Pero si se tiene en cuenta que el sistema trabaja en DC los errores estáticos se hacen más notorios y más importantes en el diseño del dispositivo.

La etapa de amplificación minimiza estos errores permitiendo un ajuste y aumento de precisión aunque también puede contribuir a que ciertas características del sistema se degraden. Además con el tiempo y uso del dispositivo las especificaciones del

¹² Analog-Digital Conversión Walter Kester. Analog Devices. Capítulo 4. 2004

¹³ Datasheet AD5551. Analog Devices

conversor se degradan, situación que puede ser corregida ajustando la ganancia del amplificador.

Como la selección del conversor ya se efectuó se debe elegir un amplificador que se adapte a las especificaciones de el, evitando introducir imprecisiones en el sistema.

Para no alterar la precisión del sistema el amplificador que se elija debe tener un muy bajo voltaje de **offset**, así como las fluctuaciones deben ser las mínimas. Si esta condición se cumple se evita el ajuste a la salida del sistema.

El conversor tiene una impedancia de salida baja alrededor de los $6K\Omega$ por lo que el amplificador debe contar con corrientes de polarización bajas, si estas son altas se introduciría un error de escala cero en el sistema y se necesitaría hacer ajustes a la salida de la señal¹⁴.

Una característica muy interesante en los diseños actuales de los amplificadores es que cuenten con “**rail to rail**” a la entrada y/o a la salida del amplificador. Esta especificación evita que se degrade el desempeño del sistema cuando se encuentra en los límites de operación. Si un amplificador no cuenta con esta especificación cuando los niveles de la señal se encuentran en el límite superior o inferior se pueden presentar recortes en la señal degradándola. Por lo general los amplificadores cuentan con un DR (Rango Dinámico) a la entrada limitado por la alimentación de ellos mismos, si la señal se acerca a estos límites puede ser recortada. Una solución a este inconveniente es utilizar un amplificador con una alimentación mayor pero esta solución repercute en tener una capacidad mayor de alimentación de los elementos, un consumo mayor de potencia, un problema muy serio cuando se esta diseñando un sistema portátil. Cuando un amplificador cuenta con la especificación “**rail to rail**” se garantiza que la señal no va ser recortada en los límites de trabajo del amplificador, ya que esta especificación le da la capacidad al amplificador de suministrar cierto voltaje mayor a los límites de alimentación del sistema¹⁵.

El amplificador debe contar con una impedancia de entrada alta ya que si esta impedancia es baja se puede presentar un error de ganancia en el sistema.

¹⁴ Pág 11 Datasheet AD5551

¹⁵ A Designer’s Guide to Instrumentation Amplifiers 2 edition. Analog Devices

Ahora respecto a las condiciones dinámicas del sistema el amplificador debe tener un ancho de banda mínimo de 1Mhz, para no degradar el ancho de banda del convertidor. Otro factor importante es el **Slew Rate** ya que este afecta directamente tiempo de conversión del DAC. Se debe tomar en cuenta que después de la etapa de amplificación el tiempo de conversión será la suma del tiempo del convertidor más el **Slew Rate** del amplificador.

Estas condiciones afectan directamente el desempeño del convertidor. Ahora se tendrán en cuenta las especificaciones que afectan el sistema. Como se tienen limitaciones en la alimentación, esta debe ser sencilla y no debe ser mayor de 12V, tener una buena estabilidad térmica, y el nivel del ruido agregado al sistema debe ser bajo.

Para cumplir con las condiciones antes citadas se revisaron las diferentes configuraciones y posibilidades de amplificadores que hay en el mercado. Se optó por utilizar un amplificador de instrumentación de precisión de circuito integrado, evitando muchos inconvenientes del diseño con componentes discretos, además que con las técnicas actuales de circuitos integrados muchas características que se requieren ya vienen en sus especificaciones de diseño.

Se optó por elegir el amplificador de instrumentación INA326 de **Texas Instruments**. El voltaje de **offset** de este amplificador en el caso extremo es de $\pm 100\mu\text{V}$ (trabajando dentro de los rangos de temperatura) que es más bajo que el del convertidor ($152\mu\text{V}$), cuando el amplificador trabaje en un ambiente fuera de los rangos de temperatura su voltaje de **offset** en el caso extremo sería de tan solo $\pm 124\mu\text{V}$ que aun sigue siendo inferior al del convertidor, incluso es más bajo que 1 LSB ($305\mu\text{V}$). Este valor aportado por el amplificador en el peor caso sería 0.4 LSB que está dentro de los límites del convertidor.

Las corrientes de polarización a la entrada del amplificador son de $\pm 2\text{nA}$ y teniendo en cuenta que la impedancia de salida del convertidor es de $6.25\text{k}\Omega$ en el peor de los casos el amplificador introducirá un error en el cero del dispositivo de 12pV , lo que equivale a $39.32\text{e-}6$ LSB, que no afecta la precisión del convertidor, su error en este caso es inferior a 0.5 LSB.

Además cuenta con la especificación “**rail to rail**” a la salida y a la entrada del amplificador dando un margen señal de entrada de -0.02 a 5.1 V y como el sistema tiene como propósito trabajar en un rango de 0.25 a 4.75 V da un suficiente rango dinámico en la entrada para evitar recortes y distorsiones en la señal de entrada.

Como se mencionó la impedancia de entrada del amplificador debe ser alta para evitar errores de ganancia en el sistema, siendo esta de $10^{10}\Omega$ lo suficientemente grande para evitar estos inconvenientes.

El amplificador cumple con las condiciones estáticas que se plantearon ahora se revisaran las condiciones dinámicas para ver si es adecuado el comportamiento del amplificador.

En este caso el ancho de banda y el **Slew Rate** esta determinado por el filtro que se le aplique al sistema, recayendo en el diseño del filtro cumplir con las metas de **Slew Rate** y ancho de banda del dispositivo¹⁶.

El tiempo de establecimiento del amplificador con una ganancia de 1 V/V a 1 KHz es de $160\mu s$, en el caso extremo el sistema **Barrier Box** transmite datos a una frecuencia de 0.8 Hz que equivale a un tiempo de 1.25 seg. Como se puede ver el dispositivo cumple ampliamente con esta condición.

Además la adición de ruido al dispositivo es $1/f$, tomando el caso extremo de $G=10$ el ruido adicionado el dispositivo es de $120nV/\sqrt{Hz}$, garantizándose una señal casi idéntica a la salida del amplificador.

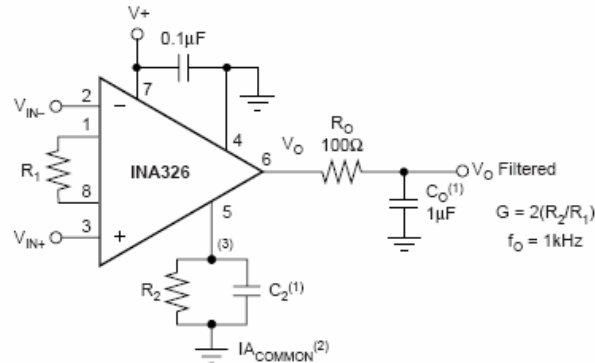
Con lo anterior queda demostrado que las características dinámicas y estáticas del DAC no son afectadas por el amplificador elegido.

La alimentación del amplificador es una tensión de 5 V sencilla, una corriente máxima de entrada de 3.4 mA, y una muy buena estabilidad térmica y un rango de operación a temperaturas de -40 a 125 °C son las características que cumplen con las exigencias del diseño del dispositivo.

¹⁶ Datasheet INA326. Texas Instrument

En la figura 31 se puede observar la configuración del amplificador a utilizar.

Figura 31 Configuración de la etapa de amplificación.



“Texas Instruments Datasheet INA326”

La ganancia esta dada por la relación que hay entre R_1 y R_2 . Según la hoja de datos del fabricante un valor óptimo para R_1 esta dado por la relación:

$$R_1 = V_{in,max} / 12.5\mu A$$

Si se reemplaza el valor de la tensión de entrada (5V) se requiere de una R_1 de 400k Ω , para obtener una ganancia de 1 V/V se necesitaría un valor de resistencia R_2 de 200k Ω . Combinando la R_2 en paralelo con un capacitor de 0.5nF introduce un polo al sistema de 1.5kHz, por lo tanto la señal que se encuentra a la salida del amplificador estaría limitada a las frecuencias de interés del sistema Insite.

Para finalizar se agrega una etapa de filtrado al sistema. Debido a las limitaciones de alimentación que se tienen en el diseño del sistema se implementa un filtro de construcción pasiva de primer orden cuya frecuencia de corte es de 1.5khz. Se elige la misma topología de filtro que utiliza el sistema **Barrier Box** a la salida de la señal.

Esta topología se ajusta a los objetivos del diseño, no necesita de alimentación adicional como en el caso de utilizar un filtro activo. Su estabilidad es fácil de conseguir ya que el cero esta ubicado en el infinito y el polo en el valor de la frecuencia de corte en el eje negativo del plano.

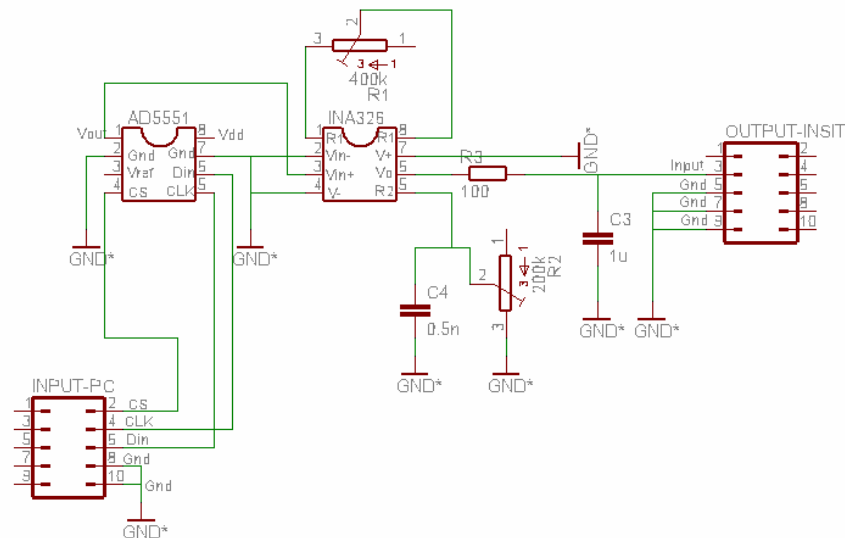
3.1.3. Análisis de ruido

La señal analógica que proporciona el conversor es amplificada, este amplificador le introduce cierto nivel de ruido a esta señal. Para establecer los bits efectivos con los que trabaja el sistema es necesario hacer un análisis de ruido al INA.

Primero se debe tener en cuenta la frecuencia en la que trabaja el sistema y el ancho de banda del amplificador, el sistema trabaja a un máximo de 1.5hz, pero a la salida del amplificador se encuentra un filtro pasivo de primer orden que establece el ancho de banda en 1.5 Khz, que sería el ancho de banda del ruido que se va a analizar¹⁷.

El ruido especificado en la hoja de datos del INA en las frecuencias de interés es de 4μV.

Figura 32. Esquema del sistema de presión.



“Autor”

Calculando la frecuencia de trabajo del sistema:

$$Hz = \sqrt{f_{sup} - f_{inf}} = \sqrt{1.5Khz - 0.5Hz} = 38.75$$

Multiplicándola por el ruido del sistema:

¹⁷ Amplifiers and Bits: An Introduction to Selecting Amplifiers for Data Converters. Texas Instruments

$$ENI = 4\mu V \cdot 38.75 = 155\mu V$$

Este sería el ruido a la entrada del sistema. Y el ruido a la salida del sistema es el producto de ENI por la ganancia.

$$ENO = ENI \cdot G = 155\mu V \cdot 1 = 155\mu V.$$

Como el amplificador y el filtro están diseñados con resistencias, debe tomarse en cuenta el ruido Johnson, pero este no es lo suficientemente relevante para ser tomado en cuenta, predominando el ruido del INA.

Como el INA es el elemento que aporta el ruido del sistema se calculará el rango dinámico del elemento.

$$DR = 20 \log_{10} \frac{\text{máximo nivel rms de entrada}}{\text{nivel de ruido rms}} \quad [dB]$$

Reemplazando el máximo nivel rms de entrada (5V) y el ruido se tiene un rango dinámico de:

$$DR = 90.1727 \text{ dB}$$

Ahora para hallar los bits efectivos del sistema se tiene:

$$n = \frac{DR - 1,76}{6,02} \quad [bits]$$

Reemplazando el valor del DR, se obtiene que:

$$n = 14.68$$

Que equivale a trabajar con un sistema cuya resolución es de 14bits, que sería una resolución muy similar a la del convertidor.

3.1.4. Precisión de los componentes

Una vez definidos los componentes a utilizar en el procesamiento de la señal de presión se analiza la precisión que ellos aportan al sistema.

Se analizará la precisión del amplificador de instrumentación, análisis que se hace pensando en los casos extremos de los componentes y se asume a una temperatura ambiente de 25°C.

Debido a que el amplificador va ser utilizado con una ganancia baja el voltaje de **offset** predominante es el que se da a la entrada del sistema. El amplificador tiene un voltaje de **offset** referido a la entrada (RTI) que en el peor de los casos sería de 100 μ V y tomando en cuenta que la máxima señal de entrada al dispositivo es de 5 V tenemos un error de 2e-3% que en su equivalente de ppm sería de 20.

Realizando el mismo procedimiento con la corriente de **offset**, su valor máximo es de ± 2 nA con un error de 4e-6% o 0.04ppm.

Otra imprecisión del sistema que se debe tener en cuenta son los errores respecto a la ganancia, según la hoja de datos el error de ganancia en este caso sería de $\pm 0.2\%$ o 2000 ppm, y el error de no linealidad de ganancia es $\pm 0.01\%$ o 100ppm.

Finalmente se agrega el error que produce el ruido en el sistema, este ruido se debe tomar en el rango de 0.1 a 10Hz que son las frecuencias en las que trabaja el dispositivo. Que en este caso sería de 4 μ V dando un error de 8e-6% (8 ppm).

Sumando todos los errores se tiene que la precisión del amplificador es de 0.2120% (2128 ppm) que equivaldría a trabajar con tan solo 8 bits.

Del anterior análisis se puede notar que los errores más altos se dan en las especificaciones estáticas del amplificador. Los errores de offset se corrigen haciendo ajustes en el circuito y el error de ganancia se puede ajustar en el software.

Haciendo las respectivas compensaciones al sistema solo se tendría en cuenta el error de no linealidad de ganancia y el error del ruido que sería de 0.0108% (108 ppm) que

sería un amplificador con 12 bits de resolución, esta resolución esta dada para el caso extremo asegurando que el sistema trabaja con la precisión necesaria. En condiciones normales el amplificador tendría un error de no linealidad de 0.004% que sumado al error de ruido en las frecuencias de interés nos da una precisión de 48 ppm cuya resolución es de 14 bits.

3.2. SEÑAL DIGITAL

El tratamiento de la señal digital es más sencillo. El sistema Insite requiere 3 señales digitales, 2 señales que identifican el sensor de profundidad y 1 señal para activar y desactivar cuñas.

Los niveles de tensión requeridos por el sistema Insite son TTL y el puerto paralelo maneja estos niveles de tensión. La principal precaución del diseño en este caso es mantener unos parámetros de seguridad tanto para el computador que emite las señales como para el sistema Insite, así como garantizar que las señales que lleguen al sistema Insite sean tensiones TTL.

En la figura 33 se puede observar el esquema propuesto para la transmisión de los datos.

Figura 33. Transmisión de la señal digital.



“Autor”

En la primera etapa se utiliza el SN74LS04B que es un inversor. Elemento que le exige al puerto paralelo 0.1mA (valor máximo), corriente que puede ser suministrada por un computador, maneja niveles de tensión TTL, tiene un nivel de alimentación de

5V sencilla, su máxima corriente a la salida es de 8mA que es tolerable por el sistema Insite sin causarle daños y su tiempo de establecimiento es de 11ns. Características que cumplen con las exigencias del diseño del sistema.

En la segunda etapa se utiliza un optoacoplador. La tarjeta de adquisición que utiliza el sistema Insite maneja corrientes mayores a las que son soportadas dentro de un margen de seguridad por el puerto paralelo. El optoacoplador aísla un sistema del otro, dado el caso que requiera una corriente mayor a la soportada por el puerto la fuente que alimenta al optoacoplador se encarga de suministrarla y no el puerto paralelo directamente. El puerto solo se encargaría de establecer la tensión actual de la señal de entrada.

El optoacoplador que se utiliza es el PS2501. Elemento que se alimenta con una tensión de 5V y tiene un tiempo máximo de propagación de 5 μ s.

Por último para asegurar un nivel de tensión TTL a la salida del dispositivo se utiliza el SN74ALS04B cuya descripción se hizo en la primera etapa de este proceso.

3.3 ALIMENTACIÓN DEL CIRCUITO

El sistema Insite proporciona 4 fuentes de 12V y una de 5V. Teniendo en cuenta la portabilidad del sistema se usan estas fuentes para alimentar los elementos utilizados en el dispositivo.

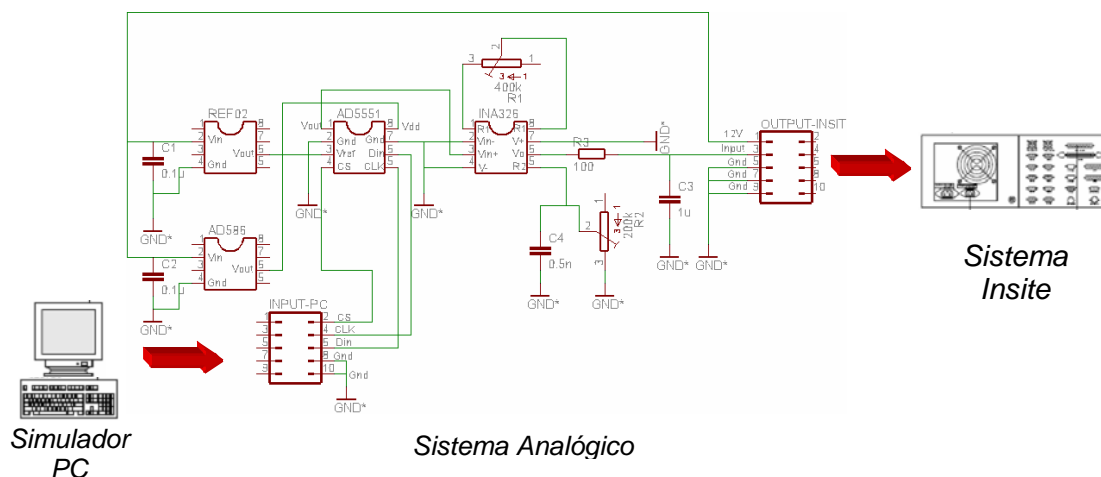
Para la alimentación del conversor y del amplificador de instrumentación se utiliza el circuito integrado REF02 de **Texas Instruments**. Elemento que suministra un voltaje de salida de $5V \pm 0.2\%$, tiene un rango de alimentación de 8-40V, tensión que puede ser obtenida del sistema Insite (12V) y tiene bajo nivel de ruido a la salida 10 μ Vp-p en el peor de los casos.

El conversor necesita una tensión de referencia, la fuente que va cumplir con este propósito debe tener una buena precisión, bajo nivel de ruido a la salida, alimentación sencilla y buena estabilidad térmica.

El elemento elegido para establecer este voltaje de referencia es el AD586 de **Analog Device**, una fuente de referencia de 5V de alta precisión, suministra un voltaje de salida de $5.000 \pm 2\text{mV}$, el ruido en la banda de frecuencias de trabajo del sistema es de $4\mu\text{Vp-p}$, además posee un terminal que provee filtrado adicional al ruido usando un capacitor externo y alimentación sencilla que puede ser suministrada por el sistema Insite.

En la figura 34 se puede observar el esquema general del sistema que convierte los bits del computador a señal analógica de presión al Insite (Sistema Analógico).

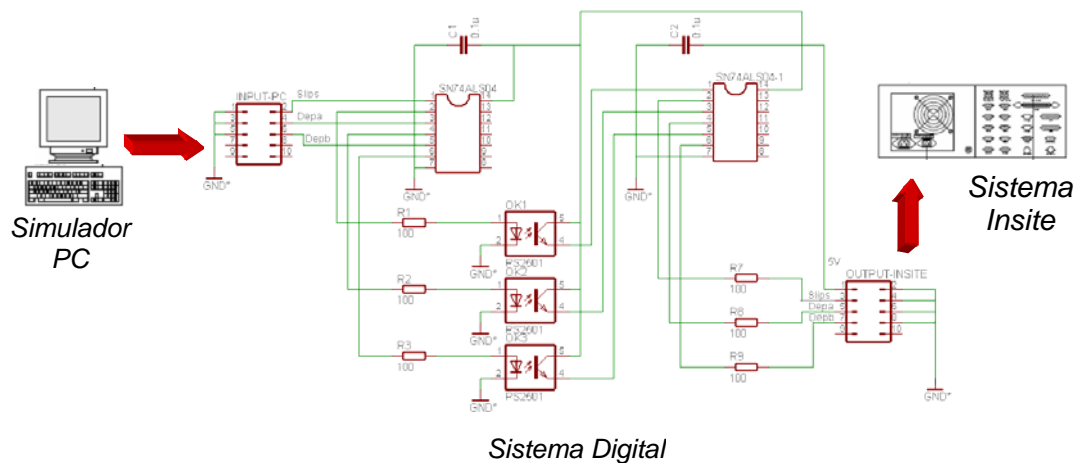
Figura 34. Esquema general del sistema que transmite la señal de presión.



“Autor”

En la figura 35 se puede observar el esquema general del sistema que transmite los datos de cuñas y profundidad (Sistema Digital).

Figura 35. Esquema general del sistema que transmite la señal de cuñas y profundidad.



“Autor”

Estas tarjetas funcionan independientemente, en caso de falla en una tarjeta no se afectará el funcionamiento de la otra.

4. SOFTWARE DEL SISTEMA

Para emular los sensores y los elementos que se utilizan en el sistema se necesita desarrollar una aplicación que debe ser amigable, fácil de usar y que una persona con los conocimientos básicos de las herramientas sea capaz de utilizar, además no debe contar con conocimientos avanzados en programación para tal fin.

Teniendo en cuenta los anteriores aspectos se decidió utilizar **LABVIEW®** que es un lenguaje de programación gráfico para el diseño de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control, del cual la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones posee la licencia. El programa posee las ventajas de permitir diseñar interfaces interactivas, diseñar programas y aplicaciones a través de diagramas de bloques, integración de hardware periférico al PC, programación orientada a gráficos.

La aplicación se dividirá en dos secciones, una prueba básica y el simulador utilizado para proporcionar al sistema **Insite** las condiciones que se encuentran en un pozo petrolero. Además de esto se debe simular un DDU y un visor de pulsos. Teniendo en cuenta estos elementos se desarrollará la aplicación correspondiente.

4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

Al ejecutar el programa se encontrara la ventana principal en donde se pueden elegir cuatro opciones que proporciona la aplicación. En la figura 36 se pueden observar la ventana principal.

Figura 36. Ventana Principal.



“Autor”

4.1.1. Prueba Básica

Como su nombre lo indica esta función proporciona una herramienta para probar las funciones básicas del sistema (cuñas, profundidad, presión). En la figura 37 se puede observar la ventana de prueba básica

Figura 37. Ventana prueba básica.



“Autor”

En esta ventana hay tres paneles, el de cuñas (**Slips**), profundidad y presión

En el panel de cuñas (**Slips**) se tiene un control lógico, por medio de el se pueden activar y desactivar las cuñas del sistema Insite. En la tabla 3 se da la información de la función de cada control del panel de profundidad.

Tabla 3. Controles del panel de Cuñas.

Control	Función
Profundidad	Por medio de este control se puede activar o desactivar la señal que proporciona el sistema.
Dirección	Le indica al sistema si la señal que se suministra corresponde a bajar o subir la tubería.
Frecuencia	Con este botón se puede graduar la frecuencia con que el sistema emite la señal.
Indicadores Depa, Depb	El sistema necesita dos pulsos, estos indicadores muestran su estado.

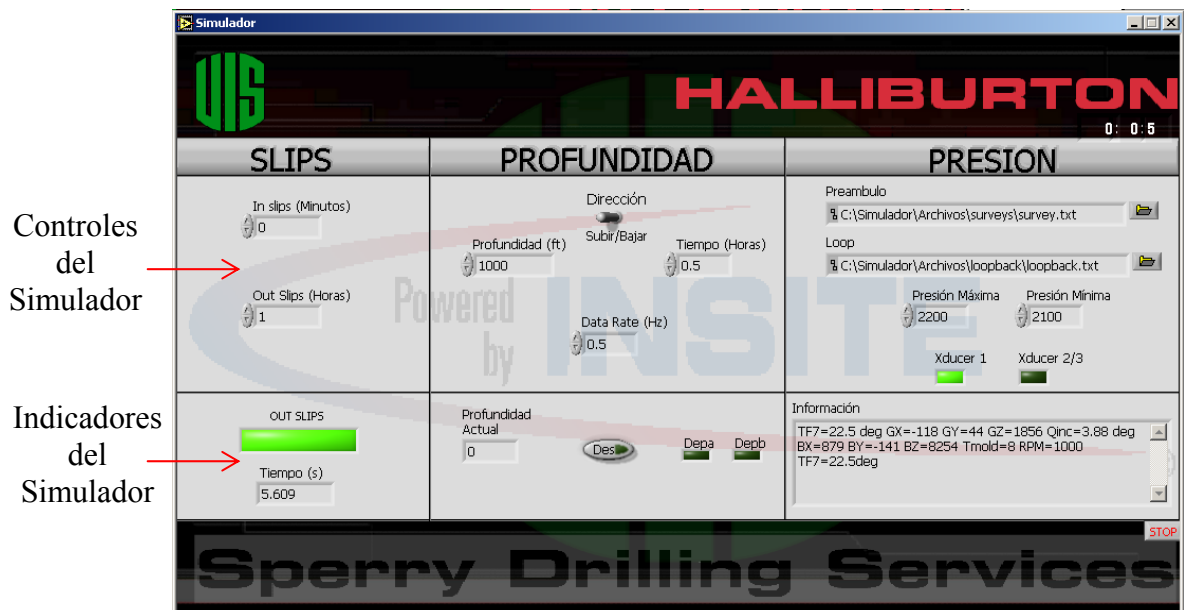
“Autor”

En el panel de presión se tiene el control de Xducer 1, Xducer 2/3 que es utilizado para establecer el nivel de presión que va a suministrar el sistema. Los niveles están limitados a un rango de 0- 4999 psi, con su respectivo control lógico Pres1, Pres2/3 con el cual se elige el **transducer** al que se le aplica la señal.

4.1.2. Simulador

En la figura 38 se puede observar la ventana del simulador. En ella se encuentran los tres paneles de la prueba básica. Además hay dos divisiones en cada panel. En las divisiones superiores se establecen los parámetros de funcionamiento del sistema y en las inferiores se puede monitorear el funcionamiento del sistema.

Figura 38. Ventana Simulador.

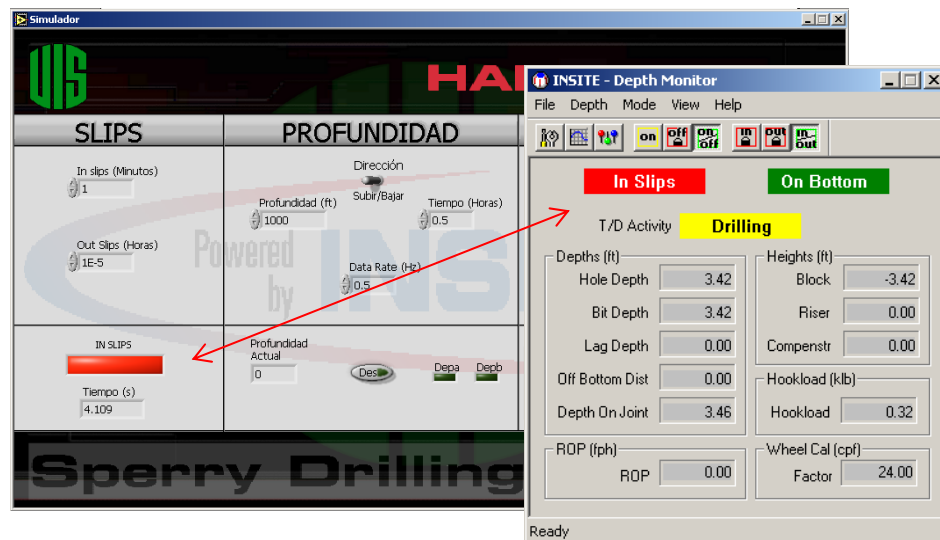


“Autor”

En el panel de cuñas se encuentran dos parámetros a definir. El tiempo que dura el sistema en cuñas y el tiempo que dura fuera de cuñas. Cuando se activan cuñas las señales correspondientes a profundidad y presión deben ser interrumpidas. Una vez el sistema desactiva cuñas la aplicación debe esperar 5 minutos para empezar a emitir bits de profundidad. La señal de presión que son los datos registrados por los sensores empezará a transmitir los datos del preámbulo y luego los del **loop**.

Para monitorear el funcionamiento del sistema se pueden observar dos indicadores. El primer indicador corresponde al estado en que se encuentran las cuñas. En la figura 39 se puede observar los valores que toma este indicador y como este se ve reflejado en el sistema Insite.

Figura 39. Estados del Indicador de Cuñas.



“Autor”

El segundo indicador es el tiempo (segundos) el cual el sistema ha permanecido con las cuñas activadas o desactivas.

En el panel de profundidad se pueden controlar 4 parámetros. El primero es la dirección, le indica al sistema si la señal que debe proporcionar corresponde a subir o bajar la tubería. El segundo corresponde a la profundidad que se desea alcanzar y el tercero es el tiempo en que se debe alcanzar la profundidad objetivo.

Además de los parámetros definidos, el sistema Insite interpreta cada pulso como 0.04 pies, constante que toma en cuenta en los cálculos de la aplicación. Con estos parámetros la aplicación calcula el número, frecuencia y el orden de los pulsos que debe suministrar al sistema Insite.

