

**GUÍA PRÁCTICA PARA EL ENSAYO TRIAXIAL ESTÁTICO CONSOLIDADO  
NO DRENADO (CU) CON GDS TRIAXIAL AUTOMATED SYSTEM Y GDSLAB  
V2.5.4.**

**ERIKA ROCIO DUARTE RUGELES  
BRAYAN FERNEY PAEZ CELIS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2016**

**GUÍA PRÁCTICA PARA EL ENSAYO TRIAXIAL ESTÁTICO CONSOLIDADO  
NO DRENADO (CU) CON GDS TRIAXIAL AUTOMATED SYSTEM Y GDSLAB  
V2.5.4.**

**ERIKA ROCIO DUARTE RUGELES  
BRAYAN FERNEY PAEZ CELIS**

**Trabajo de Grado para optar por el título de  
Ingeniero Civil**

**Director  
HEBENLY CELIS  
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2016**

## **DEDICADO**

*A Dios, por darme la sabiduría, la salud y la perseverancia para cumplir mi sueño.*

*A mi mamá, a mi compañero incondicional y toda mi familia por el amor, el apoyo y la paciencia que me brindaron.*

*Al Ingeniero Camilo Velandia Perico, porque sin él, no hubiese sido posible la realización de este proyecto.*

*A mis profesores, por mostrarme lo maravilloso de mi carrera.*

*A mis amigos, quienes hicieron de mi carrera una gran experiencia.*

**ERIKA ROCIO DUARTE RUGELES**

**DEDICADO**

*A mi familia por ser incondicionales durante este proceso.*

*A mis profesores, por mostrarme lo maravilloso de mi carrera.*

*A mis amigos, quienes hicieron de mi carrera una gran experiencia.*

**BRAYAN FERNEY PAEZ CELIS**

## **AGRADECIMIENTOS**

*Al Ingeniero Camilo velandia perico, por la asesoría y apoyo brindado durante el desarrollo del proyecto.*

*A la profesora Hebenly Celis por la colaboración y orientación brindada en el desarrollo de este proyecto.*

**ERIKA ROCIO DUARTE RUGELES  
BRAYAN FERNEY PAEZ CELIS**

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	18
1. METODOLOGÍA.....	19
2. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.....	29
2.1. MARCO DE CARGA LF50 50KN GDS V2.....	30
2.1.1. Funciones del marco de carga.....	31
2.1.2. Interfaz de Usuario .....	31
2.2. CONTROLADORES DE PRESIÓN STDDPC V2.....	36
2.2.1. Conexión del dispositivo .....	36
2.2.2. Códigos de luces LED .....	37
2.2.3. Operación básica.....	38
2.2.4. Teclado inteligente.....	38
2.3. DISPOSITIVO DE ADQUISICIÓN DE DATOS .....	46
2.3.1. Transductores de conexión para GDSTAS.....	47
2.4. CÁMARA TRIAXIAL.....	48
2.4.1. Configuración de la instrumentación de la cámara triaxial.....	49
2.4.2. Transductor de desplazamiento.....	49
2.5. TRANSDUCTOR DE PRESIÓN DE POROS .....	50
2.6. BASE SUPERIOR (CABEZAL-TOP CAP) Y BASE INFERIOR (PEDESTAL) DE LA PROBETA .....	50
2.7. PIEDRAS POROSAS .....	51
2.8. MEMBRANA DE CAUCHO.....	51
2.9. LLAVES .....	51
2.10. SOFTWARE GDSLAB V2.5.4.....	52
2.10.1. Ejecución de prueba con GDSLAB.....	52
2.10.2. Entorno grafico GDSLAB.....	54