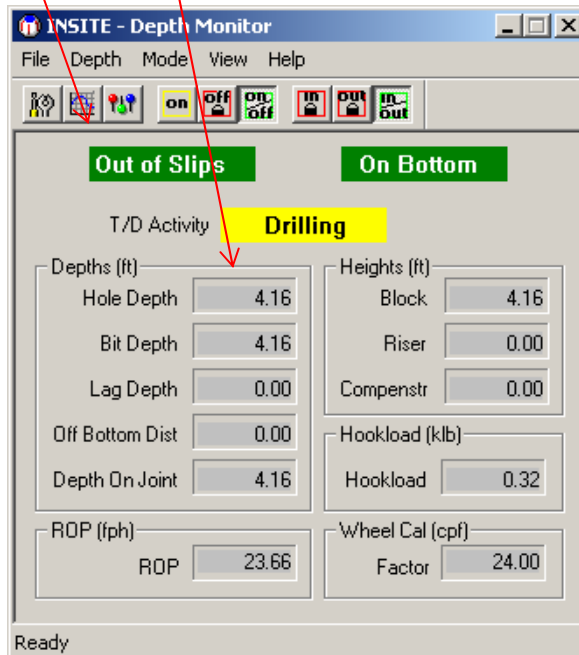
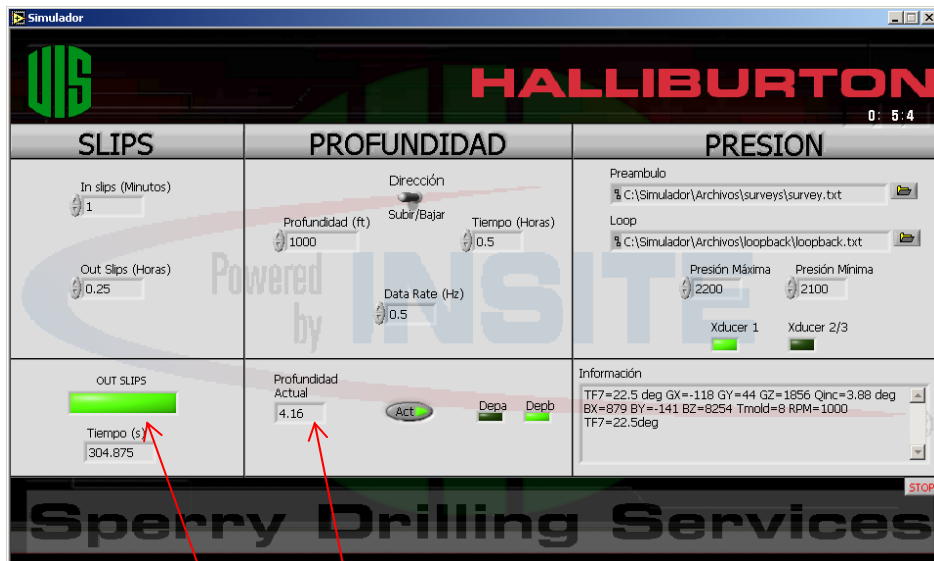
El cuarto parámetro corresponde a la frecuencia con que la aplicación trasmite los pulsos de presión y sirve para sincronizar el sistema con el sistema Insite. Esta frecuencia puede tomar dos valores 0.5 o 0.8 Hz.

En este panel hay tres indicadores el primero de ellos se muestra la profundidad que debe registrar el sistema Insite. Se establece un error que corresponde a que por cada cien pies se permite una diferencia de 3 pies con el sistema Insite.

El segundo indicador muestra si el SISTEMA se encuentra transmitiendo pulsos de profundidad, y el tercero muestra el estado de estos pulsos.

En la figura 40 se puede observar la ventana correspondiente al sistema Insite donde se registran estos datos.

Figura 40. Ventana de profundidad del Insite.



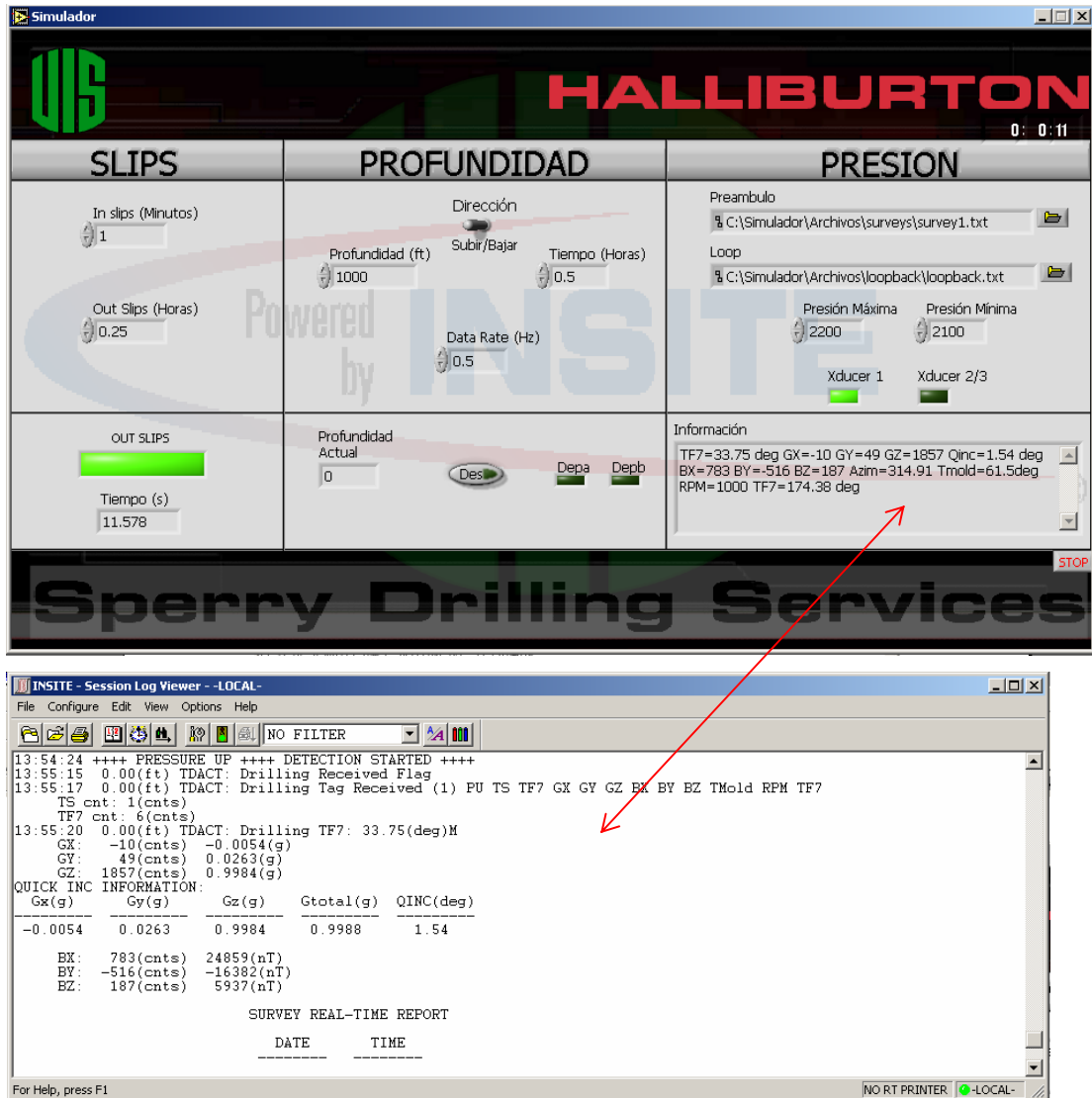
“Autor”

En el panel de presión hay dos cuadros de texto donde se puede digitar la ruta de los archivos que corresponden al preámbulo y al **loop** debidamente codificados. Si no se desea digitar, en el botón que se encuentra en el lado derecho se despliega un explorador que permite seleccionar el archivo guardando la ruta de este automáticamente.

Después se encuentran dos controles numéricos que corresponden a la presión máxima y mínima que va transmitir el sistema. Estos límites establecen la diferencia de presión en los pulsos que registra el sistema Insite. Estos deltas normalmente son de 100psi y se encuentra en un rango de 800-3000 psi que son valores comunes en un pozo direccional. Por último se encuentran dos controles lógicos que se utilizan para elegir el **transducer** por el que se desea transmitir la señal.

En este caso el indicador nos muestra la información que corresponde a los pulsos de presión que se están transmitiendo, además me indica si el sistema se encuentra en el preámbulo o en el **loop**. En la figura 41 se puede observar el registro de estos datos en el sistema Insite

Figura 41. Session Log Sistema Insite.



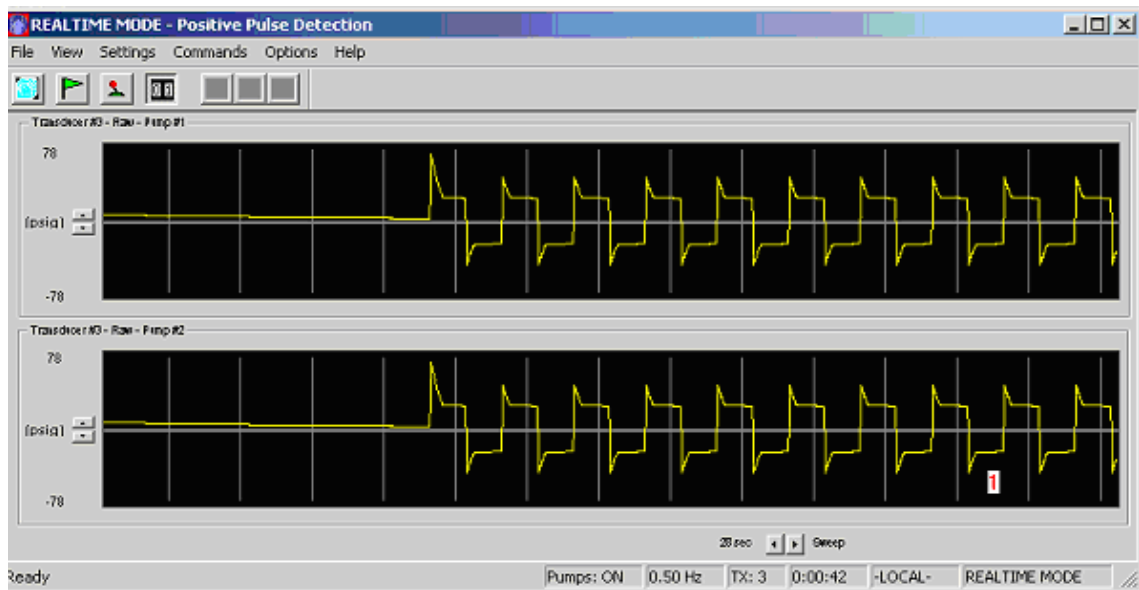
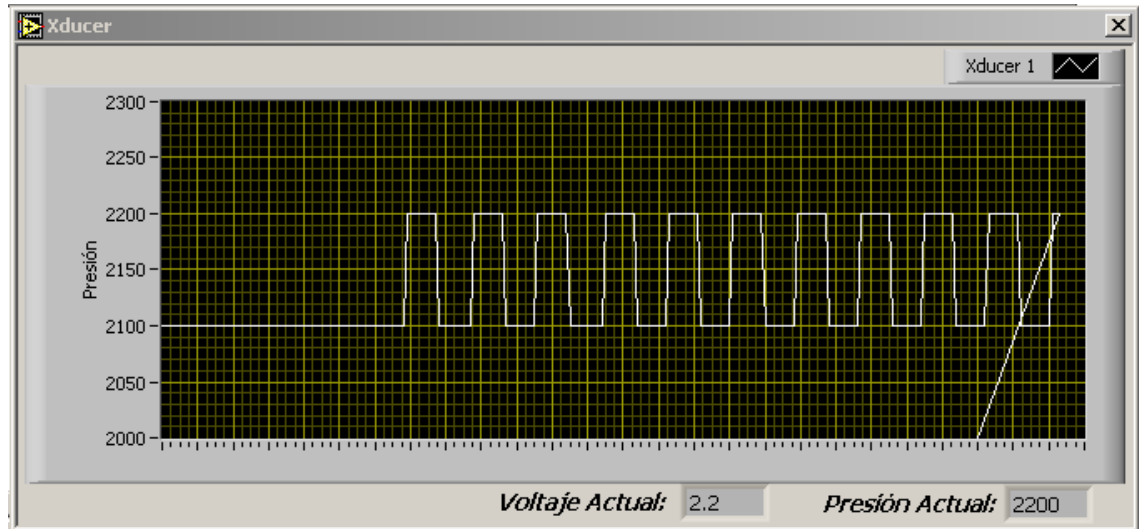
“Autor”

4.1.3. Positive Pulse

En la tercera opción se tiene un visor de pulsos positivos, en el se puede observar los pulsos que esta emitiendo el sistema y debe coincidir con los pulsos que esta registrando el sistema Insite. Además se tiene el registro de la presión, voltaje instantáneo y el **transducer** por el que se están transmitiendo los datos.

En la figura 42 se puede observar el visor de pulsos positivos del sistema Insite y el de la aplicación.

Figura 42. Visor de Pulsos Positivos.

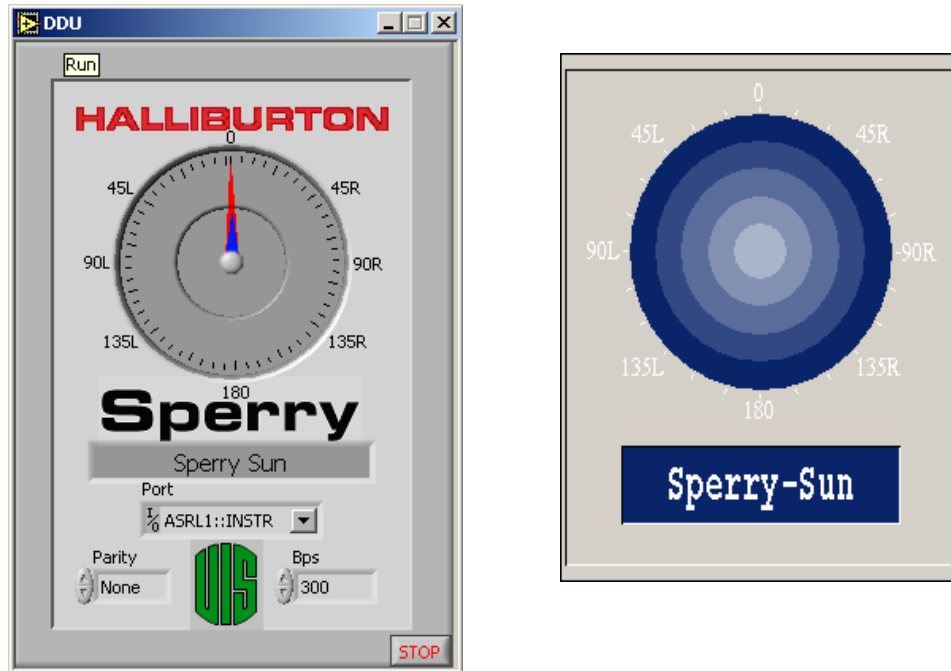


“Autor”

4.1.4. DDU

Finalmente está el DDU que puede ser observado en la figura 43.

Figura 43. DDU.



“Autor”

La finalidad de esta aplicación es emular el **display** que se encuentra en la mesa de perforación. La transmisión de los datos se hace por medio del puerto serial. En esta ventana se puede elegir el puerto por el que se desea recibir la señal, la velocidad y la paridad. Parámetros que pueden ser modificados en el sistema Insite.

Hay dos **display** en el DDU, el **display** circular, se encarga de mostrar la dirección de la herramienta, cuenta con dos indicadores uno rojo y uno azul, el indicador rojo muestra la dirección actual y el azul muestra la dirección anterior.

El segundo **display** se encarga de mostrar los distintos valores de los sensores y los mensajes que son transmitidos por el sistema **Insite**.

4.2. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Como se mencionó anteriormente la aplicación esta enfocada a realizar una prueba básica y simular los parámetros que se encuentran en la perforación de un pozo petrolero.

La prueba básica se basa en transmitir datos al sistema Insite para ver su buen funcionamiento. En esta prueba se debe verificar que el sistema registre adecuadamente las señales de cuñas, de profundidad, presión y la correcta transmisión de datos al DDU por el puerto serial.

Haciendo uso de la aplicación diseñada para este propósito se activan y se desactivan cuñas, cambio que se debe reflejar en el sistema Insite. Luego se debe verificar el correcto funcionamiento de la medida de profundidad del sistema. En el panel de profundidad se activa la señal a una frecuencia de 1 bit por segundo y se debe reflejar en el sistema Insite que por cada bit emitido por la aplicación registre 0.04 pies Después se observa el correcto funcionamiento de la dirección. Para esto se cambia la dirección observando que la profundidad aumente o disminuya según sea el caso.

Como el sistema no debe registrar profundidad cuando las cuñas estén activadas, se activan estas simultáneamente con la profundidad comprobando que el sistema no altere el registro de profundidad.

Para probar el buen funcionamiento de la presión se establecen en la aplicación los niveles de presión que debe registrar el sistema Insite observando que sean los adecuados y sean tomados en el puerto elegido por el usuario.

Para terminar se prueba la correcta transmisión de datos al DDU. Se configuran adecuadamente los parámetros en el sistema Insite y en la aplicación, es decir se establece la misma velocidad de transmisión, recepción y paridad en los dos sistemas. Si estos parámetros no son los mismos no va haber una sincronización con el sistema **Insite**.

El sistema Insite cuenta con un **test** para probar el **display** circular y el alfanumérico. En el **test** del **display** circular el sistema Insite hace un recorrido de todo el **display**,

recorrido que se debe reflejar en el DDU de la aplicación. Y en el **test** alfanumérico el sistema transmite caracteres aleatorios.

En ocasiones al realizar la prueba básica al sistema Insite, se pueden obtener resultados satisfactorios, pero cuando trabaja todo el sistema en conjunto puede presentar algunos problemas que no se pueden detectar con esta prueba, por eso es necesario realizar un **test** mas exhaustivo, proporcionándole al sistema Insite condiciones similares a las que se encuentran en un pozo petrolero.

Para poder detectar estos errores los sensores deben trabajar en conjunto y por un determinado tiempo.

Una vez establecidos los tiempos de activación y desactivación de las cuñas, la profundidad objetivo y el tiempo en que se quiere alcanzar, la frecuencia de transmisión de datos, haber cargado los respectivos archivos de preámbulo, **loop** y el delta de presión que debe transmitir la aplicación. El modo de funcionar del simulador es el siguiente.

El simulador inicia con las cuñas desactivadas, se establece el nivel mínimo de presión y la aplicación espera un tiempo de 20 segundos para empezar a transmitir los pulsos de presión. Las señales de profundidad se activan 5 minutos después que la simulación ha iniciado.

Transcurridos los 20 segundos el sistema transmite los pulsos del preámbulo, verificando que los datos y la frecuencia que se registran en el sistema Insite sean los correctos. Finalizada la comunicación de la información correspondiente al preámbulo el sistema pasa al **loop** y se mantiene transmitiendo estos datos, verificando que también sean los correctos.

El simulador con los parámetros que han sido establecidos al inicio calcula la frecuencia de los bits de profundidad, estos bits solo son transmitidos mientras el sistema se encuentre con las cuñas desactivadas y después de 5 minutos que han sido desactivadas.

Cumplido el tiempo en que el simulador debe permanecer con las cuñas desactivas, procede a activarlas, interrumpiendo bits de profundidad y estableciendo el nivel de presión a cero. Transcurrido el tiempo de activación de cuñas se repite el proceso sucesivamente hasta alcanzar la profundidad objetivo.

La anterior descripción es una manera general de funcionamiento del sistema, los detalles de configuración y características del sistema se encuentran en el manual de la aplicación.

5. PRUEBAS DEL SISTEMA

Como la finalidad de este sistema es probar el sistema Insite se harán los procedimientos normales con el sistema diseñado en este proyecto y se verificará que los resultados obtenidos son los esperados tomando como base una prueba hecha con los elementos que se utilizan actualmente.

5.1. PRUEBA BÁSICA DEL SISTEMA.

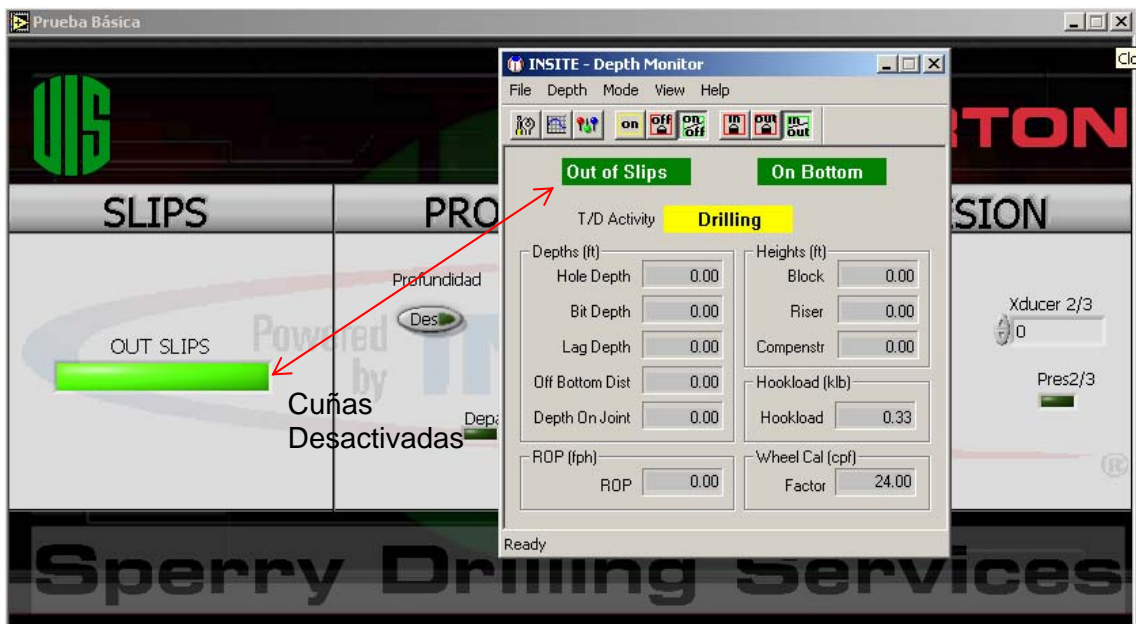
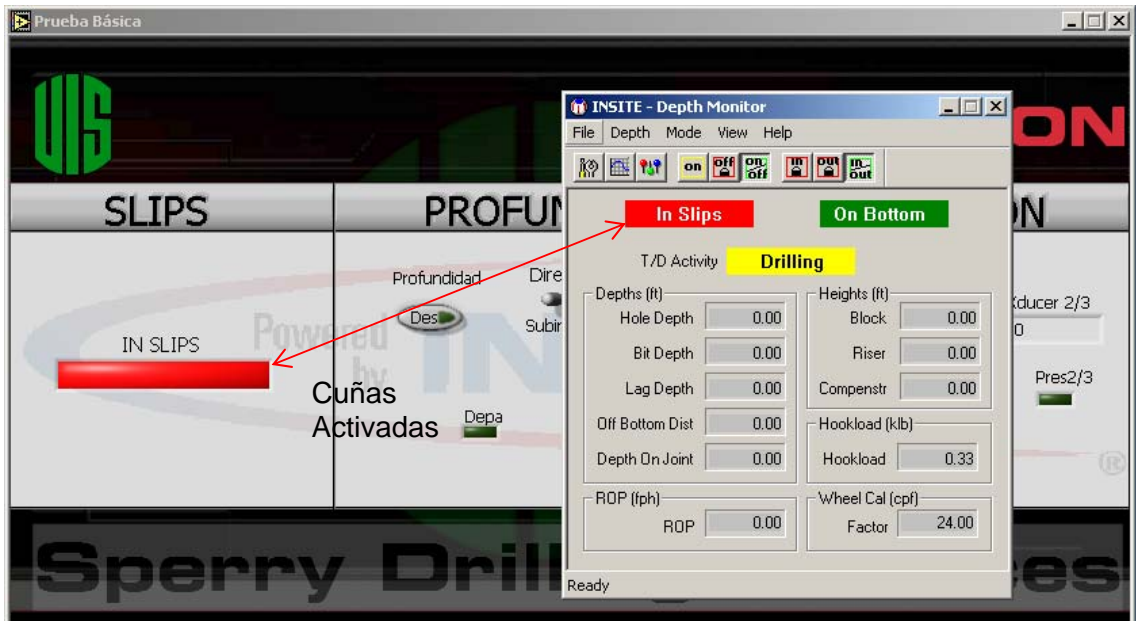
En esta prueba se busca verificar el correcto funcionamiento y registro de los datos que se transmiten por el **transductor** de presión, los bits de profundidad, la activación de las cuñas, el funcionamiento de los puertos seriales del computador así como de los datos al DDU.

5.1.1. Prueba de Cuñas (Slips)

Se comprobará que cuando el sistema diseñado emite las señales para activar y desactivar las cuñas el sistema Insite reacciona adecuadamente.

En la gráfica 44 podemos observar que al activar las cuñas en el sistema diseñado el sistema Insite reacciona adecuadamente a la señal. En pruebas hechas en el laboratorio el sistema se demora 150ns en transmitir la señal y el sistema Insite se demora aproximadamente 2s en activar las cuñas.

Figura 44. Prueba de señales de Cuñas.

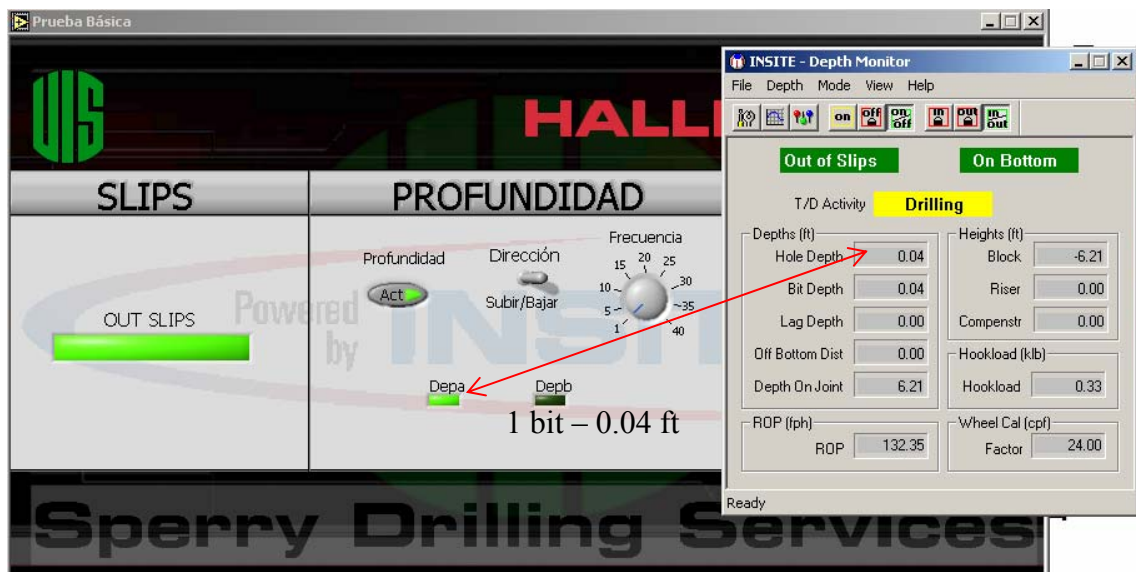


“Autor”

5.1.2. Prueba de señal de profundidad

En esta prueba se tienen que verificar varias cosas. La primera de ellas es que por cada bit que emite el sistema el sistema Insite debe registrar una profundidad de 0.04 ft. Situación que se puede observar en la figura 45.

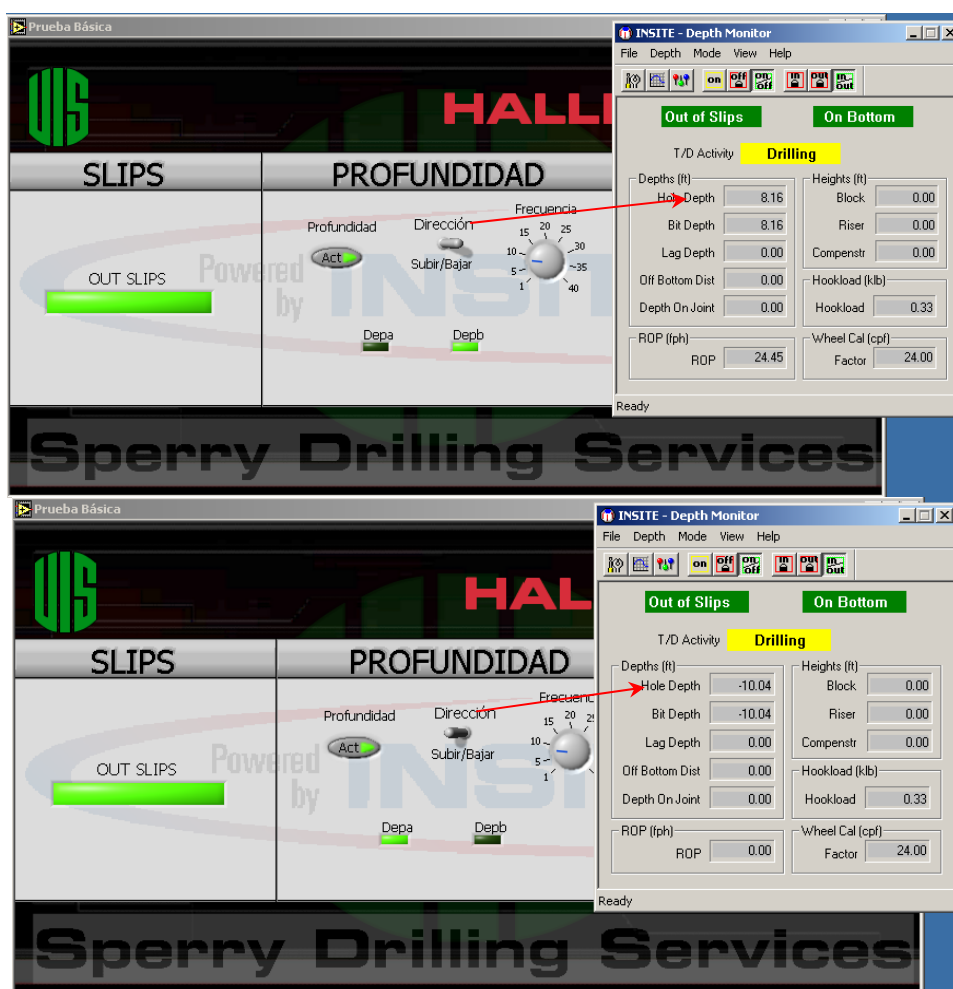
Figura 45. Prueba de señal de profundidad.



"Autor"

Después de verificar la correcta equivalencia de los datos, se probará que la profundidad aumenta o disminuye según la elección en el sistema que se diseñó. Esto se puede observar en la figura 46.

Figura 46. Dirección de la señal de profundidad.



“Autor”

5.1.3. Prueba de presión

Antes de realizar las pruebas con el sistema Insite se debe comprobar que el sistema diseñado emita las señales adecuadas para un correcto patronamiento del sistema Insite. En la tabla 4 se pueden observar los voltajes equivalentes a presión que arroja el sistema diseñado.

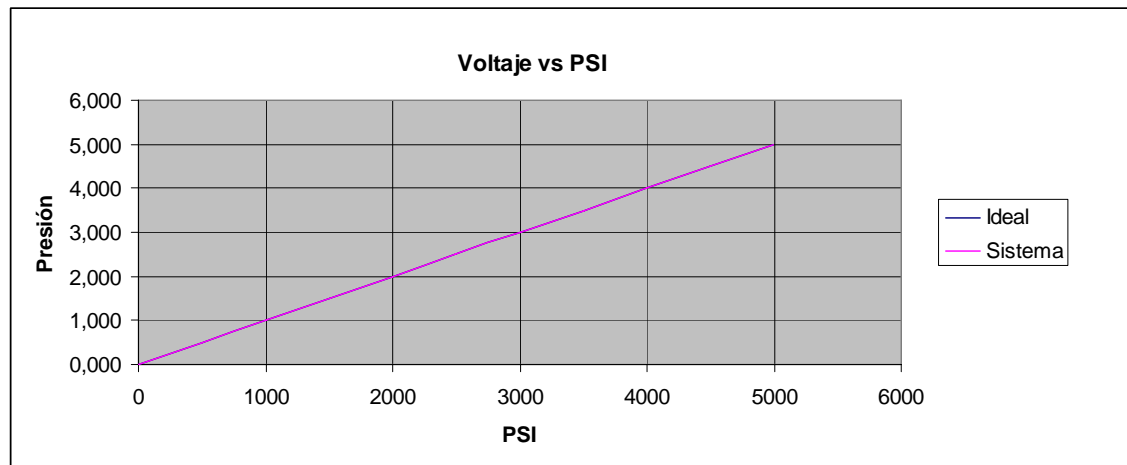
Tabla 4. Presión vs Voltaje.

Presión	Voltaje
0	0.001
500	0.497

1000	0.998
1500	1.499
2000	1.999
2500	2.500
3000	3.001
3500	3.502
4000	4.003
4500	4.504
4999	4.998

“Autor”

Figura 47. Gráfica Voltaje vs PSI.

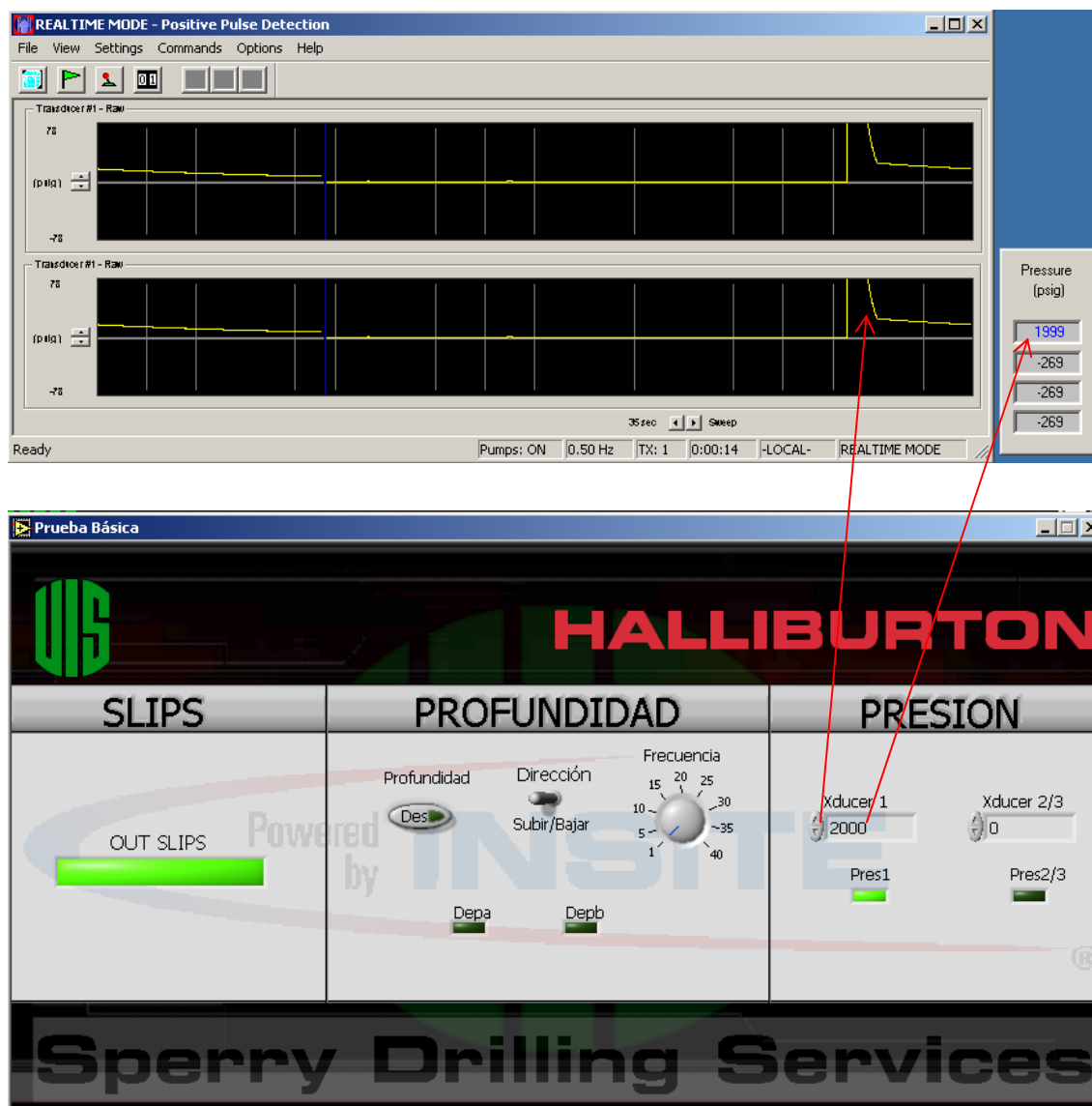


“Autor”

En la figura 47 se puede observar la respuesta del sistema de transmisión de presión contra la respuesta ideal del sistema. Se puede ver un buen comportamiento del sistema diseñado.

Ahora se debe probar el correcto funcionamiento del mismo con el sistema Insite. Para realizar esto se transmite una presión arbitraria al sistema Insite y se comprueba que el sistema registra esta presión. En la figura 48 se puede verificar lo antes mencionado.

Figura 48. Prueba de Presión.



“Autor”

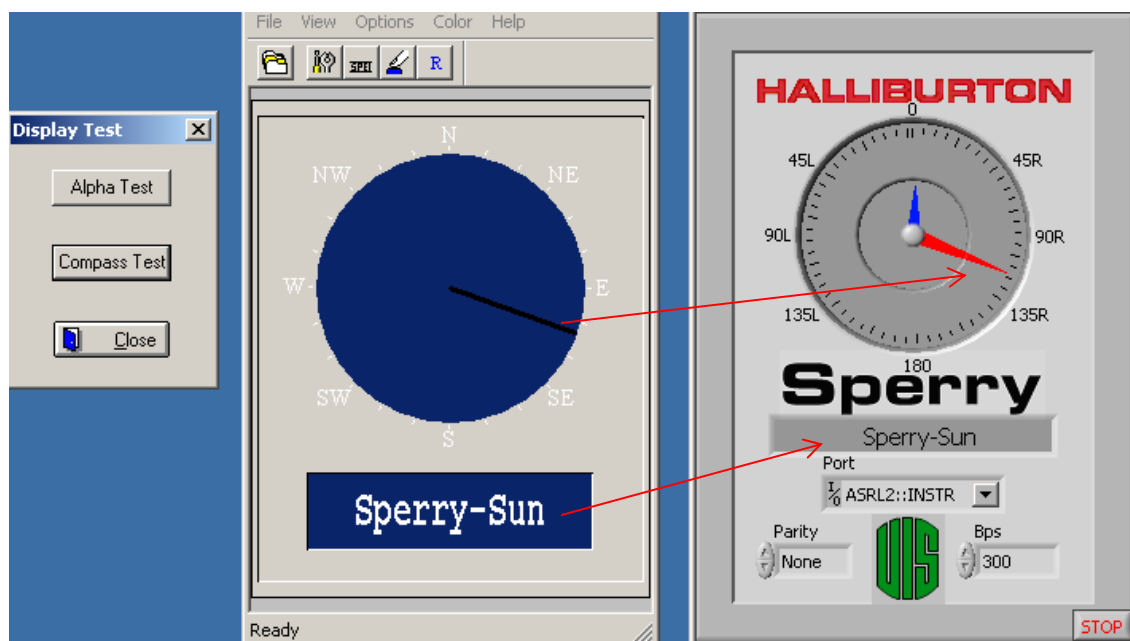
5.1.4. Prueba del DDU.

Como ya se mencionó anteriormente el DDU es una parte fundamental del proceso de perforación direccional. Por tal razón es importante probar el correcto funcionamiento de los puertos seriales que es el puerto por donde se transmiten los datos.

El sistema **Insite** cuenta con dos **test** para probar los dos **display** del DDU. El **compass test** y el **alpha test** que verifican el **display** circular y el **display** alfanumérico correspondientemente.

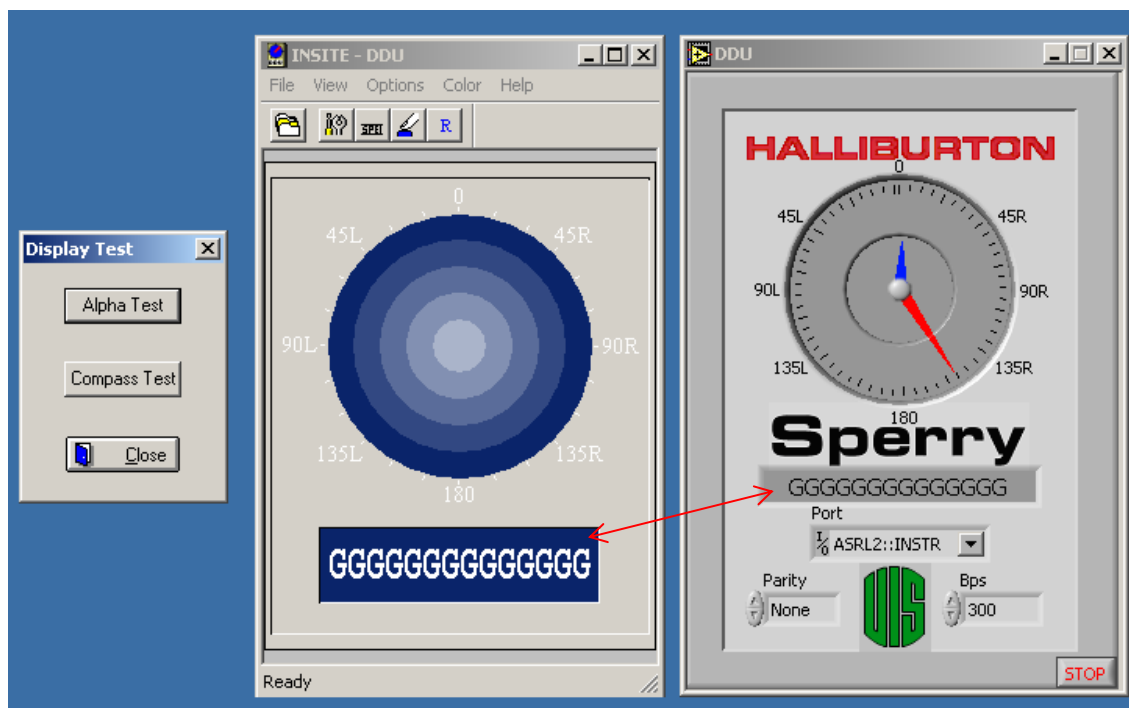
En las figuras 49 y 50 se puede observar el comportamiento del sistema en el desarrollo de estas pruebas.

Figura 49. Prueba de Compass test.



“Autor”

Figura 50. Prueba de Alpha test.



“Autor”

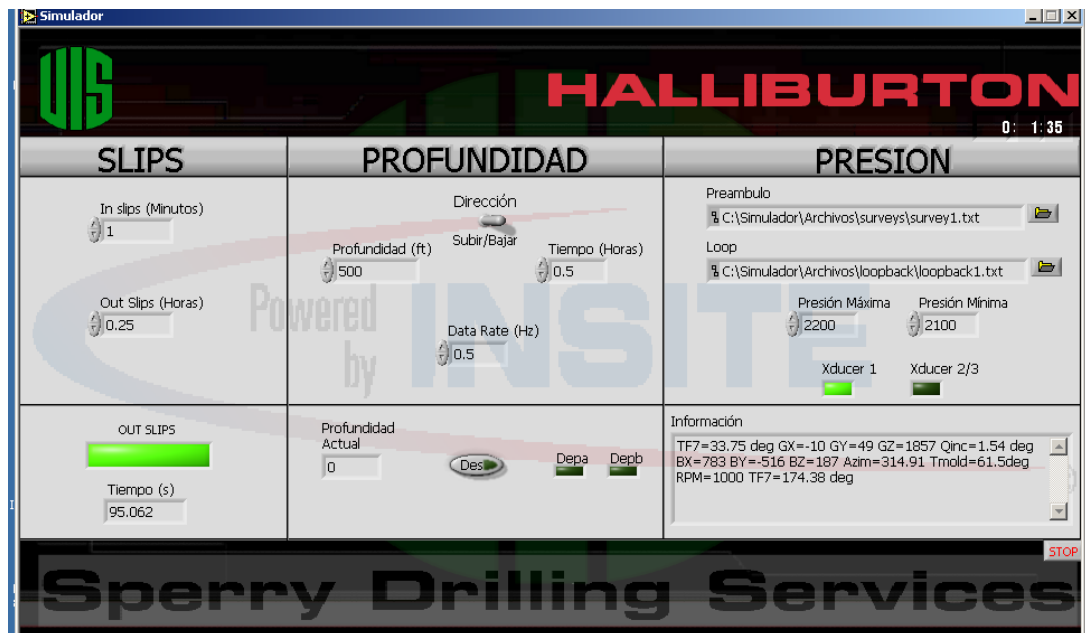
Una vez finalizadas las pruebas se puede concluir que el sistema cumple con un correcto funcionamiento de la prueba básica. Vale la pena hacer notar que estas pruebas fueron realizadas en diferentes Insite obteniéndose resultados satisfactorios.

5.2. PRUEBA DEL SIMULADOR

Lo que se quiere lograr con esta prueba es verificar el funcionamiento del sistema Insite cuando trabaja en conjunto con todos los sensores. Cabe destacar que esta prueba antes del diseño de este sistema no se podía realizar debido a que se realizaba de forma manual.

En esta prueba se verificara que el sistema active las cuñas en el tiempo programado, registre los datos que corresponden al preámbulo y al **loop**, y que la profundidad coincida con la que registra el sistema Insite. Además que la información transmitida por el DDU sea la misma que recibe el sistema.

Figura 51. Configuración del simulador.

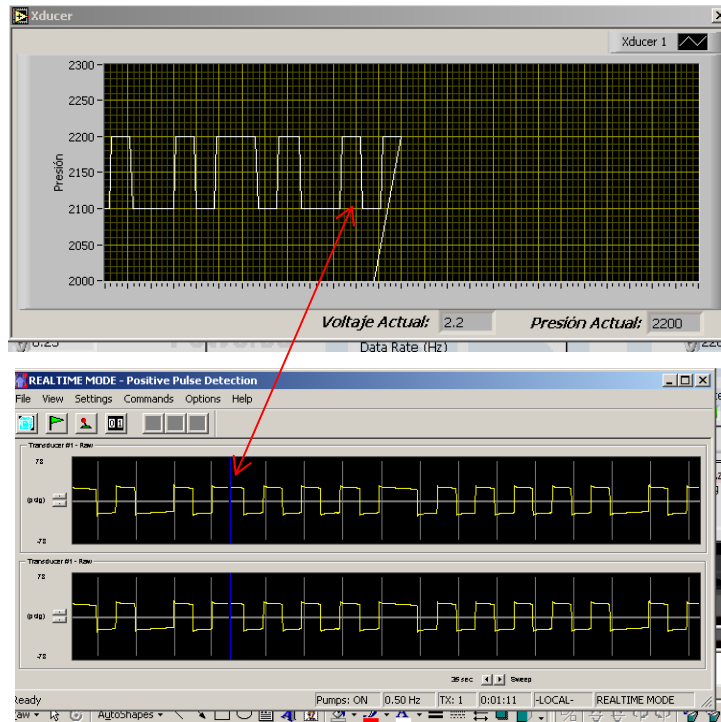


“Autor”

En la figura 51 se puede observar la configuración del simulador. El sistema se mantiene fuera de cuñas 15 minutos y en cuñas 1 minuto. Profundidad objetivo 500ft que debe realizar en media hora. La frecuencia de transmisión de los datos es de 0.5 Hz y son transmitidos con un delta de presión de 100psi por el **transductor 1**.

En la Figura 52 se puede observar la transmisión de los pulsos de presión por la aplicación y su registro en el sistema Insite.

Figura 52. Positive Pulse del Insite y de la aplicación.



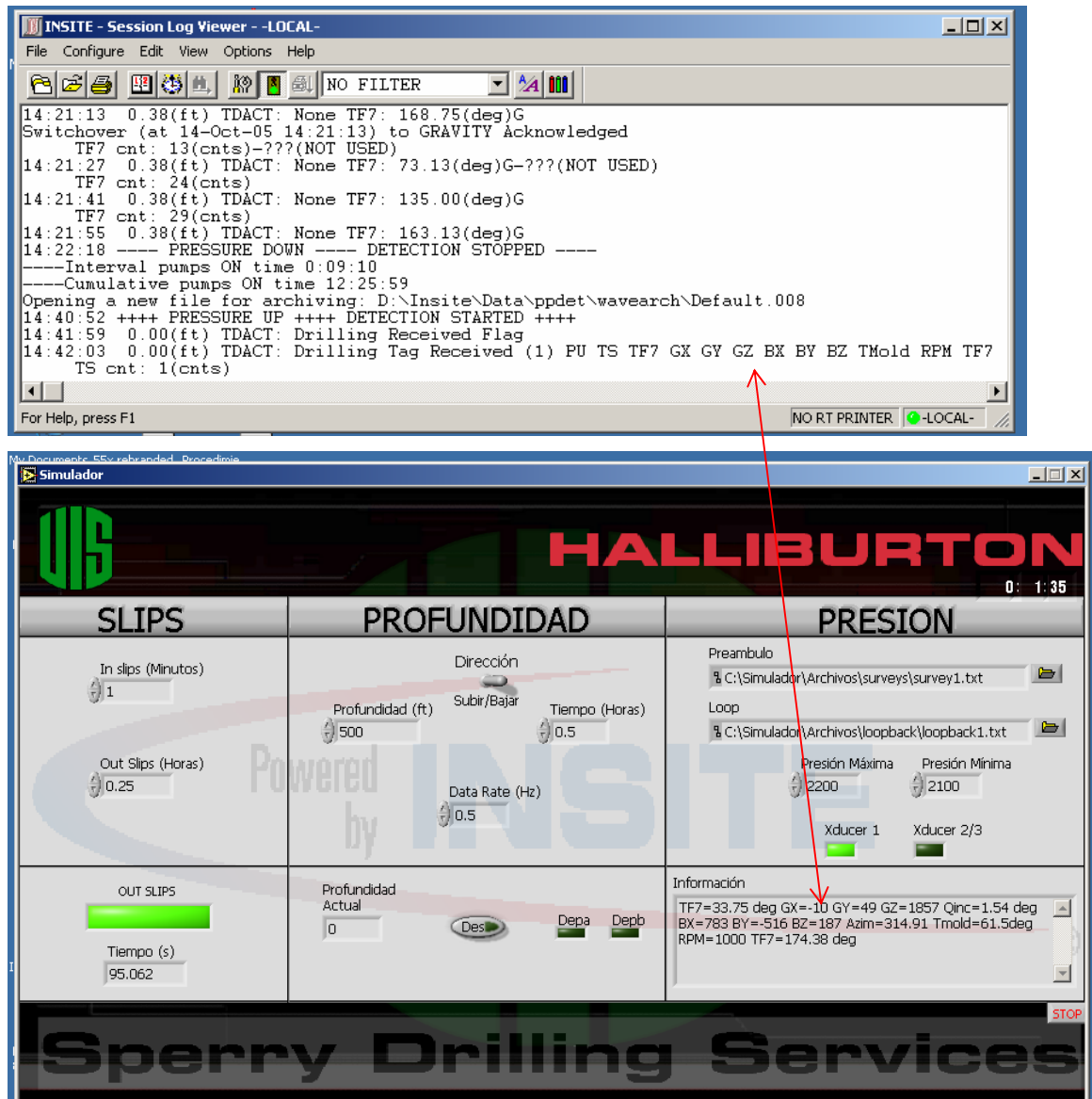
“Autor”

Una vez el simulador ha sido activado, empieza a transmitir pulsos de presión que corresponden a los datos de los sensores. Inicialmente son comunicados los datos del preámbulo. Para que estos datos coincidan debe programarse el sistema Insite con la misma lista que tiene el simulador que en este caso es :

PU TF GX GY GZ BX BY BZ Tmold RPM TF

En la figura 53 se puede observar que las dos listas son iguales en el Insite y en el simulador.

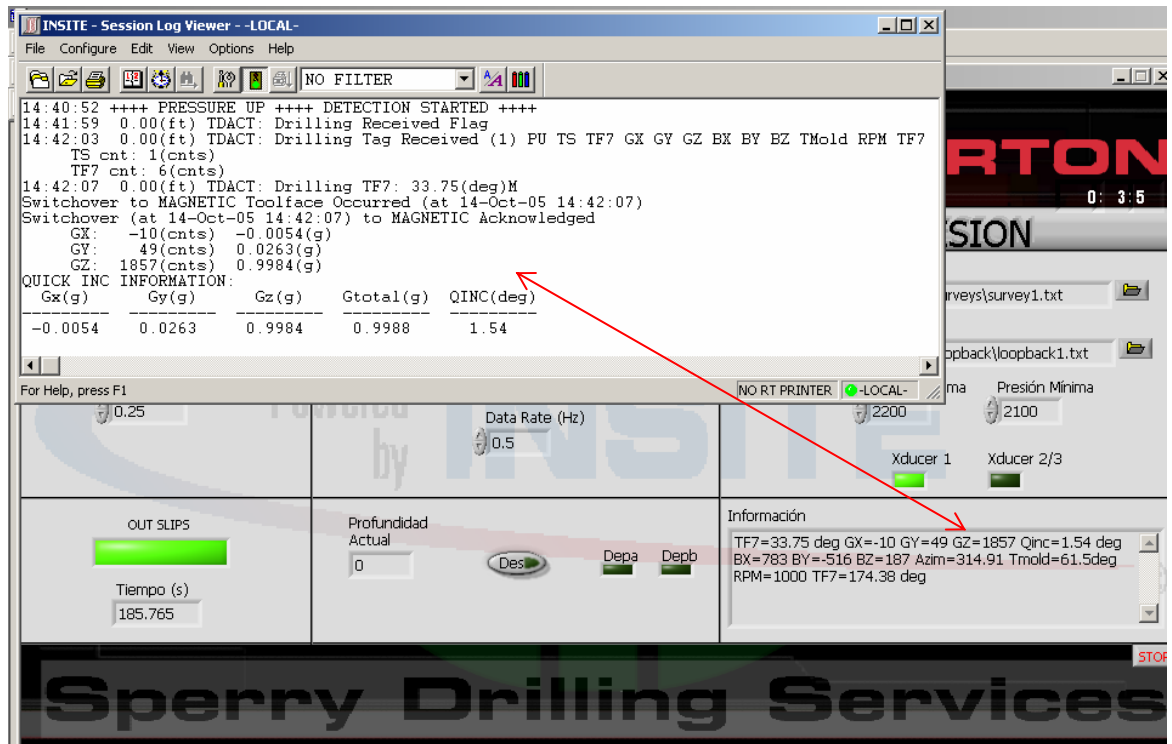
Figura 53. Listas de los sistemas.



“Autor”

Verificadas que las listas de los dos sistemas sean las mismas, los datos transmitidos por la aplicación y los registrados por el sistema Insite deben coincidir. En la figura 54 se puede observar que la aplicación emite información de $G_x=-10$ $G_y=49$ $G_z=1857$, y la inclinación debe ser de 1.54° . Antes de desarrollar el simulador no se tenía certeza de los datos que debía registrar el sistema Insite. Debido a que el sensor con que se hacían estas pruebas no se mantenía en el mismo lugar. Con el simulador se saben que datos se deben registrar en el sistema, siendo una prueba más precisa y fiable.

Figura 54. Verificación de datos transmitidos.

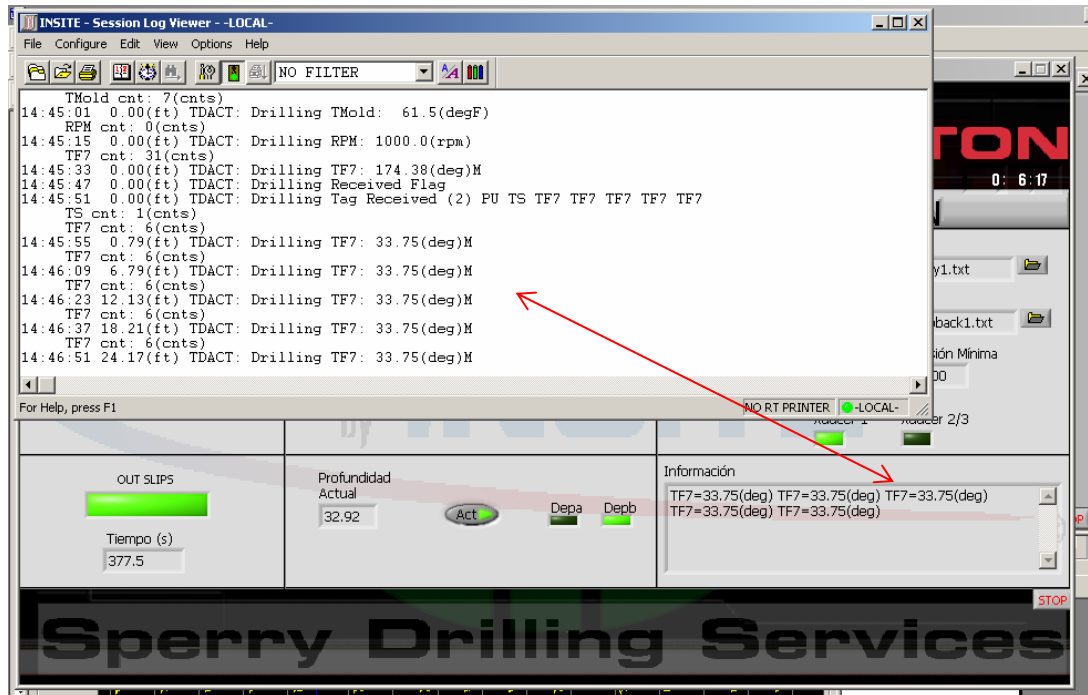


“Autor”

El preámbulo son los datos iniciales de transmisión del sistema, una vez han sido registrados en el sistema Insite la aplicación debe comunicar los datos correspondientes al **loop**. Que son los datos que se transmiten hasta que las cuñas sean activadas, en cuyo caso se transmitirá nuevamente el preámbulo.

En la figura 55 se puede observar el adecuado registro de los datos del **loop** en el sistema Insite.

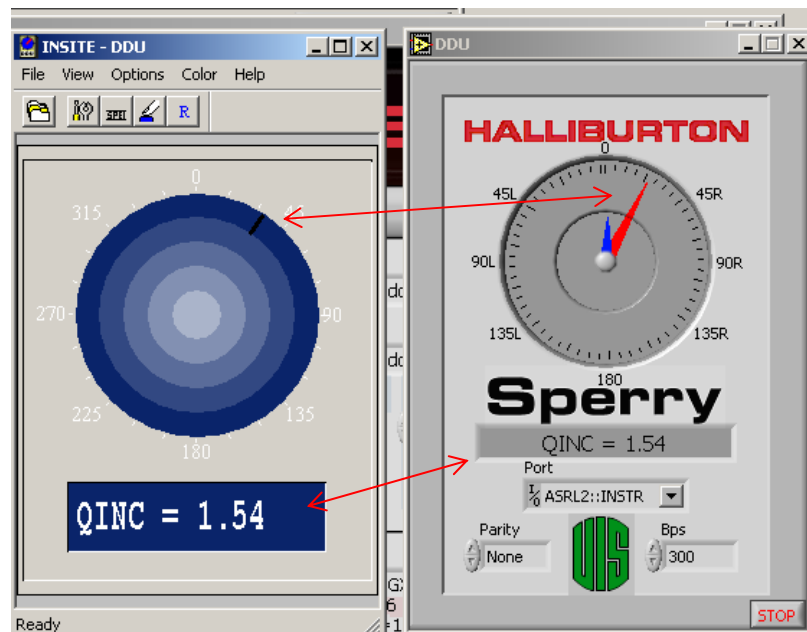
Figura 55. Datos del loop



“Autor”

En este caso la lista que se crea del **loop** debe ser la misma, sino los sistemas no se sincronizan y no se registran datos reales.

Figura 56. DDU.



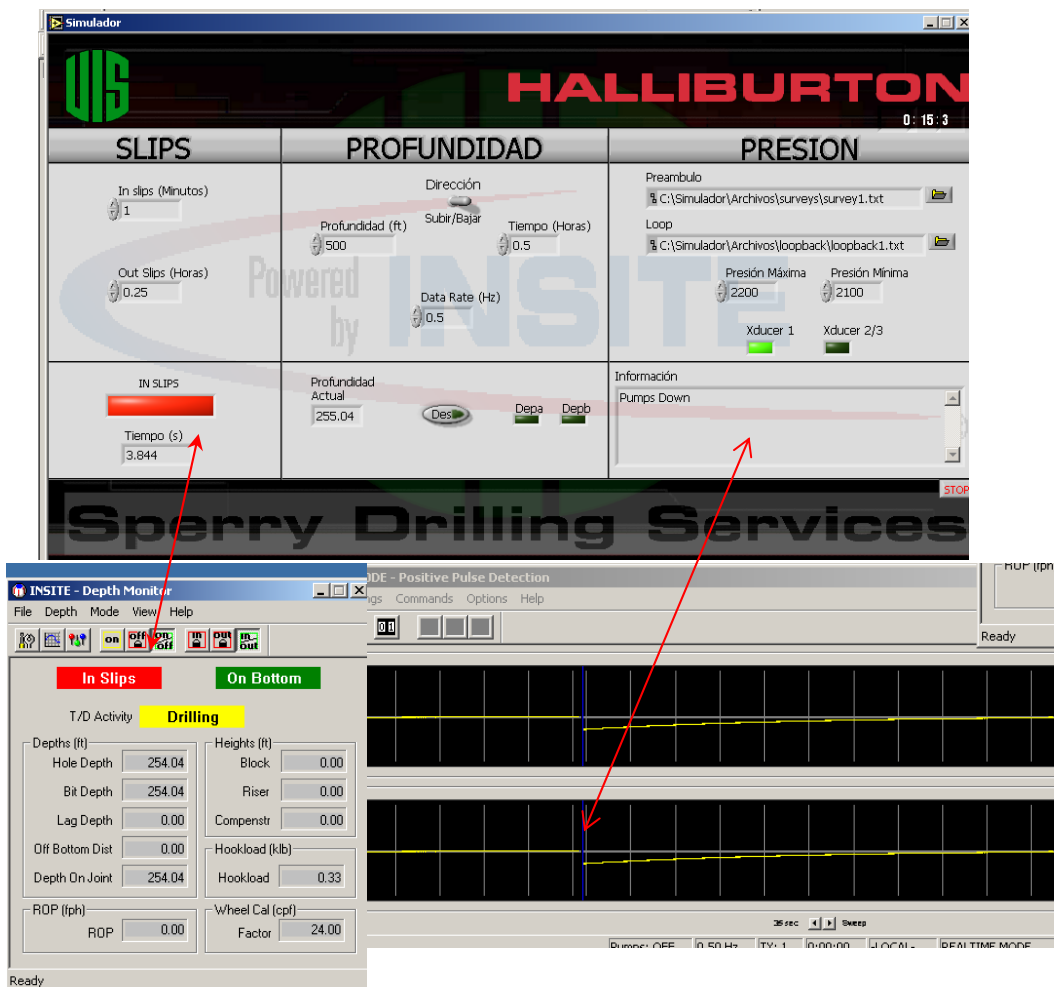
“Autor”

Cada vez que un dato ha sido tomado este debe ser enviado a la mesa del perforador por medio del DDU para que el tome los correctivos necesarios en la perforación del pozo. En la figura 56 se puede observar que los datos enviados por el sistema Insite se pueden observar en el DDU de la aplicación.

Durante la transmisión de presión, la aplicación también emite datos que corresponden a la profundidad. Una vez cumplido el tiempo en que el sistema permanece fuera de cuñas estas son activadas. En este punto la profundidad debe ser la misma en los dos sistemas y la aplicación deja de transmitir pulsos de presión.

Esto se puede observar en la figura 57. El sistema Insite registra 254.04 cumpliendo con la restricción de tener un descuadre de solo 3 ft por cada cien pies registrados, que en este caso es de 1ft por 255ft. Se puede observar la correcta activación de las cuñas como de la interrupción de la señal de presión.

Figura 57. Activación de cuñas.

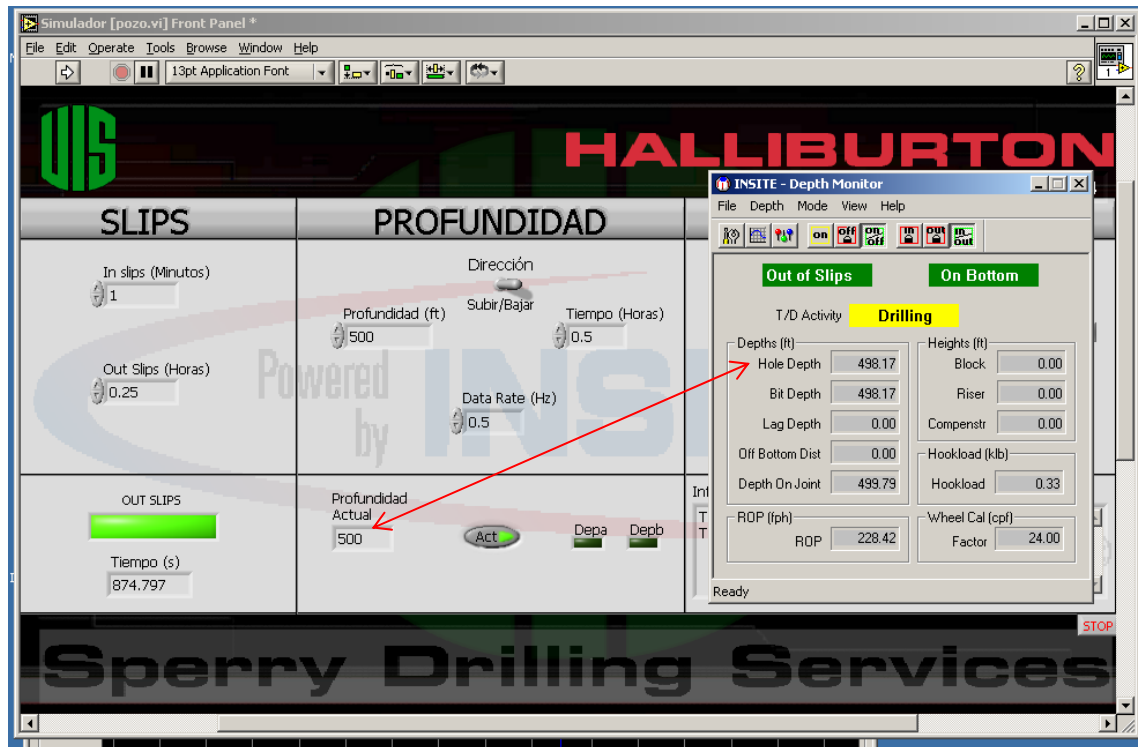


“Autor”

Transcurrido el tiempo de mantener las cuñas activas. El sistema repite el proceso hasta que se alcance la profundidad objetivo en el tiempo especificado.

Para finalizar se observa que la profundidad es la misma en los dos sistemas. Figura 58.

Figura 58. Verificación final.



“Autor”

La profundidad objetivo se fijo en 500ft y la que se alcanzó en el sistema Insite es de 498.17ft descuadrándose en 500ft solo 2ft.

Después de esta prueba el sistema se dejó trabajar por dos días obteniendo resultados satisfactorios y muy similares a los de la prueba descrita en el presente trabajo.

CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

- Se diseñó un sistema portátil que no necesita de alimentación externa ya que esta es suministrada por la tarjeta de adquisición de datos del sistema Insite.
- Se mejoró la precisión en la prueba de los equipos, ahora se tiene una referencia fiable de los valores que debe registrar el sistema.
- Con el diseño de este sistema la empresa puede utilizar las herramientas que se encontraban para uso exclusivo de pruebas en el laboratorio, en el desarrollo de trabajos. Además se ahorran costos en el transporte de los elementos que hacían falta para realizar la prueba en el laboratorio.
- Además de mejorar el proceso de prueba básica, ahora se cuenta con una herramienta para probar mejor los equipos, con el simulador se puede probar el funcionamiento en conjunto de todos los sensores.
- El simulador permite probar el equipo en condiciones similares a las que se encuentran en un pozo, mejorando la calidad de la prueba, además de permitir identificar problemas en los equipos causados por tiempo de funcionamiento.
- La programación de las medidas direccionales se encuentran en archivos tipo texto. Generando la oportunidad de crear nuevos archivos con nuevas medidas, modificando las listas e incluyendo en la prueba nuevos sensores.
- En caso de falla de un equipo en pozo se puede utilizar el dispositivo para identificar si la falla se encuentra en el Insite o en los elementos que le transmiten las señales al sistema Insite.
- Se simplificó el proceso de prueba, ahora solo se requiere conocer el sistema Insite y el modo de funcionamiento del simulador para poder probarlo. Antes se requería conocer el sistema **Barrier Box**, puertos para conectar los sensores, conexión al DDU y el montaje necesario para configurar la probeta que es el

sensor direccional. Ahora solo se requiere conectar un cable de 37 pines y un cable serial para efectuar la prueba.

- Antes las pruebas de los sensores de presión y de cuñas se realizaban creando un corto entre los dos pines para generar un voltaje poniendo en peligro no solo la integridad del sistema sino la de la persona que lo manipula para realizar la prueba, con el desarrollo de este proyecto no solo se mejora el proceso de prueba sino se hace más seguro tanto para los equipos como para las personas que lo efectúan.
- Se estableció un procedimiento a seguir para realizar las pruebas al sistema Insite.
- El diseño final del sistema se desarrollo modularmente es decir, hay dos circuitos independientes para transmitir la presión y uno para transmitir las señales de cuñas y de profundidad. En caso de daño de algún circuito este no afecta la funcionalidad del otro y simplemente se procede a cambiar la tarjeta para corregir el problema.
- Con la simplificación del montaje y automatización de la prueba que se le efectúa al Insite, los tiempos se redujeron. Antes un día era dedicado para hacerle el mantenimiento a un Insite, con el dispositivo se puede realizar en una mañana y solo requiere de la presencia del técnico para hacer las configuraciones iniciales y evaluar los resultados finales.

RECOMENDACIONES

- A partir de este proyecto se podría diseñar un sistema similar para probar el sistema **Barrier Box**.
- Se podría mejorar el diseño del sistema creando indicadores de estado en el hardware.
- Para una correcta inicialización del sistema se debe conectar primero el dispositivo al Insite, luego ejecutar el programa y conectar el dispositivo al puerto paralelo.
- Se debe mantener un backup de ciertos componentes que no se consiguen en Colombia para en caso de una reparación se tengan a la mano. Estos elementos son el conversor AD5551, las fuentes de referencia REF02, AD586 y el amplificador de instrumentación INA326, los demás componentes se pueden conseguir en el mercado nacional.

BIBLIOGRAFÍA

ANALOG DEVICES. Analog-Digital Conversión, Book 2004

ANALOG DEVICES. Practical Design Techniques for Sensor Signal Conditioning. U.S.A. 1999. www.analog.com

ANALOG DEVICES. Practical Analog Design Techniques. U.S.A 1997. www.analog.com

D.E.P. CALIBRATION, Sperry Training Department, 1996

D.E.P. Q.A. TEST, Sperry Training Department, 1996

INSITE™ Technical Information Booklet, Sperry Training Department, 2004

KITCHIN, CHARLES Y COUNTS, LEW. A designer's guide to instrumentation Amplifiers. Analog Devices. U.S.A. 2000. 66p.

MSC MWD Surface Computer Operations Manual, Sperry Training Department, 1995

MWD 650 System Downhole Hardware Manual, Sperry Training Department, 1995

NATIONAL SEMICONDUCTORS. National Analog and Interface Products. Databook. U.S.A 2002. 1870p

PCD & PCDR CALIBRATION, Sperry Training Department, 2000

PCD & PCDR QA TEST, Sperry Training Department, 1996

Procedure for Partial Incoming Tests, Sperry Training Department, 1998

Supported Operating Systems for INSITE™, Sperry Training Department, 2003

TEXAS INSTRUMENTS. Understanding Data Converters. Application Report. 1995. www.ti.com

TEXAS INSTRUMENTS. Amplifiers and Bits: An Introduction to Selecting Amplifiers for Data Converters. Application Report. 2001. www.ti.com

TEXAS INSTRUMENTS. Principles of Data Acquisition and Conversion. Application Bulletin . 1994

TEXAS INSTRUMENTS, Selecting an A/D Converter. Application Bulletin. 1995

ANEXOS

ANEXO A. HOJAS DE DATOS.

En este anexo se presentan las principales especificaciones de los circuitos integrados utilizados en la implementación del sistema de prueba del sistema Insite.

A.1. CONVERTOR DIGITAL/ANÁLOGO DAC5551



5 V, Serial-Input Voltage-Output, 14-Bit DACs

AD5551/AD5552

FEATURES

- Full 14-Bit Performance
- 5 V Single Supply Operation
- Low Power
- Fast Settling Time
- Unbuffered Voltage Output Capable of Driving 60 k Ω Loads Directly
- SPI™/QSPI™/MICROWIRE™-Compatible Interface

Standards

- Power-On Reset Clears DAC Output to 0 V (Unipolar Mode)
- Schmitt Trigger Inputs for Direct Optocoupler Interface

APPLICATIONS

- Digital Gain and Offset Adjustment
- Automatic Test Equipment
- Data Acquisition Systems
- Industrial Process Control

GENERAL DESCRIPTION

The AD5551 and AD5552 are single, 14-bit, serial input, voltage output DACs that operate from a single 5 V \pm 10% supply.

The AD5551 and AD5552 utilize a versatile 3-wire interface that is compatible with SPI, QSPI, MICROWIRE, and DSP interface standards.

These DACs provide 14-bit performance without any adjustments. The DAC output is unbuffered, which reduces power consumption and offset errors contributed by an output buffer.

With an external op amp the AD5552 can be operated in bipolar mode generating a $\pm V_{REF}$ output swing. The AD5552 also includes Kelvin sense connections for the reference and analog ground pins to reduce layout sensitivity. For higher precision applications, please refer to 16-bit DACs AD5541, AD5542, and AD5544.

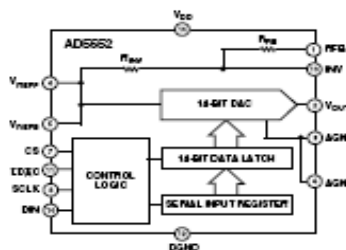
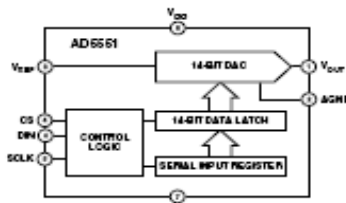
The AD5551 and AD5552 are available in an SO package.

SPI and QSPI are trademarks of Motorola, Inc.
MICROWIRE is a trademark of National Semiconductor Corporation.

REV. 0

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAMS



PRODUCT HIGHLIGHTS

1. Single Supply Operation.
The AD5551 and AD5552 are fully specified and guaranteed for a single 5 V \pm 10% supply.
2. Low Power Consumption.
Typically 1.5 mW with a 5 V supply.
3. 3-Wire Serial Interface.
4. Unbuffered output capable of driving 60 k Ω loads, which reduces power consumption as there is no internal buffer to drive.
5. Power-On Reset Circuitry.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-0106, U.S.A.
Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>
Fax: 781/326-8708 © Analog Devices, Inc., 2000

AD5551/AD5552—SPECIFICATIONS ($V_{DD} = 5\text{ V} \pm 10\%$, $V_{REF} = 2.5\text{ V}$, $AGND = DGND = 0\text{ V}$. All specifications $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , unless otherwise noted.)

Parameter	Min	Typ	Max	Unit	Test Condition
STATIC PERFORMANCE					
Resolution	14			Bits	
Relative Accuracy, INL		± 0.15	± 1.0	LSB	B Grade
Differential Nonlinearity		± 0.15	± 0.8	LSB	Guaranteed Monotonic
Gain Error	-1.75	-0.3	0	LSB	
Gain Error Temperature Coefficient		± 0.1		ppm/°C	
Zero Code Error	0	0.1	0.5	LSB	
Zero Code Temperature Coefficient		± 0.05		ppm/°C	
AD5552					
Bipolar Resistor Matching		1.000		Ω/Ω	R_{25}/R_{25V} , Typically $R_{25} = R_{25V} = 28\text{ k}\Omega$
		± 0.0015	± 0.0152	%	Ratio Error
Bipolar Zero Offset Error		± 0.25	± 2.5	LSB	
Bipolar Zero Temperature Coefficient		± 0.2		ppm/°C	
OUTPUT CHARACTERISTICS					
Output Voltage Range	0 $-V_{REF}$		$V_{REF} - 1\text{ LSB}$ $V_{REF} - 1\text{ LSB}$	V V	Unipolar Operation AD5552 Bipolar Operation
Output Voltage Settling Time		1		μs	to 1/2 LSB of FS, $C_L = 10\text{ pF}$
Slew Rate		25		V/ μs	$C_L = 10\text{ pF}$, Measured from 0% to 63%
Digital-to-Analog Glitch Impulse		10		nV-s	1 LSB Change Around the Major Carry
Digital Feedthrough		10		nV-s	All 1s Loaded to DAC, $V_{REF} = 2.5\text{ V}$
DAC Output Impedance		6.25		k Ω	Tolerance Typically 20%
Power Supply Rejection Ratio			± 1.0	LSB	$\Delta V_{DD} \pm 10\%$
DAC REFERENCE INPUT					
Reference Input Range	2.0		V_{DD}	V	Unipolar Operation
Reference Input Resistance ²	9 7.5			k Ω k Ω	AD5552, Bipolar Operation
LOGIC INPUTS					
Input Current			± 1	μA	
V_{IL} , Input Low Voltage			0.8	V	
V_{IH} , Input High Voltage	2.4			V	
Input Capacitance ³			10	pF	
Hysteresis Voltage ³		0.4		V	
REFERENCE					
Reference -3 dB Bandwidth		1.3		MHz	All 1s Loaded
Reference Feedthrough		1		mV p-p	All 0s Loaded, $V_{REF} = 1\text{ V p-p}$ at 100 kHz
Signal-to-Noise Ratio		92		dB	
Reference Input Capacitance		75		pF	Code 0000 ₁₆
		120		pF	Code 3FFF ₁₆
POWER REQUIREMENTS					
V_{DD}	4.50		5.50	V	
I_{DD}		0.3	1.1	mA	
Power Dissipation		1.5	6.05	mW	

NOTES

¹ Temperature range is as follows: B Version: -40°C to $+85^\circ\text{C}$.

² Reference input resistance is code-dependent, minimum at 255₁₀.

³ Guaranteed by design, not subject to production test.

Specifications subject to change without notice.

A.2. FUENTE DE REFERENCIA DE ALTA PRECISIÓN. AD586



High Precision
5 V Reference

AD586

FEATURES

- Laser trimmed to high accuracy
5.000 V \pm 2.0 mV (M grade)
- Trimmed temperature coefficient
2 ppm/ $^{\circ}$ C max, 0 $^{\circ}$ C to 70 $^{\circ}$ C (M grade)
5 ppm/ $^{\circ}$ C max, -40 $^{\circ}$ C to +85 $^{\circ}$ C (B and L grades)
10 ppm/ $^{\circ}$ C max, -55 $^{\circ}$ C to +125 $^{\circ}$ C (T grade)
- Low noise, 100 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
- Noise reduction capability
- Output trim capability
- MIL-STD-883-compliant versions available
- Industrial temperature range SOICs available
- Output capable of sourcing or sinking 10 mA

GENERAL DESCRIPTION

The AD586 represents a major advance in state-of-the-art monolithic voltage references. Using a proprietary ion-implanted buried Zener diode and laser wafer trimming of high stability thin-film resistors, the AD586 provides outstanding performance at low cost.

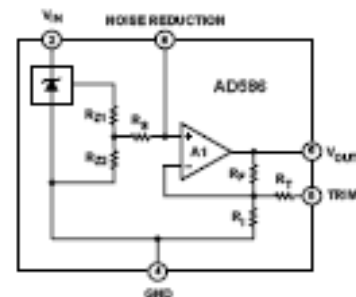
The AD586 offers much higher performance than most other 5 V references. Because the AD586 uses an industry-standard pinout, many systems can be upgraded instantly with the AD586.

The buried Zener approach to reference design provides lower noise and drift than band gap voltage references. The AD586 offers a noise reduction pin that can be used to further reduce the noise level generated by the buried Zener.

The AD586 is recommended for use as a reference for 8-, 10-, 12-, 14-, or 16-bit DACs that require an external precision reference. The device is also ideal for successive approximation or integrating ADCs with up to 14 bits of accuracy and, in general, can offer better performance than the standard on-chip references.

The AD586J, AD586K, AD586L, and AD586M are specified for operation from 0 $^{\circ}$ C to 70 $^{\circ}$ C; the AD586A and AD586B are specified for -40 $^{\circ}$ C to +85 $^{\circ}$ C operation; and the AD586S and AD586T are specified for -55 $^{\circ}$ C to +125 $^{\circ}$ C operation.

The AD586J, AD586K, AD586L, and AD586M are available in an 8-lead PDIP; the AD586J, AD586K, AD586L, AD586A, and AD586B are available in an 8-lead SOIC package; and the AD586J, AD586K, AD586L, AD586S, and AD586T are available in an 8-lead CERDIP package.



NOTES
1. PINS 1, 3, AND 7 ARE INTERNAL TEST POINTS.
MAKE NO CONNECTIONS TO THESE POINTS.

Figure 1.

PRODUCT HIGHLIGHTS

1. Laser trimming of both initial accuracy and temperature coefficients results in very low errors over temperature without the use of external components. The AD586M has a maximum deviation from 5.000 V of \pm 2.45 mV between 0 $^{\circ}$ C and 70 $^{\circ}$ C, and the AD586T guarantees \pm 7.5 mV maximum total error between -55 $^{\circ}$ C and +125 $^{\circ}$ C.
2. For applications requiring higher precision, an optional fine-trim connection is provided.
3. Any system using an industry-standard pinout reference can be upgraded instantly with the AD586.
4. Output noise of the AD586 is very low, typically 4 μ V p-p. A noise reduction pin is provided for additional noise filtering using an external capacitor.
5. The AD586 is available in versions compliant with MIL-STD-883. Refer to the Analog Devices Military Products Databook or the current AD586/883B data sheet for detailed specifications.

Rev. G

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com
Fax: 781.461.3113 © 2005 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

SPECIFICATIONS

AD586J, AD586K/AD586A, AD586L/AD586B

@ $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{in} = 15\text{ V}$, unless otherwise noted. Specifications in boldface are tested on all production units at final electrical test. Results from those tests are used to calculate outgoing quality levels. All minimum and maximum specifications are guaranteed, although only those shown in boldface are tested on all production units, unless otherwise specified.

Table 1.

Parameter	AD586J			AD586K/AD586A			AD586L/AD586B			Unit
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
OUTPUT VOLTAGE	4.980		5.020	4.995		5.005	4.9975		5.0025	V
OUTPUT VOLTAGE DRIFT ¹										
0°C to 70°C			25			15			5	ppm/ $^\circ\text{C}$
-55°C to $+125^\circ\text{C}$										ppm/ $^\circ\text{C}$
GAIN ADJUSTMENT	+6			+6			+6			%
	-2			-2			-2			%
LINE REGULATION ²										
$10.8\text{ V} < +V_{in} < 36\text{ V}$										
T_{in} to T_{out}			± 100			± 100			± 100	$\mu\text{V/V}$
$11.4\text{ V} < +V_{in} < 36\text{ V}$										
T_{in} to T_{out}										$\mu\text{V/V}$
LOAD REGULATION ²										
Sourcing $0\text{ mA} < I_{out} < 10\text{ mA}$										
25°C			100			100			100	$\mu\text{V}/\text{mA}$
T_{in} to T_{out}			100			100			100	$\mu\text{V}/\text{mA}$
Sinking $-10\text{ mA} < I_{out} < 0\text{ mA}$										
25°C			400			400			400	$\mu\text{V}/\text{mA}$
QUIESCENT CURRENT	2		3	2		3	2		3	mA
POWER CONSUMPTION	30			30			30			mW
OUTPUT NOISE										
0.1 Hz to 10 Hz	4			4			4			μV p-p
Spectral Density, 100 Hz	100			100			100			nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
LONG-TERM STABILITY	15			15			15			ppm/1000 hr
SHORT-CIRCUIT CURRENT-TO-GROUND	45		60	45		60	45		60	mA
TEMPERATURE RANGE										
Specified Performance ³	0		70	0	(K grade)	70	0	(L grade)	70	$^\circ\text{C}$
				-40	(A grade)	+85	-40	(B grade)	+85	$^\circ\text{C}$
Operating Performance ³	-40		+85	-40		+85	-40		+85	$^\circ\text{C}$

¹ Maximum output voltage drift is guaranteed for all packages and grades. CERDIP packaged parts are also 100°C production tested.

² Lower row shows specified performance for A and B grade.

³ The operating temperature range is defined as the temperature extremes at which the device will still function. Parts may deviate from their specified performance outside their specified temperature range.

A.3. INVERTOR. SN74ALS04

SN54ALS04B, SN54AS04, SN74ALS04B, SN74AS04 HEX INVERTERS

SDAS003B - APRIL 1982 - REVISED DECEMBER 1984

- Package Options Include Plastic Small-Outline (D) Packages, Ceramic Chip Carriers (FK), and Standard Plastic (N) and Ceramic (J) 300-mil DIPs

description

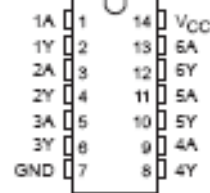
These devices contain six independent hex inverters. They perform the Boolean function $Y = \bar{A}$.

The SN54ALS04B and SN54AS04 are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C . The SN74ALS04B and SN74AS04 are characterized for operation from 0°C to 70°C .

FUNCTION TABLE
(each inverter)

INPUT A	OUTPUT Y
H	L
L	H

SN54ALS04B, SN54AS04 ... J PACKAGE
SN74ALS04B, SN74AS04 ... D OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



SN54ALS04B, SN54AS04 ... FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC - No internal connection

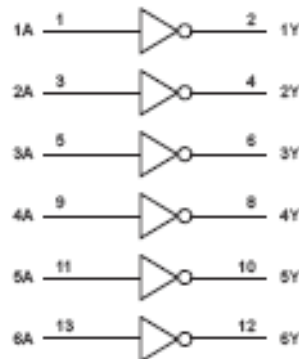
logic symbol†



† This symbol is in accordance with ANS/MIEEE Std 91-1984 and IEC Publication 617-12.

Pin numbers shown are for the D, J, and N packages.

logic diagram (positive logic)



PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production packaging does not necessarily include testing at 100% per lot.

 **TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655363 • DALLAS, TEXAS 75266

Copyright © 1984, Texas Instruments Incorporated

1

SN54ALS04B, SN54AS04, SN74ALS04B, SN74AS04 HEX INVERTERS

SD4S003B - APRIL 1982 - REVISED DECEMBER 1994

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)[†]

Supply voltage, V_{CC}	7 V
Input voltage, V_I	7 V
Operating free-air temperature range, T_A : SN54ALS04B	-55°C to 125°C
SN74ALS04B	0°C to 70°C
Storage temperature range	-65°C to 150°C

[†] Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

recommended operating conditions

		SN54ALS04B			SN74ALS04B			UNIT
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
V_{CC}	Supply voltage	4.5	5	5.5	4.5	5	5.5	V
V_{IH}	High-level input voltage	2			2			V
V_{IL}	Low-level input voltage	0.8 [‡]			0.8			V
		0.7 [§]						
I_{OH}	High-level output current	-0.4			-0.4			mA
I_{OL}	Low-level output current	4			8			mA
T_A	Operating free-air temperature	-55			125			°C

[‡] Applies over -55°C to 70°C temperature range

[§] Applies over 70°C to 125°C temperature range

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	SN54ALS04B		SN74ALS04B		UNIT
		MIN	TYP [†]	MAX	MIN	
V_{IK}	$V_{CC} = 4.5\text{ V}$, $I_I = -18\text{ mA}$			-1.2		V
V_{OH}	$V_{CC} = 4.5\text{ V to }5.5\text{ V}$, $I_{OH} = -0.4\text{ mA}$	$V_{CC} - 2$		$V_{CC} - 2$		V
V_{OL}	$V_{CC} = 4.5\text{ V}$	$I_{OL} = 4\text{ mA}$		0.25		V
		$I_{OL} = 8\text{ mA}$		0.35		
I_I	$V_{CC} = 5.5\text{ V}$, $V_I = 7\text{ V}$			0.1		mA
I_{IH}	$V_{CC} = 5.5\text{ V}$, $V_I = 2.7\text{ V}$			20		µA
I_{IL}	$V_{CC} = 5.5\text{ V}$, $V_I = 0.4\text{ V}$			-0.1		mA
$I_{O}^{\#}$	$V_{CC} = 5.5\text{ V}$, $V_O = 2.25\text{ V}$	-20	-112	-20	-112	mA
I_{OCH}	$V_{CC} = 5.5\text{ V}$, $V_I = 0$	0.65	1.1	0.65	1.1	mA
I_{OCL}	$V_{CC} = 5.5\text{ V}$, $V_I = 4.5\text{ V}$	2.9	4.4	2.9	4.2	mA

[†] All typical values are at $V_{CC} = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$.

[#] The output conditions have been chosen to produce a current that closely approximates one half of the true short-circuit output current, I_{OS} .

A.4. VOLTAJE DE REFERENCIA. REF02



REF02



SEV5003B – JANUARY 1993 – REVISED JANUARY 2005

+5V Precision VOLTAGE REFERENCE

FEATURES

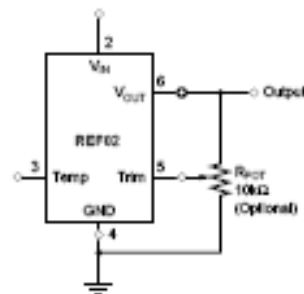
- OUTPUT VOLTAGE: +5V \pm 0.2% max
- EXCELLENT TEMPERATURE STABILITY: 10ppm/ $^{\circ}$ C max (-40° C to $+85^{\circ}$ C)
- LOW NOISE: 10 μ V_{pp} max (0.1Hz to 10Hz)
- EXCELLENT LINE REGULATION: 0.01%/V max
- EXCELLENT LOAD REGULATION: 0.008%/mA max
- LOW SUPPLY CURRENT: 1.4mA max
- SHORT-CIRCUIT PROTECTED
- WIDE SUPPLY RANGE: 8V to 40V
- INDUSTRIAL TEMPERATURE RANGE: -40° C to $+85^{\circ}$ C
- PACKAGE OPTIONS: DIP-8, SO-8

APPLICATIONS

- PRECISION REGULATORS
- CONSTANT CURRENT SOURCE/SINK
- DIGITAL VOLTMETERS
- V/I CONVERTERS
- A/D AND D/A CONVERTERS
- PRECISION CALIBRATION STANDARD
- TEST EQUIPMENT

DESCRIPTION

The REF02 is a precision 5V voltage reference. The drift is laser trimmed to 10ppm/ $^{\circ}$ C max over the extended industrial and military temperature range. The REF02 provides a stable 5V output that can be externally adjusted over a \pm 6% range with minimal effect on temperature stability. The REF02 operates from a single supply with an input range of 8V to 40V with a very low current drain of 1mA, and excellent temperature stability due to an improved design. Excellent line and load regulation, low noise, low power, and low cost make the REF02 the best choice whenever a 5V voltage reference is required. Available package options are DIP-8 and SO-8. The REF02 is an ideal choice for portable instrumentation, temperature transducers, Analog-to-Digital (A/D) and Digital-to-Analog (D/A) converters, and digital voltmeters.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

All trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



Copyright © 1993–2005, Texas Instruments Incorporated

SPECIFICATIONS

ELECTRICAL

At $T_A = +25^\circ\text{C}$ and $V_{IN} = +15\text{V}$ power supply, unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	REF02A			REF02B			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
OUTPUT VOLTAGE Change with Temperature ⁽¹⁾ (ΔV_{OUT}) -40°C to +85°C	$I_{LOAD} = 0\text{mA}$	4.985	5.0	5.015	4.990	*	5.010	V
			0.05	0.19		0.05	0.13	%
OUTPUT VOLTAGE DRIFT ⁽²⁾ -40°C to +85°C (TCV _O)			4	15		4	10	ppm/°C
LONG-TERM STABILITY First 1000h Second 1000h	2000h Test		100 50			100 50		ppm ppm
OUTPUT ADJUSTMENT RANGE	$R_{POT} = 10\text{k}\Omega$ ⁽³⁾	±3	±6		*	*		%
CHANGE IN V_O TEMP COEFFICIENT WITH OUTPUT ADJUSTMENT (-55°C to +125°C)	$R_{POT} = 10\text{k}\Omega$		0.7			*		ppm/%
OUTPUT VOLTAGE NOISE	0.1Hz to 10Hz ⁽⁴⁾		4	10		*	*	µV _{rms}
LINE REGULATION ⁽⁵⁾ -40°C to +85°C	$V_{IN} = 5\text{V to }33\text{V}$ $V_{REF} = 8.5\text{V to }33\text{V}$		0.006 0.008	0.010 0.012		*	*	%/V
LOAD REGULATION ⁽⁶⁾ -40°C to +85°C	$I_L = 0\text{mA to }+10\text{mA}$ $I_L = 0\text{mA to }+10\text{mA}$		0.005 0.007	0.010 0.012		*	0.005 0.010	%/mA
TURN-ON SETTLING TIME	To ±0.1% of Final Value		5			*		µs
QUIESCENT CURRENT	No Load		1.0	1.4		*	*	mA
LOAD CURRENT (SOURCE)		10	21		*	*		mA
LOAD CURRENT (SINK)		-0.3	-0.5		*	*		mA
SHORT-CIRCUIT CURRENT	$V_{OUT} = 0$		30			*		mA
POWER DISSIPATION	No Load		15	21		*	*	mW
TEMPERATURE VOLTAGE OUTPUT ⁽⁷⁾			630			*		mV
TEMPERATURE COEFFICIENT of Temperature Pin Voltage -55°C to +125°C			2.1					mV/°C
TEMPERATURE RANGE Specification REF02A, B, C		-40		+85	*		*	°C

NOTES: (1) ΔV_{OUT} is defined as the absolute difference between the maximum output and the minimum output over the specified temperature range expressed as a percentage of 5V:

$$\Delta V_O = \left| \frac{V_{MAX} - V_{MIN}}{5V} \right| \times 100$$

(2) ΔV_{OUT} specification applies trimmed to +5.000V or untrimmed.

(3) TCV_O is defined as ΔV_{OUT} divided by the temperature range.

(4) Line and load regulation specifications include the effect of self heating.

(5) Sample tested.

(6) 10k Ω potentiometer connected between V_{OUT} and ground with wiper connected to Trim pin. See figure on page 1.

(7) Pin 3 is insensitive to capacitive loading. The temperature voltage will be modified by 7mV for each μA of loading.

A.5. AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN. INA326



INA326
INA327



SBOG222D – NOVEMBER 2001 – REVISED NOVEMBER 2004

Precision, Rail-to-Rail I/O INSTRUMENTATION AMPLIFIER

FEATURES

- **PRECISION**
 - LOW OFFSET: 100 μ V (max)
 - LOW OFFSET DRIFT: 0.4 μ V/°C (max)
 - EXCELLENT LONG-TERM STABILITY
 - VERY-LOW 1/f NOISE
- **TRUE RAIL-TO-RAIL I/O**
 - INPUT COMMON-MODE RANGE:
20mV Below Negative Rail to 100mV Above Positive Rail
 - WIDE OUTPUT SWING: Within 10mV of Rails
 - SUPPLY RANGE: Single +2.7V to +5.5V
- **SMALL SIZE**
 - microPACKAGE: MSOP-8, MSOP-10
- **LOW COST**

APPLICATIONS

- LOW-LEVEL TRANSDUCER AMPLIFIER FOR BRIDGES, LOAD CELLS, THERMOCOUPLES
- WIDE DYNAMIC RANGE SENSOR MEASUREMENTS
- HIGH-RESOLUTION TEST SYSTEMS
- WEIGH SCALES
- MULTI-CHANNEL DATA ACQUISITION SYSTEMS
- MEDICAL INSTRUMENTATION
- GENERAL-PURPOSE

DESCRIPTION

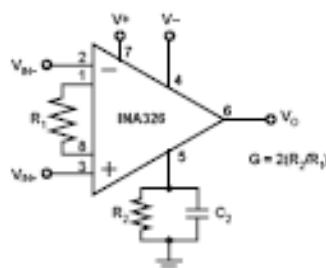
The INA326 and INA327 (with shutdown) are high-performance, low-cost, precision instrumentation amplifiers with rail-to-rail input and output. They are true single-supply instrumentation amplifiers with very low DC errors and input common-mode ranges that extends beyond the positive and negative rails. These features make them suitable for applications ranging from general-purpose to high-accuracy.

Excellent long-term stability and very low 1/f noise assure low offset voltage and drift throughout the life of the product.

The INA326 (without shutdown) comes in the MSOP-8 package. The INA327 (with shutdown) is offered in an MSOP-10. Both are specified over the industrial temperature range, -40°C to +85°C, with operation from -40°C to +125°C.

INA326 AND INA327 RELATED PRODUCTS

PRODUCT	FEATURES
INA337	Precision, 0.4 μ V/°C Drift, Specified -40°C to +125°C
INA114	50 μ V V_{OS} , 0.5nA I_{IQ} , 115dB CMR, 3nA I_{IQ} , 0.25 μ V/°C Drift
INA118	50 μ V V_{OS} , 1nA I_{IQ} , 120dB CMR, 385pA I_{IQ} , 0.5 μ V/°C Drift
INA122	250 μ V V_{OS} , -10nA I_{IQ} , 85pA I_{IQ} , Rail-to-Rail Output, 3 μ V/°C Drift
INA128	50 μ V V_{OS} , 2nA I_{IQ} , 125dB CMR, 750pA I_{IQ} , 0.5 μ V/°C Drift
INA321	500 μ V V_{OS} , 0.5pA I_{IQ} , 94dB CMRR, 60pA I_{IQ} , Rail-to-Rail Output



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA: Information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



Copyright © 2001-2004, Texas Instruments Incorporated

ELECTRICAL CHARACTERISTICS: $V_S = +2.7V$ to $+5.5V$

BOLDFACE limits apply over the specified temperature range, $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$

At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $R_1 = 10\text{k}\Omega$, $G = 100$ ($R_2 = 2\text{k}\Omega$, $R_3 = 100\text{k}\Omega$), external gain set resistors, and $I_{\text{COMMAX}} = V_{\text{DD}}/2$, with external equivalent filter corner of 1kHz, unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITION	INA132EA, INA327EA			UNITS
		MIN	TYP	MAX	
INPUT					
Offset Voltage, RTI	$V_{\text{DD}} = +5V$, $V_{\text{CM}} = V_{\text{DD}}/2$		± 20	± 100	μV
Over Temperature vs Temperature			± 0.1	± 124	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
vs Power Supply	$V_S = +2.7V$ to $+5.5V$, $V_{\text{CM}} = V_{\text{DD}}/2$	± 20	± 3	± 0.4	$\mu\text{V/V}$
Long-Term Stability			See Note (1)		$\mu\text{V/V}$
Input Impedance, Differential			$10^{10} \parallel 2$		$\Omega \parallel \text{pF}$
Common-Mode			$10^{12} \parallel 14$		$\Omega \parallel \text{pF}$
Input Voltage Range		$(V^-) - 0.02$		$(V^+) + 0.1$	V
Safe Input Voltage		$(V^-) - 0.5$		$(V^+) + 0.5$	V
Common-Mode Rejection	$V_S = +5V$, $V_{\text{CM}} = (V^-) - 0.02V$ to $(V^+) + 0.1V$	100	114		dB
Over Temperature		94			dB
INPUT BIAS CURRENT					
Bias Current	$V_{\text{CM}} = V_{\text{DD}}/2$ $V_S = +5V$		± 0.2	± 2	nA
vs Temperature			See Typical Characteristics		
Offset Current	$V_S = +5V$		± 0.2	± 2	nA
NOISE					
Voltage Noise, RTI	$R_2 = 0\Omega$, $G = 100$, $R_1 = 2\text{k}\Omega$, $R_3 = 100\text{k}\Omega$				$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$
f = 10Hz			33		$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$
f = 100Hz			33		$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$
f = 1kHz			33		$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$
f = 0.01Hz to 10Hz			0.8		$\mu\text{V}/\text{p}$
Voltage Noise, RTI	$R_2 = 0\Omega$, $G = 10$, $R_1 = 20\text{k}\Omega$, $R_3 = 100\text{k}\Omega$				$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$
f = 10Hz			120		$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$
f = 100Hz			97		$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$
f = 1kHz			97		$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$
f = 0.01Hz to 10Hz			4		$\mu\text{V}/\text{p}$
Current Noise, RTI					$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
f = 1kHz			0.15		$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
f = 0.01Hz to 10Hz			4.2		pA/p
Output Ripple, V_{O} Filtered ⁽²⁾			See Applications Information		
GAIN					
Gain Equation			$G = 2(R_2/R_1)$		V/V
Range of Gain		< 0.1		> 10000	%
Gain Error ⁽³⁾	$G = 10, 100$, $V_S = +5V$, $V_{\text{O}} = 0.075V$ to $4.925V$		± 0.06	± 0.2	ppm/ $^\circ\text{C}$
vs Temperature	$G = 10, 100$, $V_S = +5V$, $V_{\text{O}} = 0.075V$ to $4.925V$		26	225	% of FS
Nonlinearity	$G = 10, 100$, $V_S = +5V$, $V_{\text{O}} = 0.075V$ to $4.925V$		± 0.004	± 0.01	
OUTPUT					
Voltage Output Swing from Rail	$R_1 = 100\text{k}\Omega$		5		mV
Over Temperature	$R_1 = 10\text{k}\Omega$, $V_S = +5V$	75	10		mV
Capacitive Load Drive		75	500		pF
Short-Circuit Current			± 25		mA
INTERNAL OSCILLATOR					
Frequency of Auto-Correction			90		kHz
Accuracy			± 20		%
FREQUENCY RESPONSE					
Bandwidth ⁽⁴⁾ , -3dB	$G = 1$ to 1k		1		kHz
Slew Rate ⁽⁵⁾	$V_S = +5V$, All Gains, $C_L = 100\text{pF}$		Filter Limited		
Settling Time ⁽⁶⁾ , 0.1%	1kHz Filter, $G = 1$ to 1k , $V_{\text{O}} = 2V$ step, $C_L = 100\text{pF}$		0.95		ms
0.01%			1.3		ms
0.1%	10kHz Filter, $G = 1$ to 1k , $V_{\text{O}} = 2V$ step, $C_L = 100\text{pF}$		130		μs
0.01%			180		μs
Overload Recovery ⁽⁷⁾	1kHz Filter, 50% Output Overload, $G = 1$ to 1k		30		μs
	10kHz Filter, 50% Output Overload, $G = 1$ to 1k		5		μs

A.6. OPTOACOPLADOR. PS2501



PHOTOCOUPLER PS2501-1,-2,-4, PS2501L-1,-2,-4

HIGH ISOLATION VOLTAGE
SINGLE TRANSISTOR TYPE
MULTI PHOTOCOUPLER SERIES

-NEPOC Series-

DESCRIPTION

The PS2501-1, -2, -4 and PS2501L-1, -2, -4 are optically coupled isolators containing a GaAs light emitting diode and an NPN silicon phototransistor.

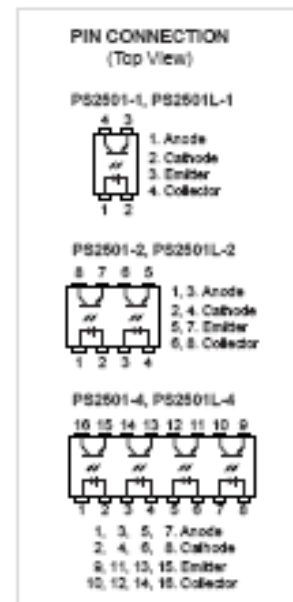
The PS2501-1, -2, -4 are in a plastic DIP (Dual In-line Package) and the PS2501L-1, -2, -4 are lead bending type (Gull-wing) for surface mount.

FEATURES

- High Isolation voltage ($BV = 5\,000\text{ Vr.m.s.}$)
- High collector to emitter voltage ($V_{ceo} = 80\text{ V}$)
- High-speed switching ($t_r = 3\ \mu\text{s TYP.}$, $t_f = 5\ \mu\text{s TYP.}$)
- Ordering number of tape product: PS2501L-1-E3, E4, F3, F4, PS2501L-2-E3, E4
- Safety standards
 - UL approved: File No. E72422

APPLICATIONS

- Power supply
- Telephone/FAX.
- FA/OA equipment
- Programmable logic controller



The information in this document is subject to change without notice. Before using this document, please confirm that this is the latest version.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Unless otherwise specified, $T_A = 25^\circ\text{C}$)

Parameter		Symbol	Ratings		Unit
			PS2501-1, PS2501L-1	PS2501-2,-4 PS2501L-2,-4	
Diode	Reverse Voltage	V_R	6		V
	Forward Current (DC)	I_F	80		mA
	Power Dissipation Derating	$\Delta P/\text{ }^\circ\text{C}$	1.5	1.2	mW/°C
	Power Dissipation	P_D	150	120	mW/ch
	Peak Forward Current ^{†1}	I_{F-P}	1		A
Transistor	Collector to Emitter Voltage	V_{CE}	80		V
	Emitter to Collector Voltage	V_{EC}	7		V
	Collector Current	I_C	80		mA/ch
	Power Dissipation Derating	$\Delta P/\text{ }^\circ\text{C}$	1.5	1.2	mW/°C
	Power Dissipation	P_C	150	120	mW/ch
Isolation Voltage ^{†2}		BV	5 000		Vr.m.s.
Operating Ambient Temperature		T_A	-55 to +100		°C
Storage Temperature		T_{stg}	-55 to +150		°C

†1 PW = 100 μs , Duty Cycle = 1%

†2 AC voltage for 1 minute at $T_A = 25^\circ\text{C}$, RH = 60% between input and output.

Pins 1-2 shorted together, 3-4 shorted together (PS2501-1, PS2501L-1).

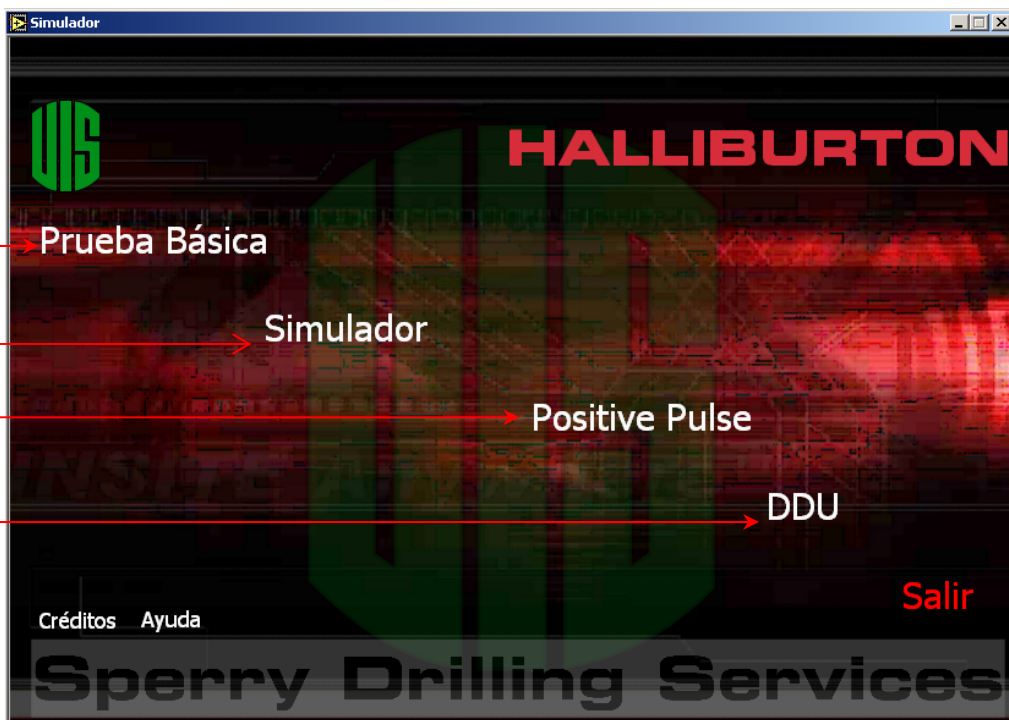
Pins 1-4 shorted together, 5-8 shorted together (PS2501-2, PS2501L-2).

Pins 1-8 shorted together, 9-16 shorted together (PS2501-4, PS2501L-4).

ANEXO B. MANUAL DEL SIMULADOR

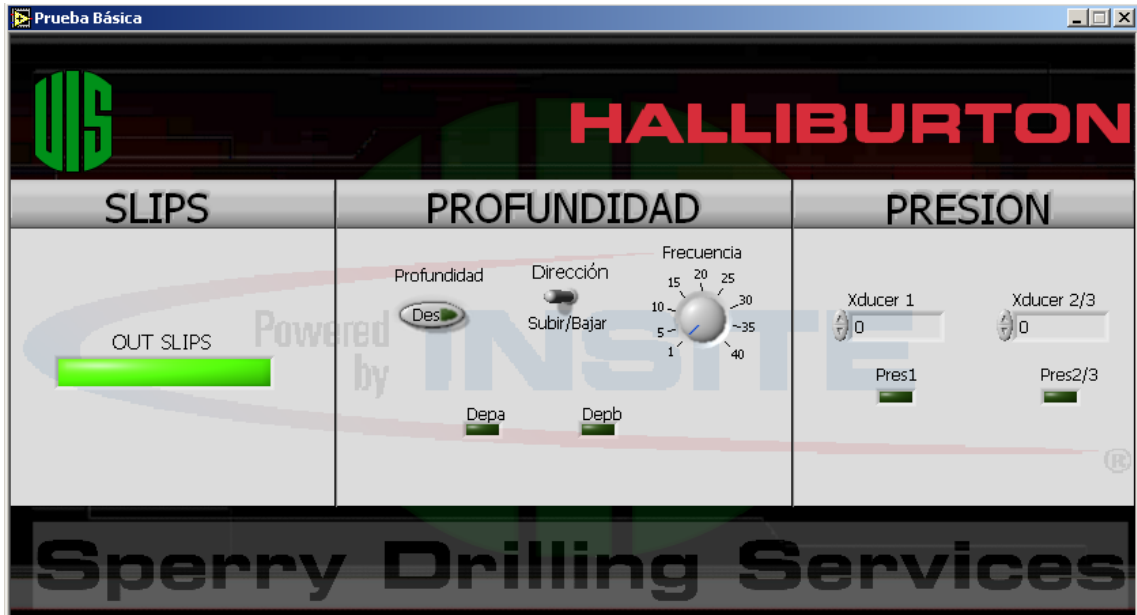
Al ejecutar el programa se despliega el menú principal donde se encuentran las diferentes opciones a utilizar:

- Prueba Básica: función encargada de hacerle pruebas básicas al sistema **Insite**. En esta aplicación se generan señales de **slips** (cuñas), profundidad, presión.
- Simulador: función que puede ser programada para simular las condiciones que se encuentran en un pozo de exploración. Se generan señales de cuñas, profundidad, presión, se pueden cargar archivos que corresponden a datos de preámbulo, y **loop** y se pueden programar los tiempos de activación y desactivación de los diferentes sensores.
- Positive Pulse: visor utilizado para ver los pulsos de presión que debe registrar el sistema, nivel de presión y de voltaje transmitidos por la aplicación.
- DDU: emulador del DDU. Función diseñada para emular un DDU físico en el se pueden ver los datos que ha registrado el sistema **Insite** y su correcta transmisión.



PRUEBA BÁSICA

Con esta función se puede probar el correcto funcionamiento de las cuñas, sensor de profundidad y de presión.

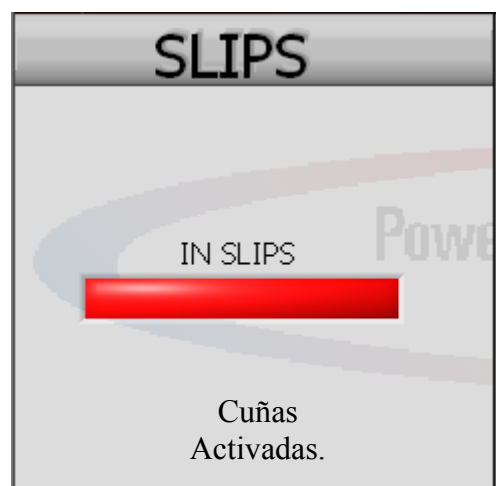


Hay tres secciones.

- Slips
- Profundidad
- Presión.

SLIPS

En esta sección hay un control lógico que le permite activar y desactivar las cuñas. Si las cuñas se encuentran desactivadas el control permanece de color verde, cuando se activan las cuñas el control se torna de color rojo.



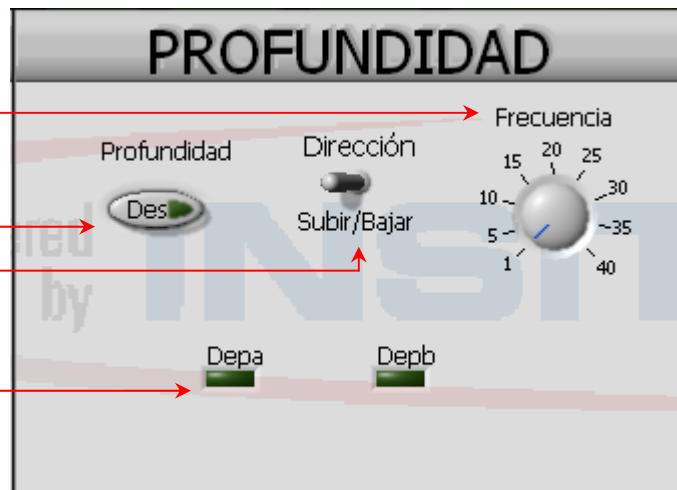
El **Insite** cuenta con la misma convención de colores. La activación y desactivación de cuñas se debe reflejar en el **Insite** con una demora aproximada de 2 segundos en procesar la señal enviada por la aplicación.

PROFUNDIDAD

En la sección de profundidad hay 3 controles y dos indicadores.

Controles:

- Profundidad: con este control puede activar o desactivar la señal correspondiente al sensor de profundidad.
- Dirección: manipula la dirección en que son emitidas la señal de profundidad. Subir o bajar tubería.
- Frecuencia: establece la velocidad en que son emitidos los pulsos. En el caso mínimo se transmite 1 pulso por segundo y en el caso máximo se transmiten 40 pulsos por segundo.



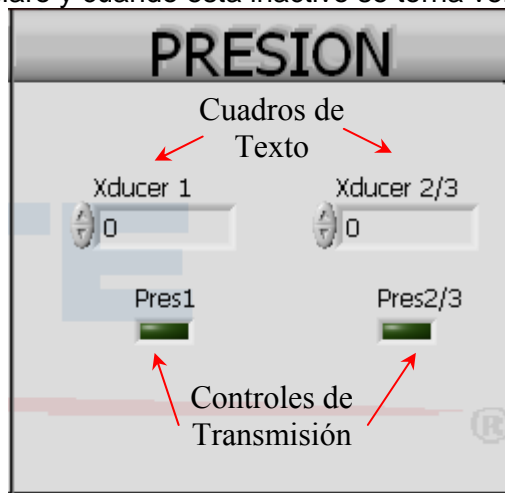
Indicadores:

- Depa/Depb: indican el estado de los dos pulsos que requiere el **Insite**.
Verde claro → pulso en alto.
Verde Oscuro → pulso en bajo.

PRESIÓN

En este panel se encuentran dos cuadros de texto en los que se puede digitar el nivel de presión (psi) que desea que la aplicación le transmita al **Insite**. Estos niveles de presión están en un rango de 0-4999 psi. El sistema no permite que estos límites sean sobrepasados. En caso de que esto suceda se tomaran los límites antes mencionados.

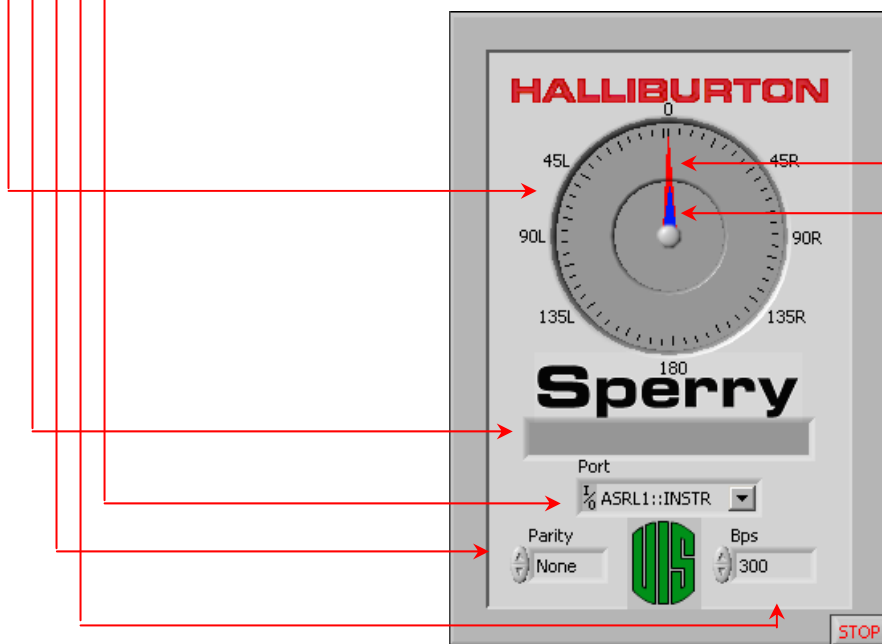
Debajo de cada cuadro de texto hay dos controles de transmisión que permiten elegir el **transductor** por el cual desea transmitir la presión deseada. Cuando están activos el control se torna verde claro y cuando esta inactivo se torna verde oscuro.



DDU

La finalidad de esta aplicación es verificar el correcto funcionamiento de los puertos seriales, que el DDU funcione adecuadamente y que la transmisión de los datos del **Insite** sea la adecuada en el DDU podemos encontrar los siguientes elementos:

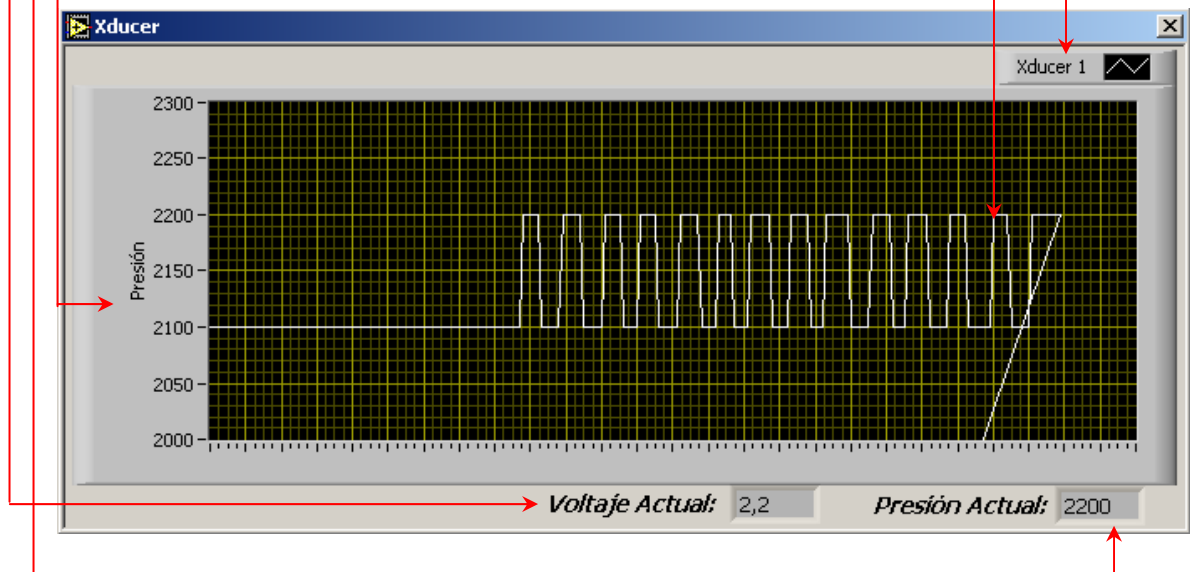
- **Display** Circular: es el encargado de mostrar el **toolface** de la herramienta, cuenta con dos indicadores
 - o Indicador Rojo: muestra el **toolface** actual.
 - o Indicador Azul: muestra el **toolface** anterior.
- **Display** Alfanumérico: muestra en texto las medidas tomadas por los sensores y los mensajes que se desean transmitir desde el **Insite**.
- **Port**: cuadro de texto con el que puede elegir el puerto por donde se reciben los datos del **Insite**.
 - o ASRL1::INSTR → puerto serial 1 (com1)
 - o ASRL2::INSTR → puerto serial 2 (com2)
 - o ASRL10::INSTR → puerto paralelo 1 (LPT1) no usado para este propósito.
- **Parity**: control con el que puede elegir la paridad del puerto serial. Este valor debe ser el mismo que se ha configurado en el **Insite**. Por lo general se encuentra en **None**. Se encuentran las siguientes opciones:
 - o **None**
 - o **Space**
 - o **Mark**
 - o **Even**
 - o **Odd**
- **Bps**: velocidad (baudios por segundo) con que el puerto serial recibe los datos del **Insite**. Por defecto se encuentra en 300 bps. Este valor debe ser configurado con el mismo valor del **Insite**. Si difiere no se podrán sincronizar los dos sistemas y los datos mostrados en la aplicación no serán los correctos.



POSITIVE PULSE

El visor de pulsos muestra la transmisión de datos de presión que esta efectuando el sistema. En el podemos observar:

- **Transducer** por el que se está emitiendo la señal.
- Pulsos transmitidos
- Voltaje actual de la señal (v)
- Presión actual de la señal (psi).
- Niveles de presión en los que oscila el sistema (psi).

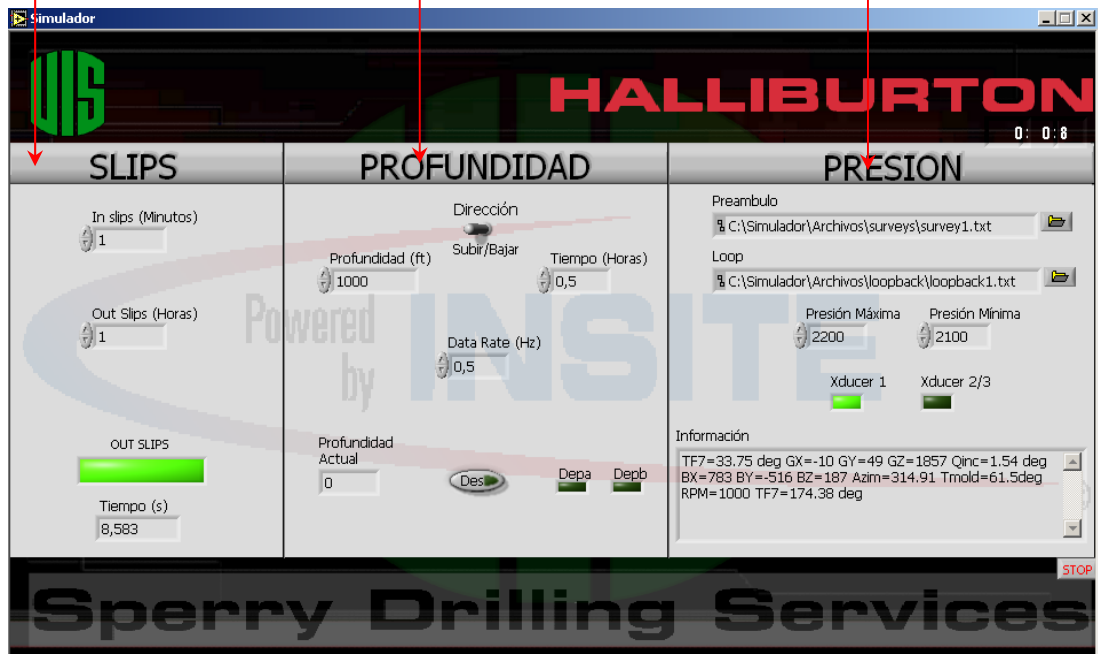


SIMULADOR

La finalidad de esta función es proporcionar una herramienta para simular las condiciones que se encuentran en un pozo de perforación direccional. En esta función se pueden establecer tiempos de cuñas, profundidad a alcanzar, tiempo de la prueba y se pueden seleccionar los archivos que corresponden al preámbulo y **loop** con una lista previamente definida.

En esta función hay 3 paneles:

- Cuñas
- Profundidad
- Presión



SLIPS

En este panel se puede configurar el funcionamiento de cuñas. En el primer control se puede configurar el tiempo en que dura el sistema con las cuñas activadas (minutos). El tiempo está limitado entre 0 y 5 minutos. Cuando las cuñas son activadas el sistema para de transmitir profundidad y datos de presión al **Insite**.

El segundo control pertenece al tiempo en que dura el sistema con las cuñas desactivadas. Mientras el sistema se encuentra es este estado la aplicación transmite datos de presión y de profundidad.

- Control de activación de cuñas.
- Control de desactivación de cuñas.

The image shows a software interface for 'SLIPS'. It features a title bar with the text 'SLIPS'. Below the title bar, there are two spinners. The first spinner is labeled 'In slips (Minutos)' and has a value of '1'. The second spinner is labeled 'Out Slips (Horas)' and also has a value of '1'. Red arrows point from the list items above to these spinners. At the bottom of the interface, there is a green bar labeled 'OUT SLIPS' and a spinner for 'Tiempo (s)' with a value of '6,128'.

Para el control de funcionamiento hay dos indicadores. Un indicador visual del estado de las cuñas.

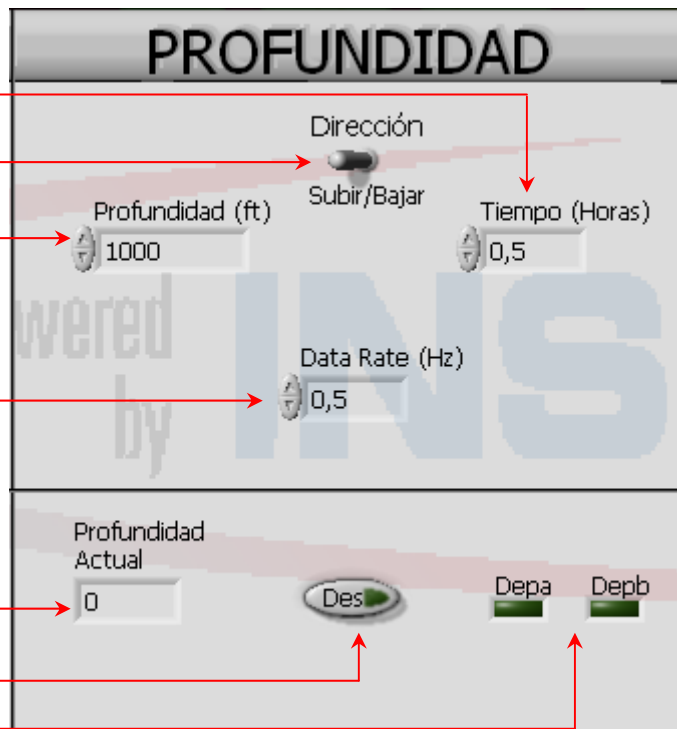
- Verde: cuñas desactivadas
- Rojo: cuñas activadas.

Y el otro indicador es el tiempo que lleva el sistema según el estado actual de las cuñas.

PROFUNDIDAD

En el panel de profundidad hay 4 controles:

- Profundidad: profundidad objetivo. Esta en un rango de 1000 a 20000 ft.
- Dirección: indica la dirección si se va a perforar (bajar) o a subir tubería (subir).
- Tiempo: son las horas en que el sistema debe alcanzar la profundidad objetivo. Tiene un rango de 0.5 a 72 horas.
- **Data rate**: los datos se transmiten en dos frecuencias diferentes 0.5 o 0.8 Hz. Se debe tener en cuenta que el **Insite** como la aplicación deben tener la misma frecuencia de transmisión de lo contrario no se podrán sincronizar los dos sistemas y no se registrarán los datos. Esta frecuencia corresponde a la transmisión de datos de presión.



Se tienen 3 indicadores

- Profundidad actual: como su nombre lo indica muestra la profundidad de perforación del sistema. El sistema no debe diferir de la profundidad registrada por el **Insite** en más de 3ft por cada 100ft registrados.
- Activación/desactivación: indica si el sistema se encuentra activo o desactivo.
- Depa/Depb: indica el estado de la transmisión de los pulsos.

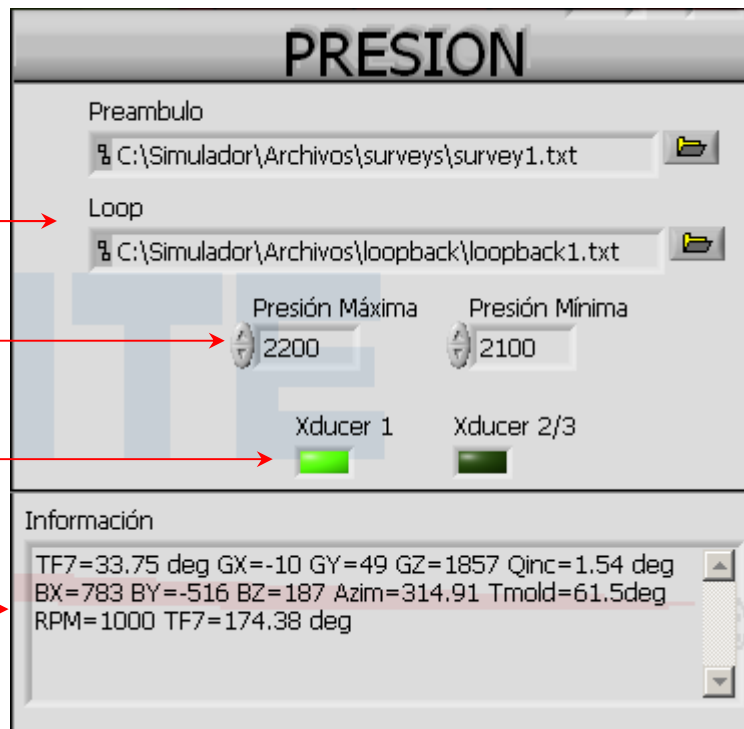
Cabe resaltar que los datos de profundidad empiezan a ser transmitidos 5 minutos después que las cuñas han sido desactivadas.

PRESIÓN

En este panel se encuentran 2 cuadros de texto que corresponden a la ruta del archivo donde se encuentra codificada la información correspondiente al preámbulo y al loop. Al lado de los cuadros de texto se encuentran dos botones que despliegan exploradores de archivos si no se desea escribir la ruta de los archivos.

Hay dos cuadros numéricos que le permite configurar los pulsos de presión que va transmitir la aplicación. El sistema limita estos pulsos a 150psi. Y los límites de la presión que se pueden transmitir son de 800 a 3000psi que son los límites de presión que se encuentran normalmente en la perforación de un pozo.

Y los últimos dos controles seleccionan el **transductor** por el que se van a transmitir los pulsos de presión.



En este panel hay un cuadro de texto que muestra la información que corresponde al preámbulo y al **loop** que han sido seleccionados.

ANEXO C. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA DEL SISTEMA INSITE

Conectar el cable de 37 pines del **Insite** al dispositivo.

Ejecutar el simulador.

Conectar el puerto paralelo del dispositivo al puerto paralelo del computador donde se encuentra el software.

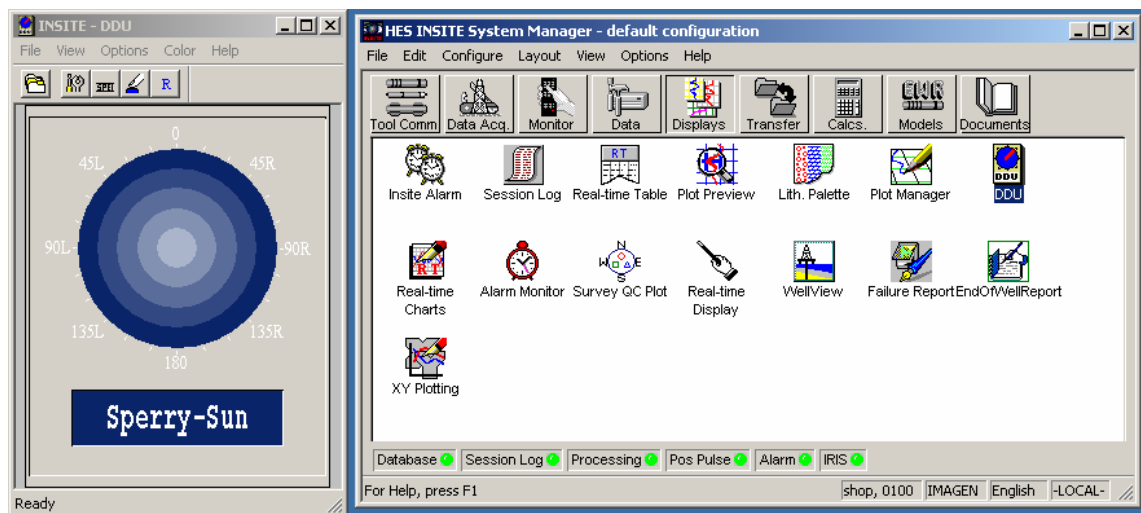
Conectar el puerto serial del **Insite** al dispositivo

Conectar el puerto serial del computador al dispositivo

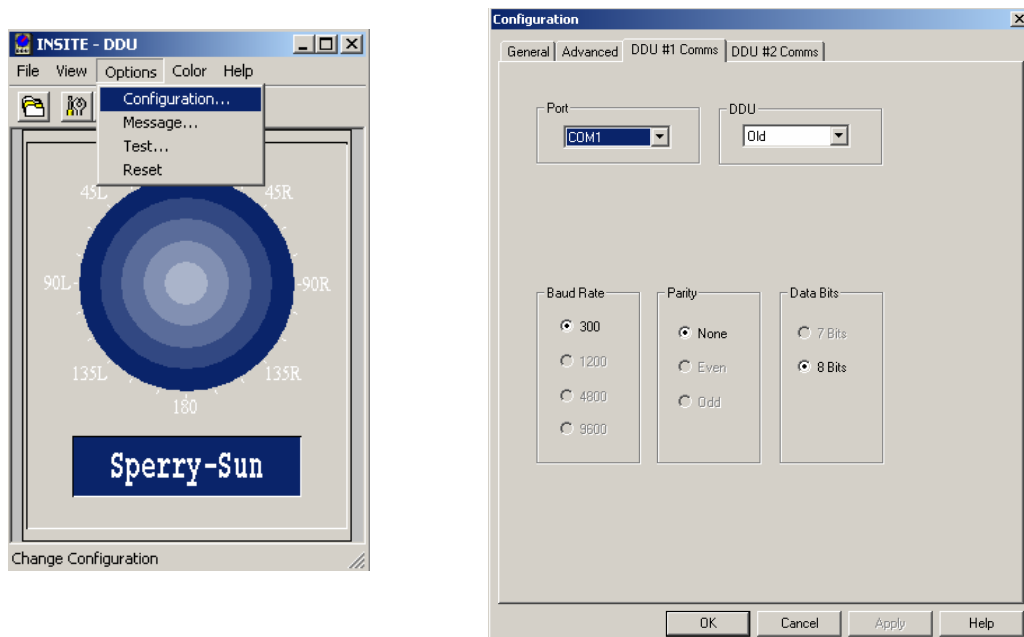
PRUEBA BÁSICA

DDU

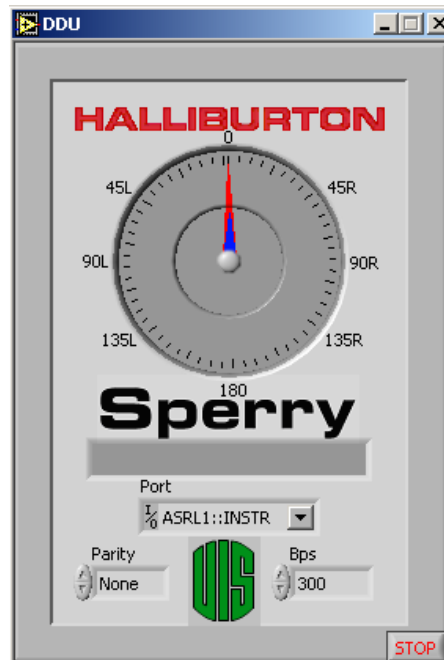
1. Ejecutar el DDU en el **Insite**.



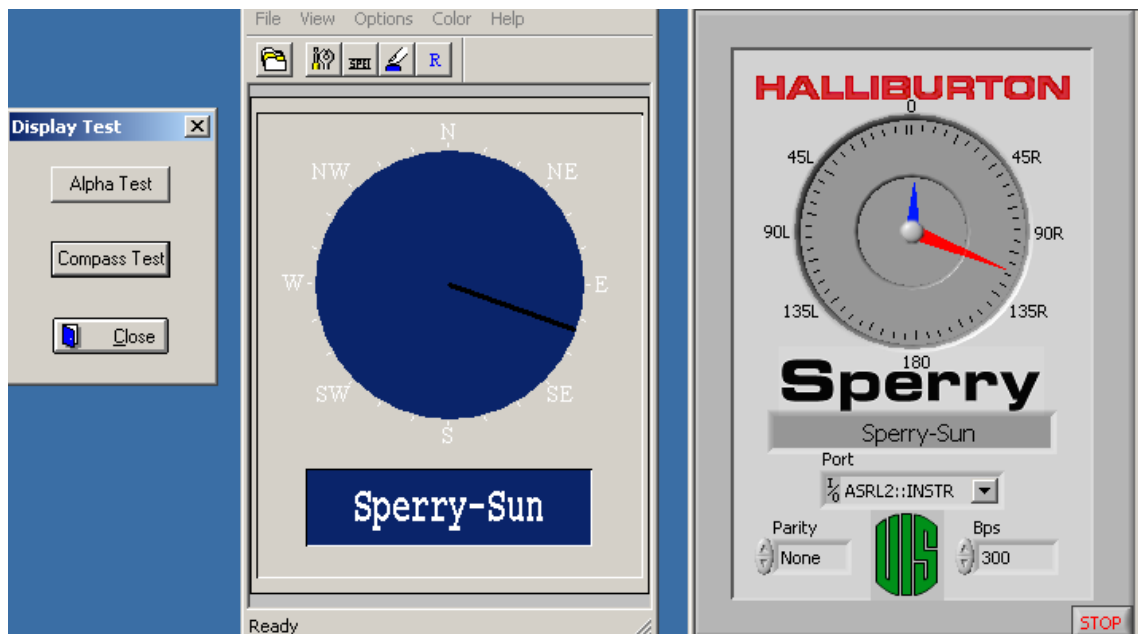
2. Elegir y configurar el número del puerto serial, paridad, bps.



3. Conectar el cable serial del **Insite** al dispositivo.
4. Conectar el cable serial del dispositivo al computador donde se esta ejecutando el simulador.
5. Ejecutar el DDU del simulador.

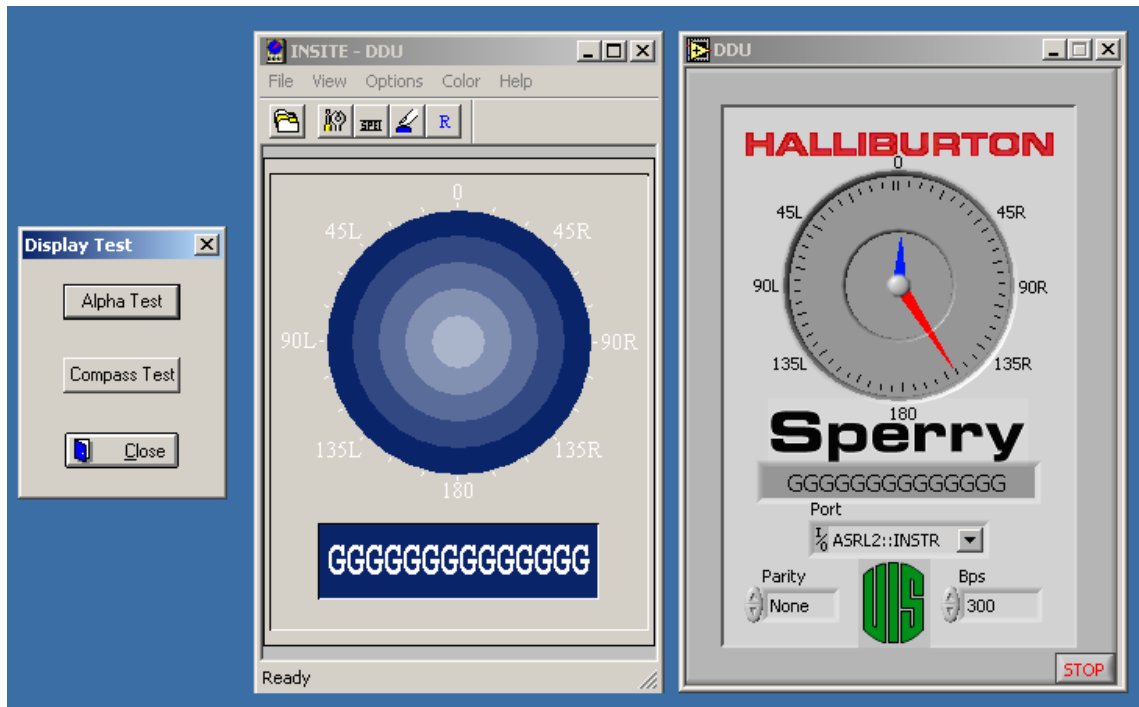


6. Establecer los mismos valores del puerto del **Insite** en el simulador.
7. Ejecutar el emulador del DDU.
8. En el **Insite** ejecutar el **test**.
9. Ejecutar el **compass test**
10. Verificar que el emulador registre el **compass test**.



11. Ejecutar el alpha **test**.

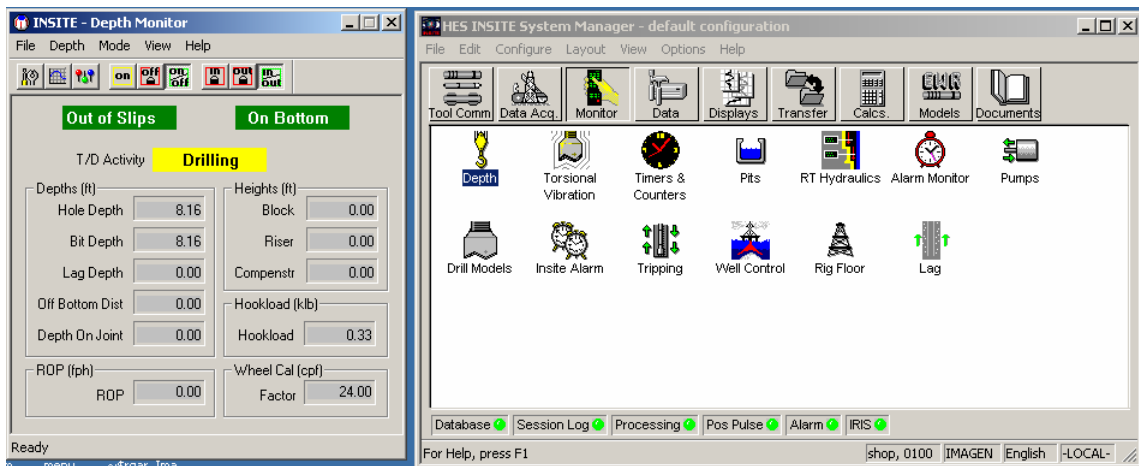
12. Verificar que el emulador registre los valores que se observan en el **Insite**.



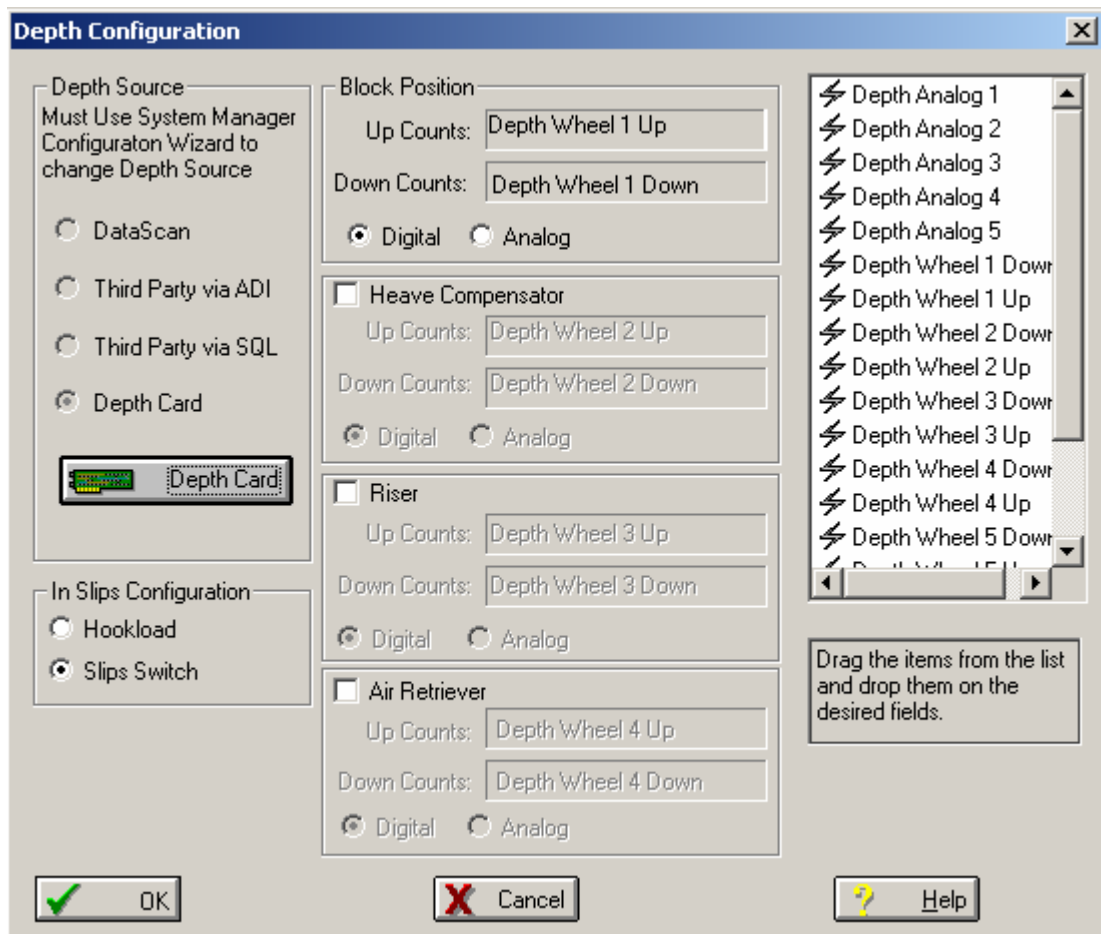
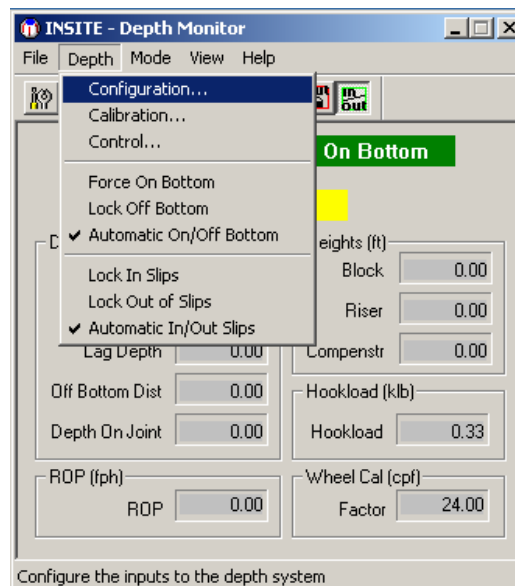
13. En el **Insite** elegir otro puerto y repetir desde el paso 8.

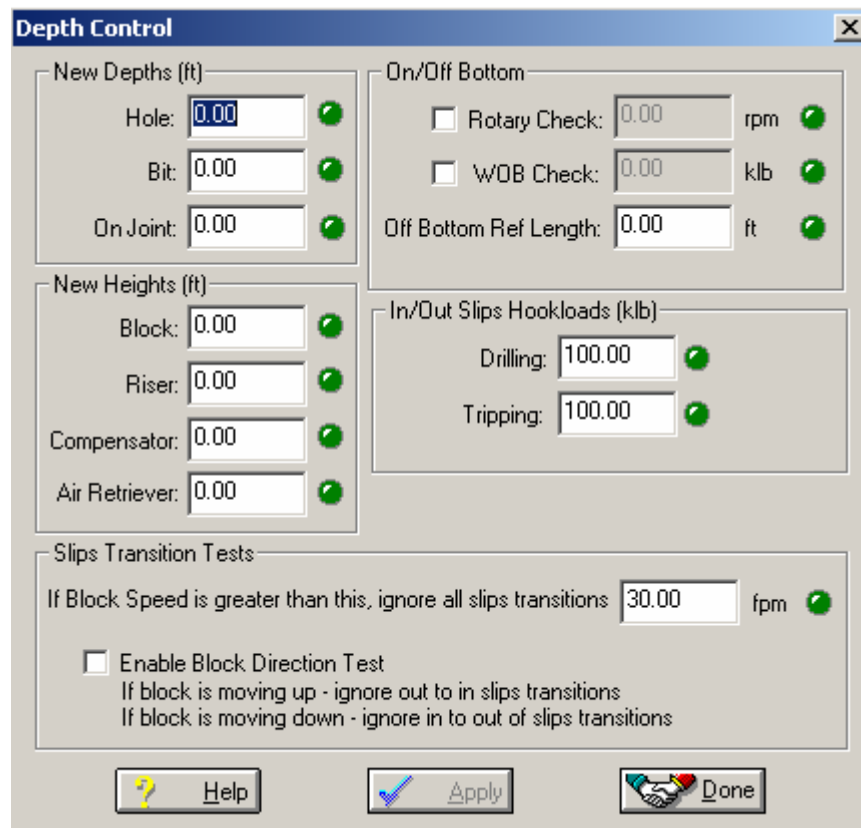
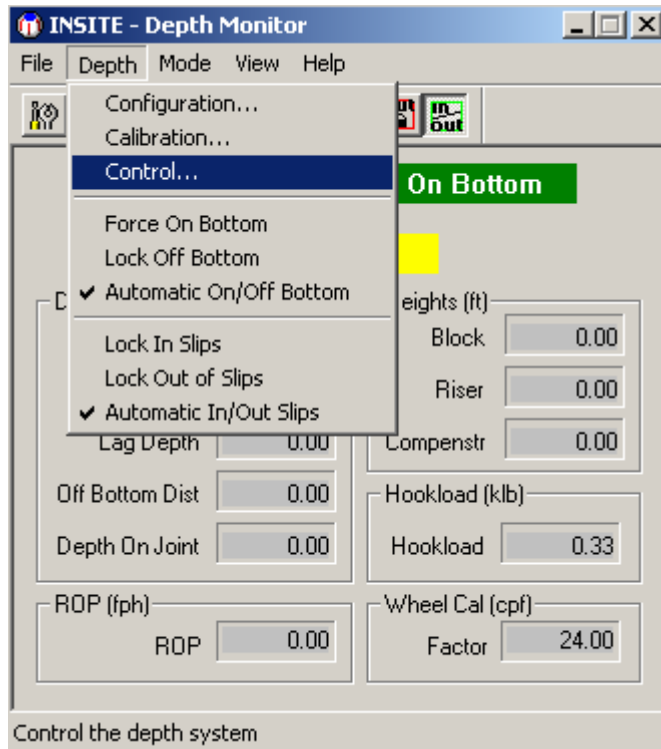
PROFUNDIDAD Y CUÑAS

1. Ejecutar el **Insite-Depth Monitor**

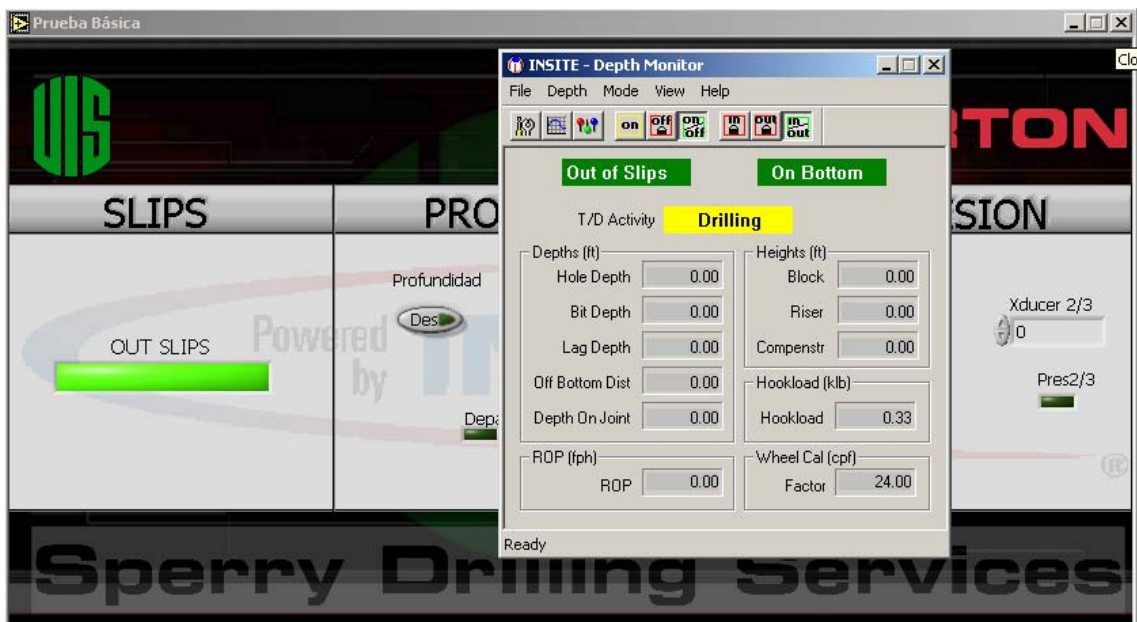
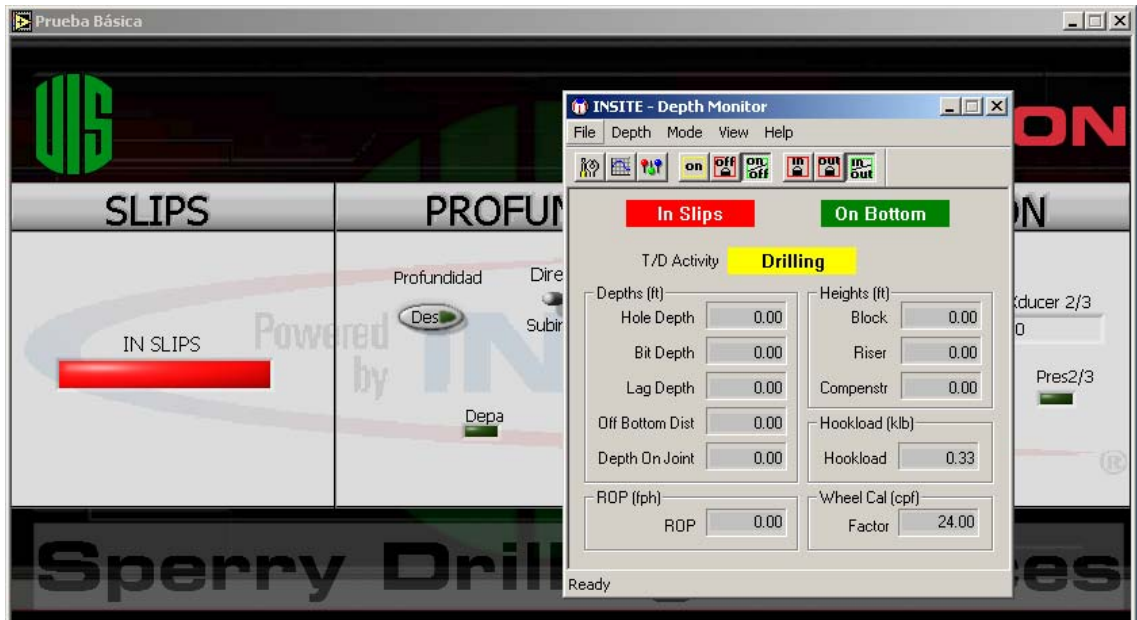


2. Configurar los valores de Slips.

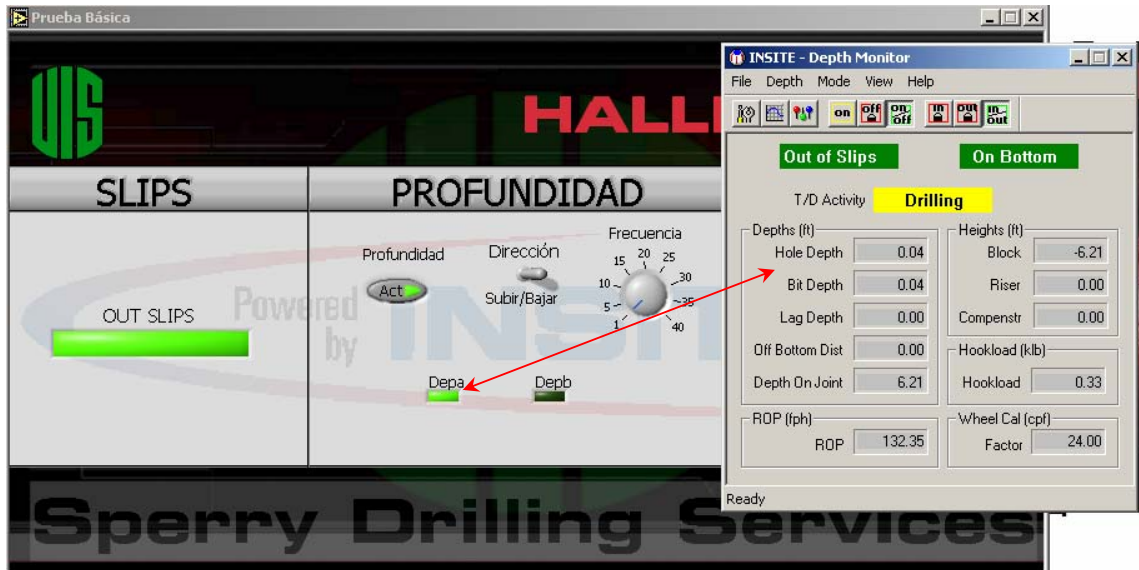




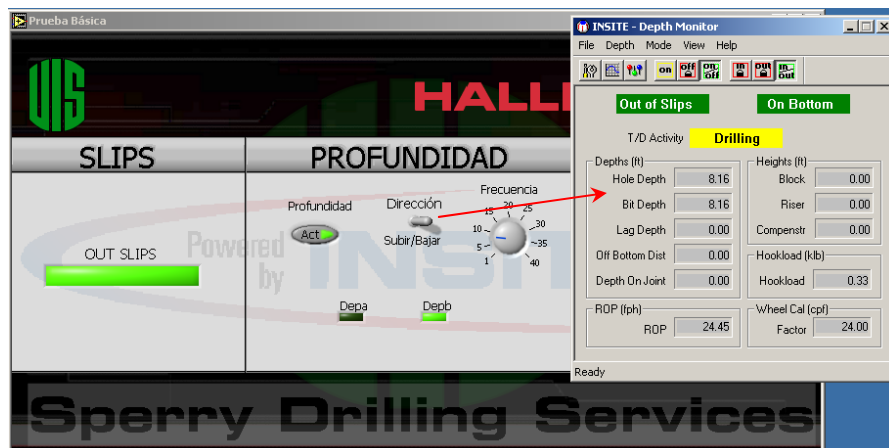
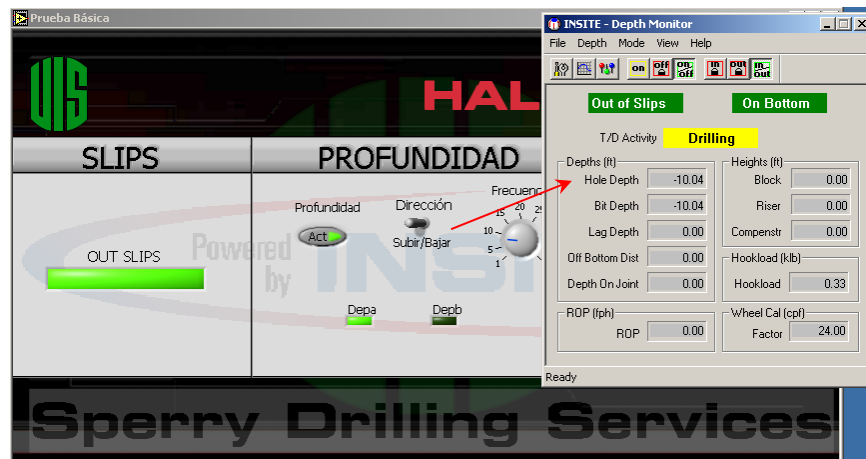
3. Ejecutar en el simulador “Prueba Básica”
4. Activar y desactivar las cuñas y verificar que en el **Insite** se reflejen estos cambios. Recordar que el **Insite** se demora aproximadamente dos segundos en procesar la señal de cuñas.



5. Activar en el simulador la señal de profundidad.
6. Establecer la frecuencia en 1.
7. Verificar que por cada bit transmitido por el simulador se registre 0.04ft en el **Insite**.



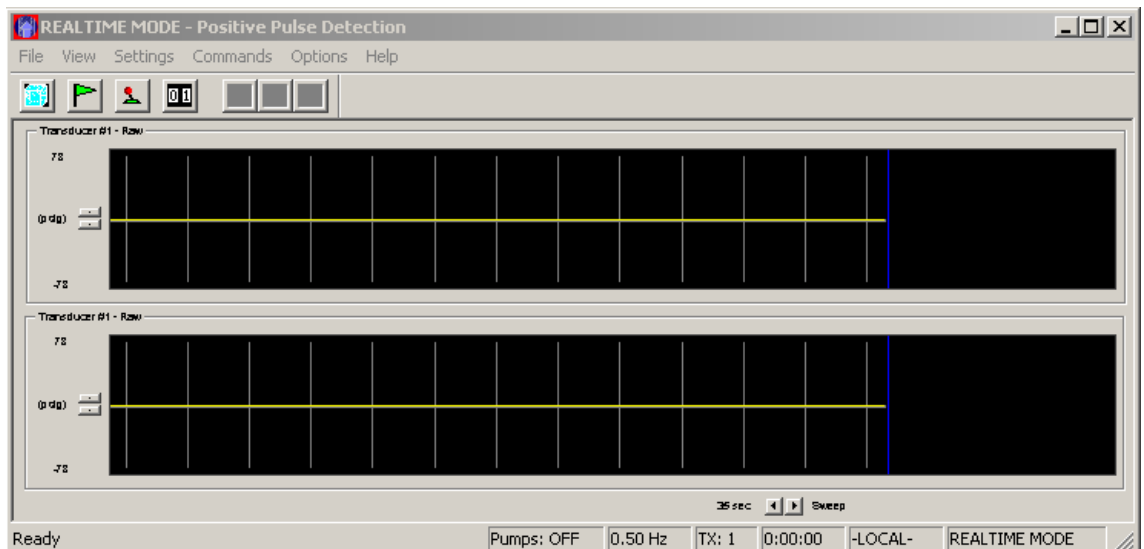
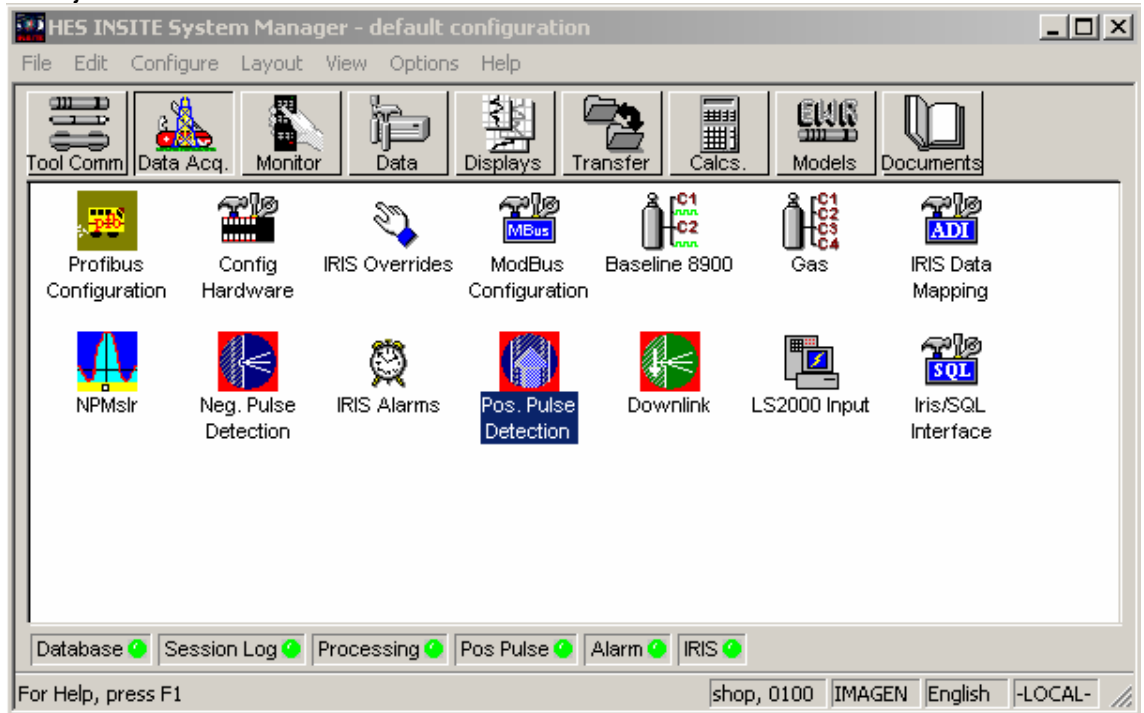
8. Aumentar la frecuencia en la profundidad.
9. Cambiar la dirección (subir/bajar) de profundidad y verifique que el **Insite** responda adecuadamente a esta señal.



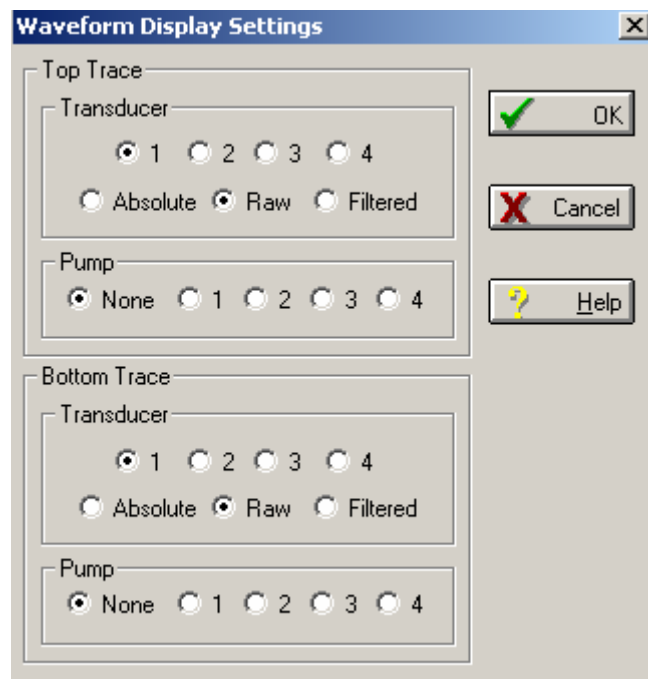
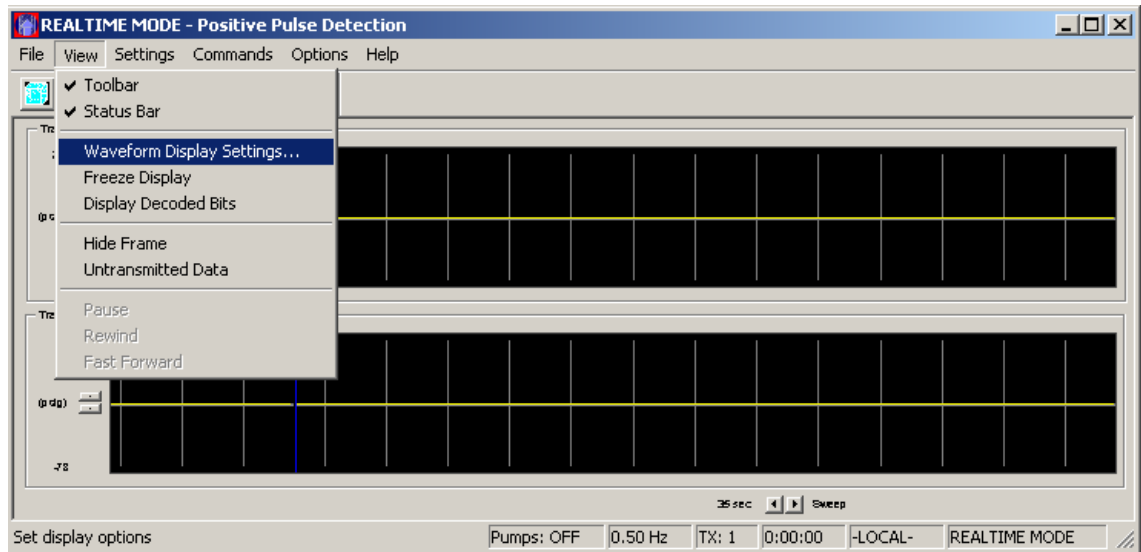
10. Activar las cuñas en el simulador sin desactivar la señal de profundidad.
11. Verificar que en el **Insite** la profundidad no se modifique
12. Desactivar las cuñas y verificar que la profundidad aumente o disminuya según este establecido en el simulador.

PRESIÓN

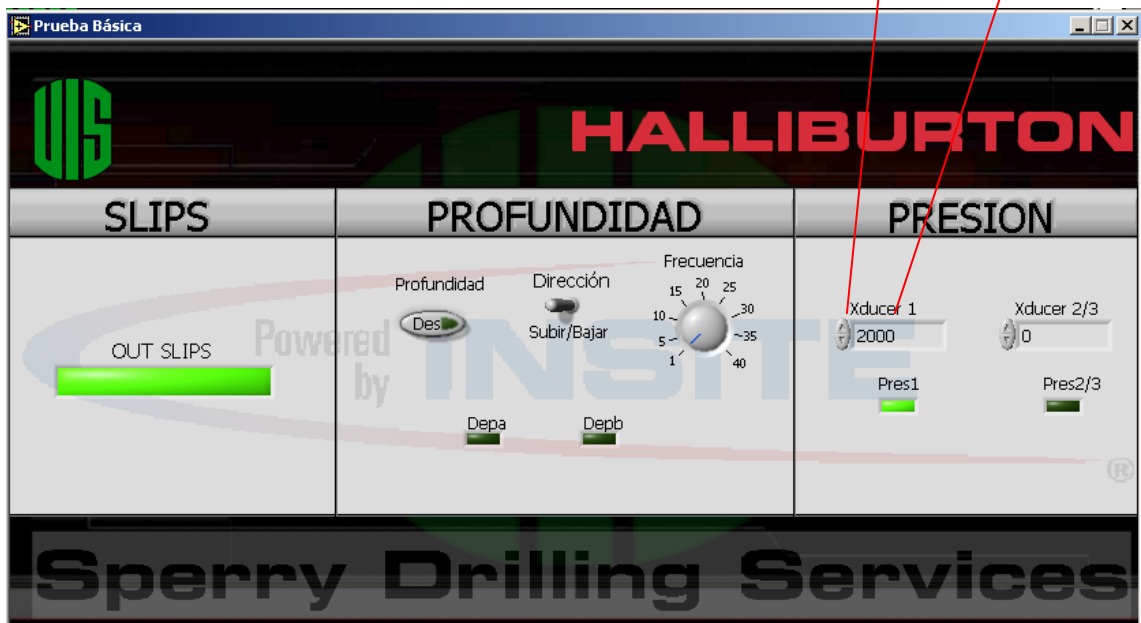
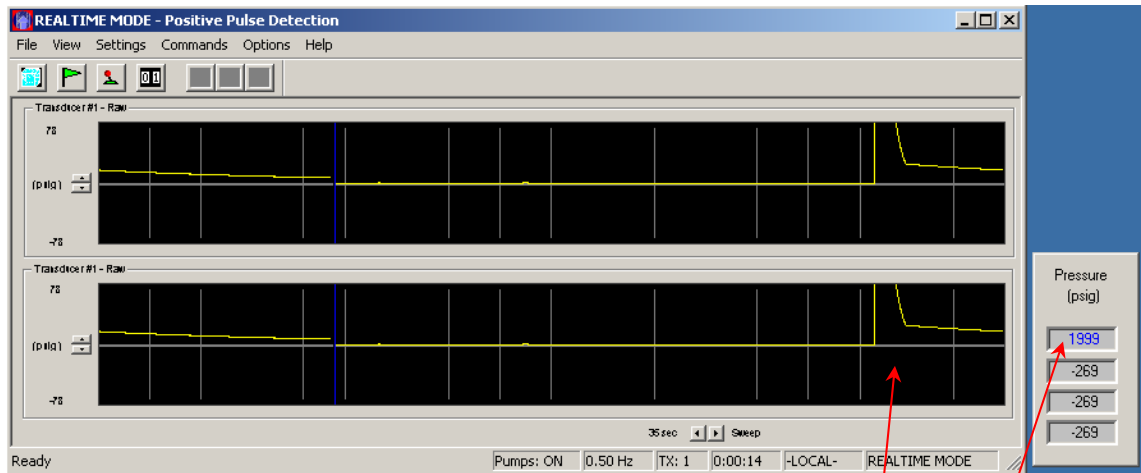
1. Ejecutar en el Insite Positive Pulse Detection



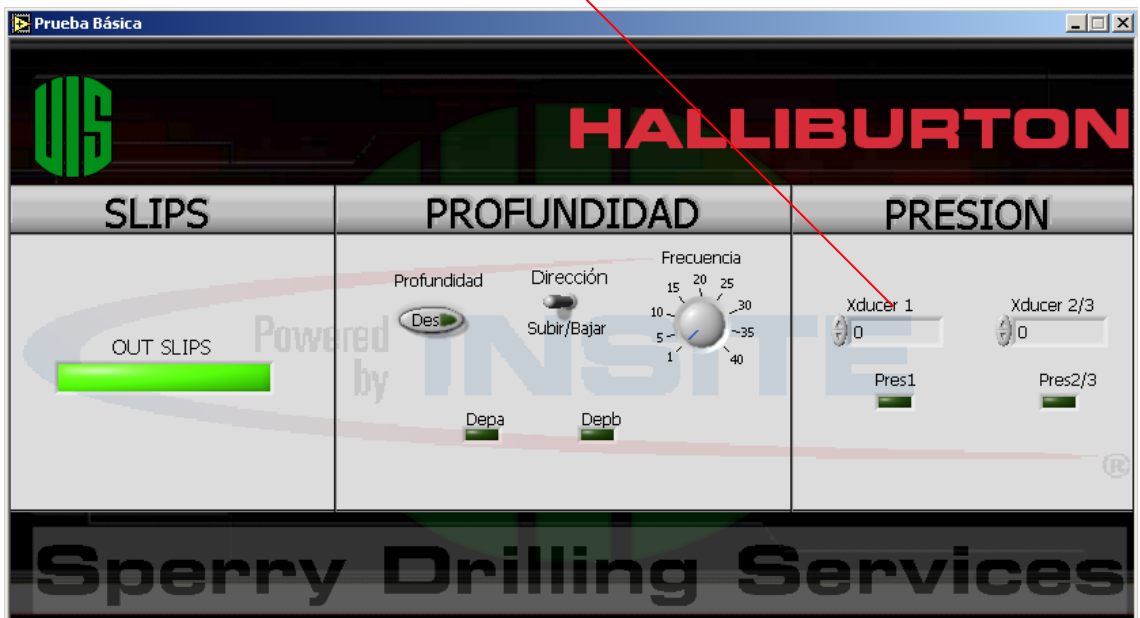
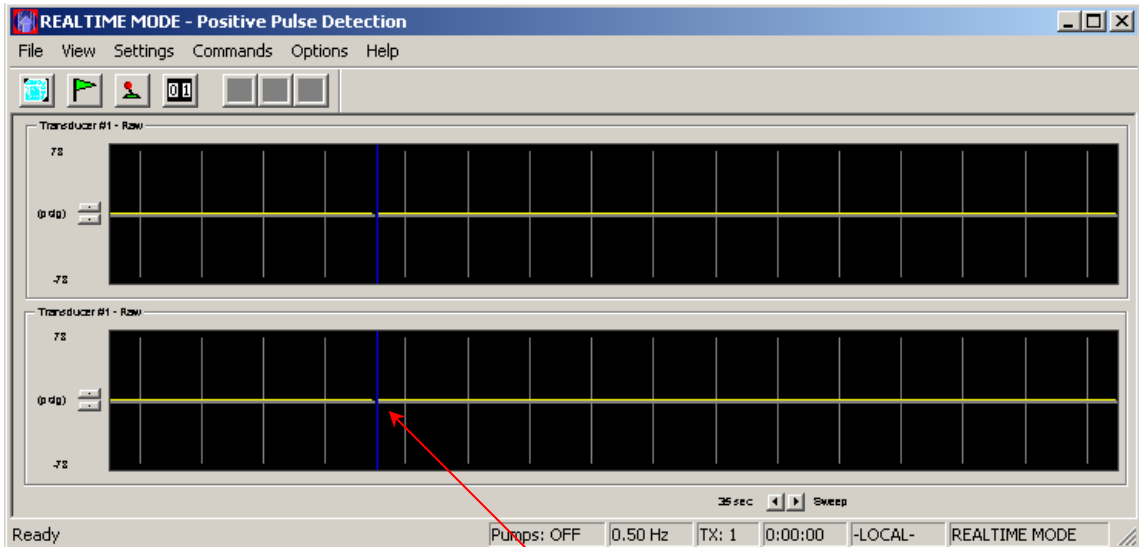
2. Configurar el **View Detection** para observar la señal del transducer 1.



3. En el simulador activar el **transducer** 1 y establecer un nivel de presión arbitrario.
4. Verificar que en el **Insite** se refleje este valor.



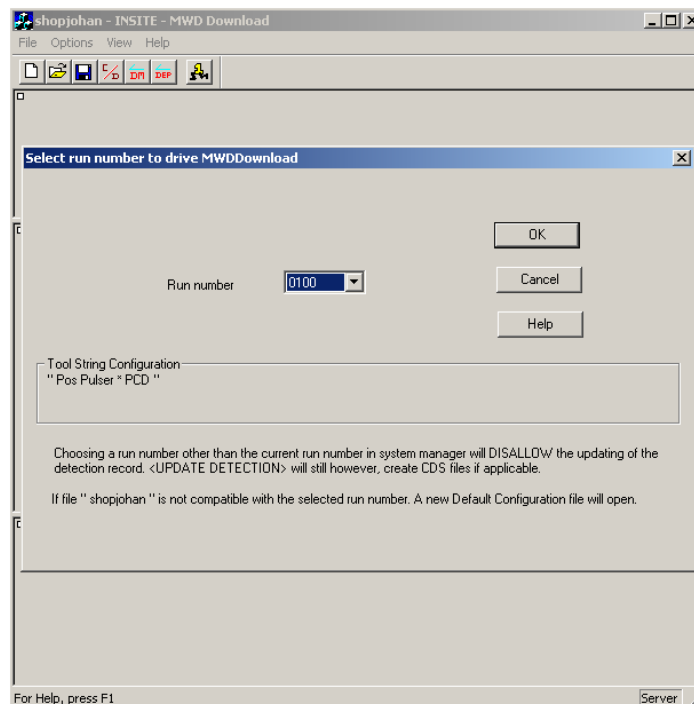
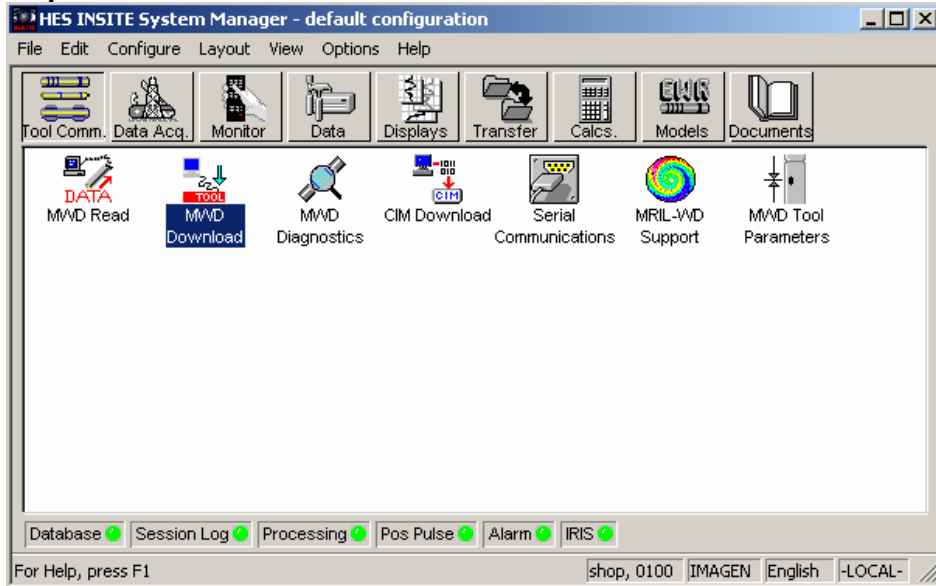
5. Desactivar la señal del **transducer 1** y verificar que en el **Insite** no registre presión.

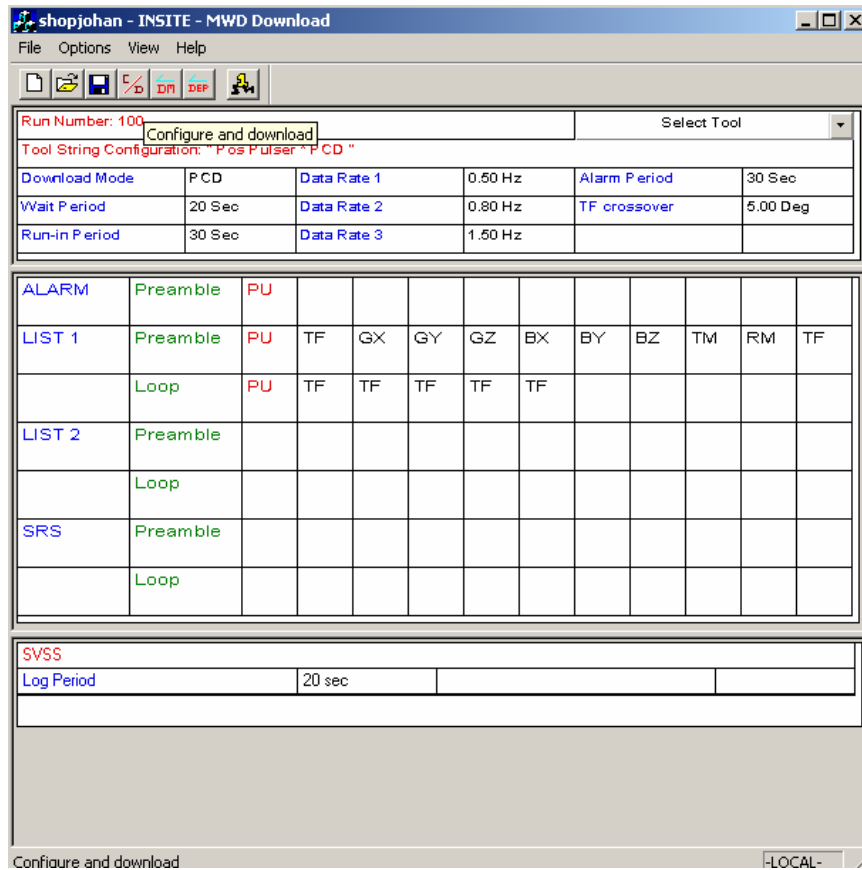


6. Repetir desde el paso 2 con el **transducer** 2 y 3 respectivamente.

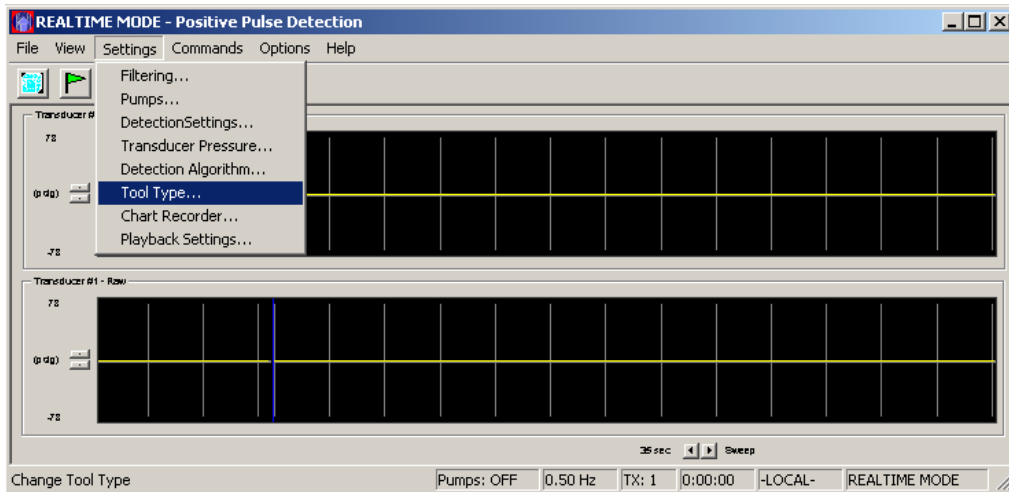
SIMULADOR

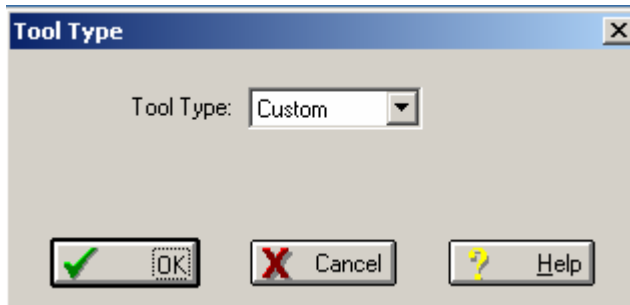
1. Crear la lista que corresponde al archivo que desea cargar en el preámbulo y loop.



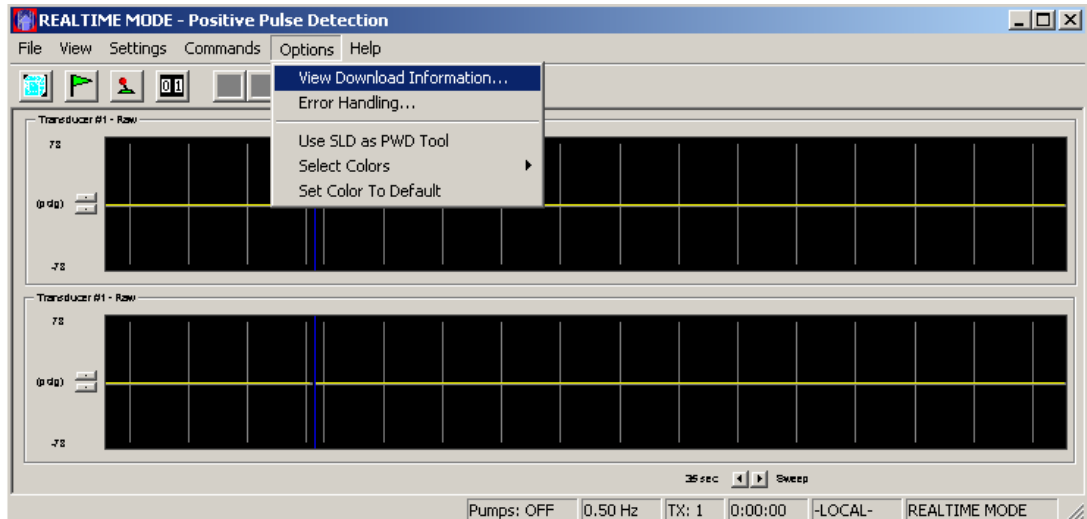


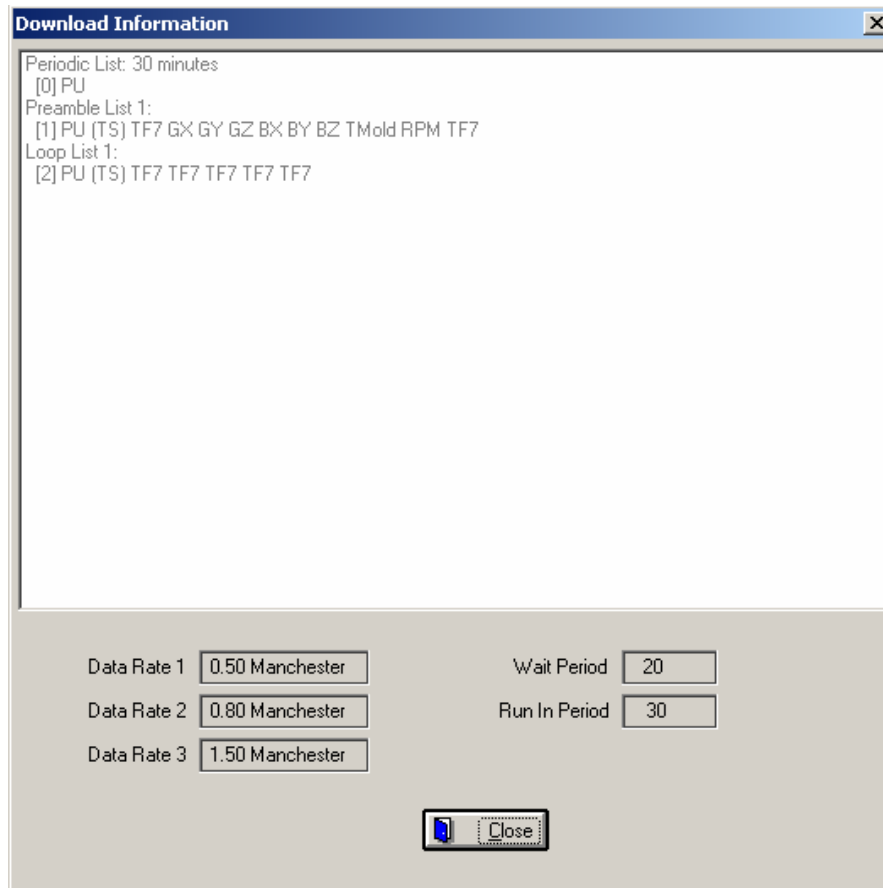
2. Ejecutar el **Positive Pulse Detection**.
3. Configurar el modo en **Custom**



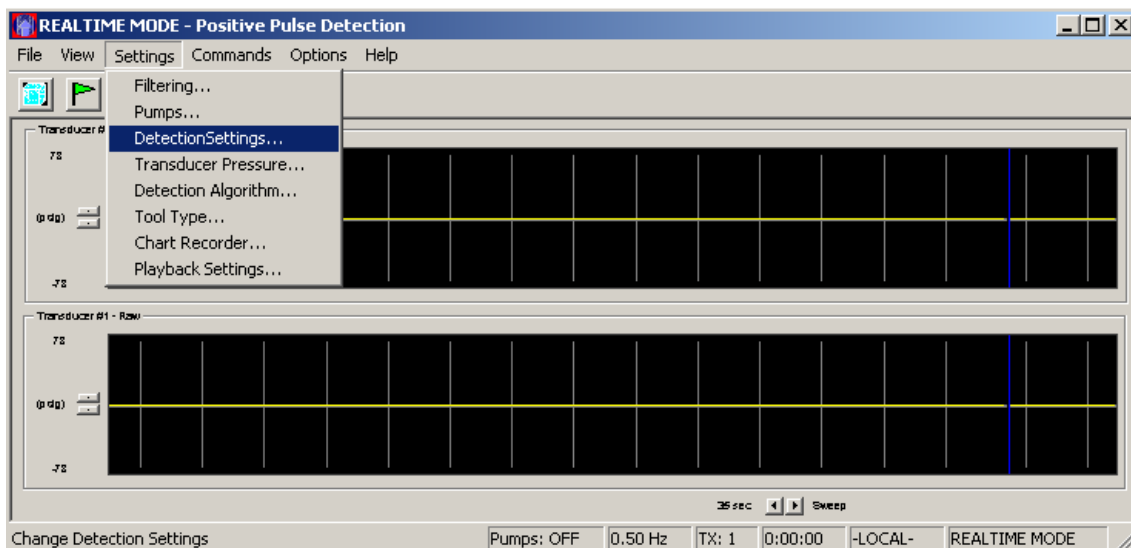


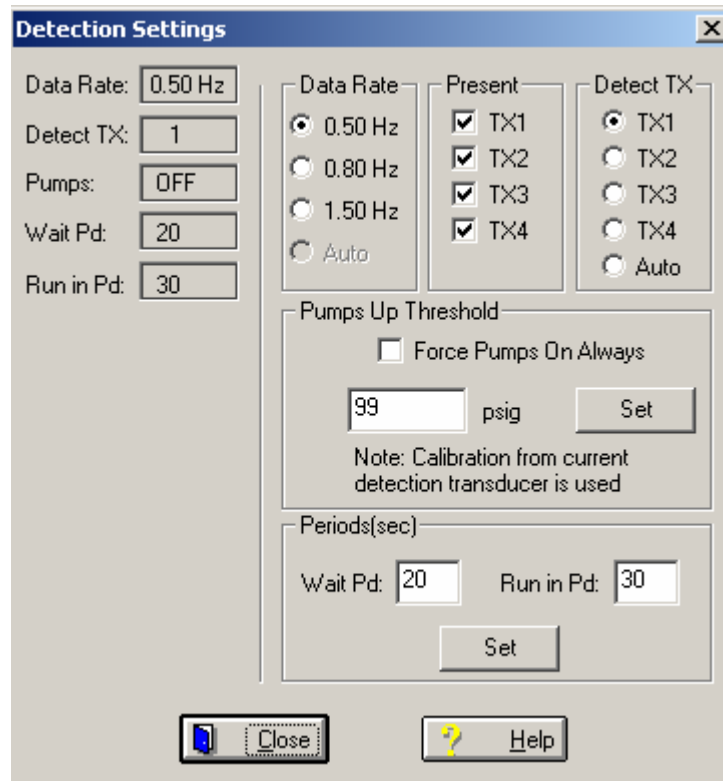
4. Verificar que la lista se ha cargado correctamente.



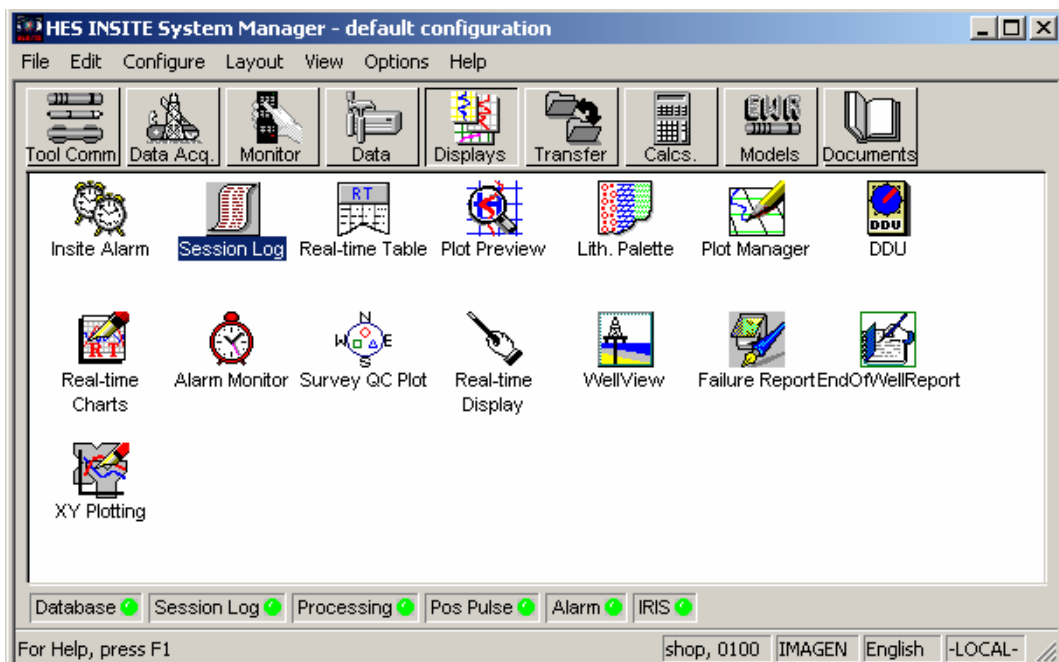


5. Seleccionar el **transducer** por el que se desea efectuar la detección.





6. Ejecutar el **session log viewer**



INSITE - Session Log Viewer --LOCAL-

File Configure Edit View Options Help

NO FILTER

```

BITRUN CHANGE FROM Jiba 4 TO shop
Drill - GeomError: No hole section
Pumps - GeomError: No hole section
Timer - GeomError: No hole section
RigFloor - GeomError: No hole section
Lag - GeomError: No hole section
Tripping - GeomError: No hole section
Pumps - GeomError: No hole section
Lag - GeomError: No hole section
Drill - Could not get Bit Diameter (for tooth wear calcs) default to 12.00 (in)
Drill - GeomError: No hole section
RigFloor - GeomError: No hole section
Tripping - GeomError: No hole section
Timer - GeomError: No hole section
Drill - Could not get Bit Diameter (for tooth wear calcs) default to 12.00 (in)
RigFloor - Unable to read pipe string data from geometry
IRIS switching INTERNAL and USER ACTIVITY to TRIP OUT
IRIS switching INTERNAL and USER ACTIVITY to DRILLING
Opening a new file for archiving: D:\Insite\Data\ppdet\wavearch\Default.000

```

For Help, press F1

NO RT PRINTER LOCAL-

7. Ejecutar el **Insite Depth** monitor y establecer los valores de profundidad en cero.
8. Ejecutar el **Insite DDU** y configurar el puerto y las opciones por el que desea transmitir la señal.
9. Ejecutar el DDU y establecer los mismos valores que en el **Insite**.
10. Ejecutar el Positive Pulse en el simulador y verificar que el nivel de presión sea cero.
11. Establecer los niveles mínimos del simulador:
 - a. In **slips**: 1 minutos
 - b. Out **Slips**: 15 minutos
 - c. Profundidad: 1000ft
 - d. Tiempo: 30 minutos
 - e. **Data Rate**: 0.5-0.8 Hz
 - f. Preámbulo y **Loop**: escoger el archivo según se haya programado la lista.
 - g. Presión máxima: 2200
 - h. Presión mínima: 2100 o establecer un delta de presión de 100 psi

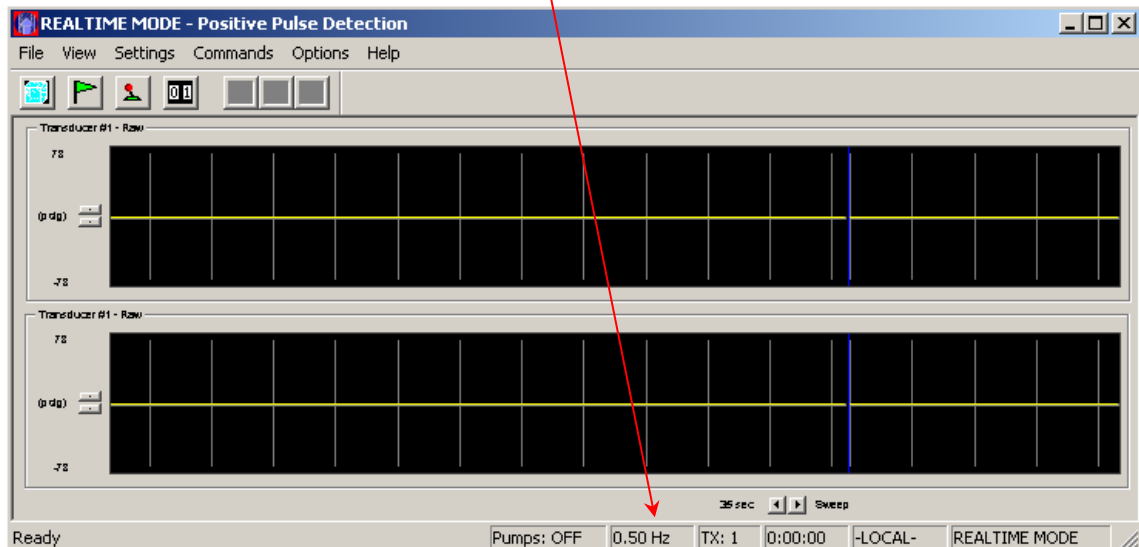
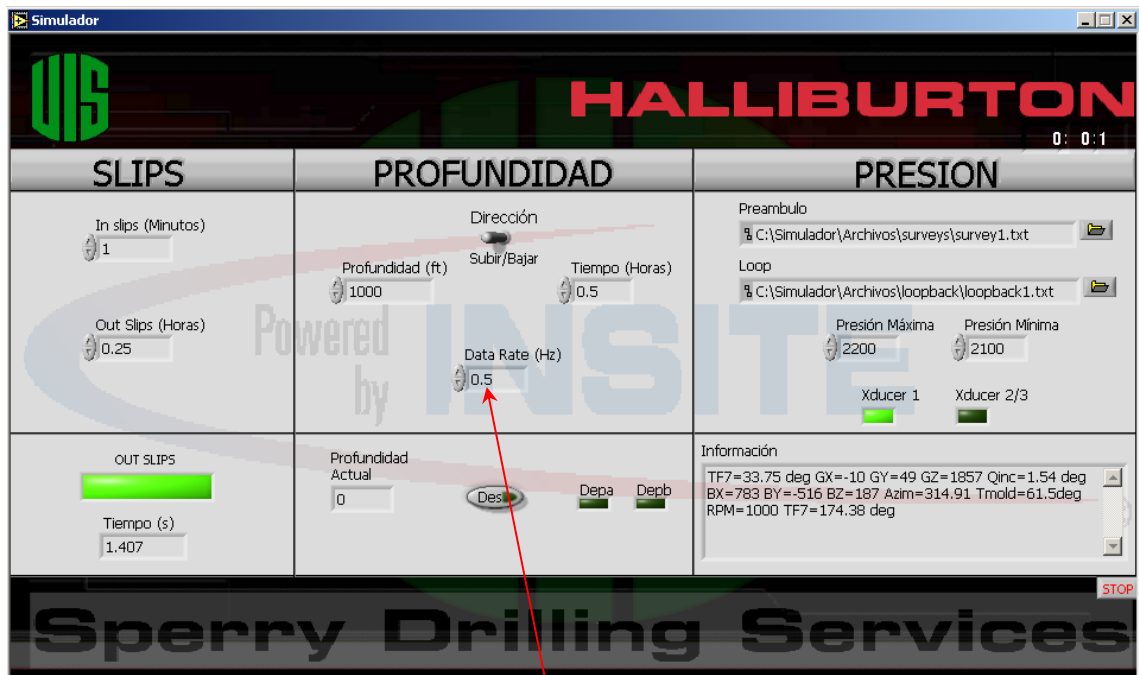
Simulador

US **HALLIBURTON** 0: 0:1

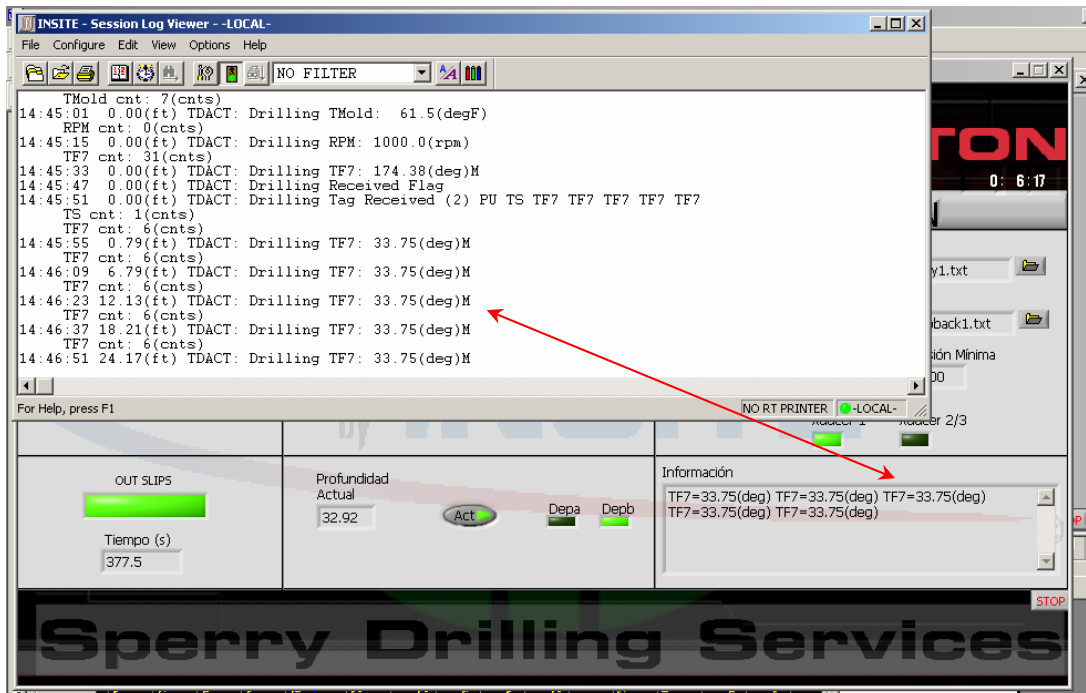
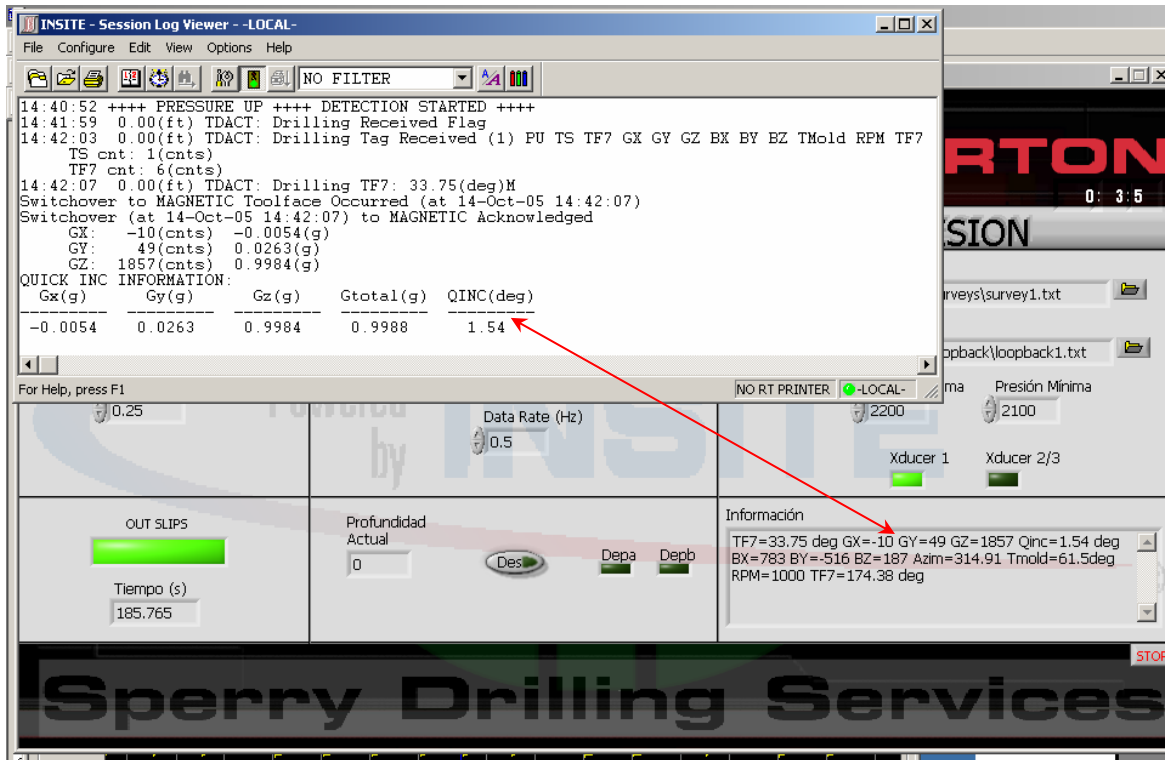
SLIPS	PROFUNDIDAD	PRESION
In slips (Minutos) <input type="text" value="1"/> Out Slips (Horas) <input type="text" value="0.25"/>	Dirección <input type="radio"/> Subir/Bajar Profundidad (ft) <input type="text" value="1000"/> Tiempo (Horas) <input type="text" value="0.5"/> Data Rate (Hz) <input type="text" value="0.5"/>	Preambulo <input type="text" value="C:\Simulador\Archivos\surveys\survey1.txt"/> Loop <input type="text" value="C:\Simulador\Archivos\loopback\loopback1.txt"/> Presión Máxima <input type="text" value="2200"/> Presión Mínima <input type="text" value="2100"/> Xducer 1 <input type="checkbox"/> Xducer 2/3 <input type="checkbox"/>
OUT SLIPS <input type="text" value="1.407"/> Tiempo (s) <input type="text" value="1.407"/>	Profundidad Actual <input type="text" value="0"/> <input type="button" value="Des"/> <input type="button" value="Depa"/> <input type="button" value="Depb"/>	Información TF7=33.75 deg GX=-10 GY=49 GZ=1857 Qinc=1.54 deg BX=783 BY=-516 BZ=187 Azim=314.91 Tmold=61.5deg RPM=1000 TF7=174.38 deg

Sperry Drilling Services STOP

12. Verificar que la frecuencia de transmisión de datos de presión sea la misma en el **Insite** y en el simulador.



13. Una vez configurado el sistema **Insite** y el simulador. Ejecutar el simulador.
14. Verificar que los datos correspondientes al preámbulo y al **loop** sean iguales en el **Insite** y en el simulador.
15. Verificar que los datos que transmite el DDU del **Insite** sean los mismos registrados por el DDU del simulador.



16. Finalizada la simulación verificar:

- Profundidad del **Insite** y del Simulador. No debe diferir de 3ft por cada 100ft.
- Ejecutar el data manager del **Insite** y verificar que se hayan tomado dos **surveys**. Y que los datos han sido almacenados correctamente y correspondan a los datos programados en el simulador.