2.10.3. Seleccionar archivo de datos.....	61
2.10.4. Introducir detalles de la muestra.....	63
2.10.5. Añadir etapa de prueba.....	66
2.10.6. Ventana de pantalla de prueba.....	68
3. PREPARACIÓN Y MONTAJE DE LA MUESTRA .....	71
4. SATURACIÓN .....	88
4.1. CHEQUEO DEL VALOR B .....	89
4.2. PASOS PARA REALIZAR LA ETAPA DE SATURACIÓN Y LA COMPROBACIÓN DEL VALOR B-SKEMPTON UTILIZANDO EL SOFTWARE.....	91
5. CONSOLIDACIÓN.....	108
5.1 PASOS PARA REALIZAR LA ETAPA DE CONSOLIDACIÓN UTILIZANDO EL SOFTWARE GDSLAB.....	109
6. CORTE DE LA MUESTRA.....	114
6.1. PASOS PARA REALIZAR LA ETAPA DE CORTE DE LA MUESTRA UTILIZANDO EL SOFTWARE GDSLAB .....	114
7. RESULTADOS.....	126
8. CONCLUSIONES .....	129
BIBLIOGRAFÍA.....	130
ANEXOS.....	131

## TABLA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Equipo GDSTAS. ....	29
<b>Figura 2.</b> Marco de carga. ....	30
<b>Figura 3.</b> Panel frontal. ....	31
<b>Figura 4.</b> Pantalla gráfica. ....	32
<b>Figura 5.</b> Estados límites. ....	34
<b>Figura 6.</b> Menú de comandos marco de carga. ....	35
<b>Figura 7.</b> Menú principal marco de carga. ....	35
<b>Figura 9.</b> Configuración básica del sistema. ....	37
<b>Figura 10.</b> Conector STDDPC e indicador de detalles. ....	38
<b>Figura 11.</b> Teclado inteligente y funciones principales. ....	38
<b>Figura 12.</b> Pantalla del teclado inteligente. ....	39
<b>Figura 13.</b> Menú principal. ....	41
<b>Figura 14.</b> Lista desplegable del menú de operación. ....	41
<b>Figura 15.</b> Diálogo de entrada numérica. ....	42
<b>Figura 16.</b> Atajos y comandos rápidos. ....	42
<b>Figura 17.</b> a) Menú de comandos 1 de 2, b) Menú de comandos 2 de 2. ....	43
<b>Figura 18.</b> Configuración de presión. ....	44
<b>Figura 19.</b> Configuración de volumen. ....	44
<b>Figura 20.</b> Registrador de datos. ....	46
<b>Figura 21.</b> Conexión de canales del registrador de datos. ....	47
<b>Figura 22.</b> Cámara triaxial. ....	48
<b>Figura 23.</b> Transductor de presión de poro. ....	50
<b>Figura 24.</b> Accesorios de preparación de muestra. ....	51
<b>Figura 25.</b> Pantalla de inicio GDSLAB. ....	53
<b>Figura 26.</b> Crear estación. ....	53
<b>Figura 27.</b> Selección de la configuración de la estación. ....	53
<b>Figura 28.</b> Plan de prueba. ....	54
<b>Figura 29.</b> Entorno GDSLAB. ....	55
<b>Figura 30.</b> Barra de menú. ....	55
<b>Figura 31.</b> Barra de herramientas de manejo. ....	57
<b>Figura 32.</b> Visualizador de objetos. ....	58
<b>Figura 33.</b> Diagrama esquemático del visualizador de objetos. ....	58
<b>Figura 34.</b> Seleccionar dispositivo. ....	59
<b>Figura 35.</b> Barra de herramientas del visualizador de objetos. ....	60
<b>Figura 36.</b> Seguridad de la estación. ....	60
<b>Figura 37.</b> Seleccionar archivo de datos. ....	61
<b>Figura 38.</b> Archivo de datos. ....	61
<b>Figura 39.</b> Información de datos. ....	62

<b>Figura 40.</b> Nombre de archivo para prueba. ....	63
<b>Figura 41.</b> Detalles de la muestra. ....	63
<b>Figura 42.</b> Cuadro de diálogo primera prueba.....	64
<b>Figura 43.</b> Cuadro de diálogo sobre el contacto de la muestra. ....	65
<b>Figura 44.</b> Registro de detalles de la muestra.....	65
<b>Figura 45.</b> Detalles de muestra configurados.....	66
<b>Figura 46.</b> Añadir etapa de prueba.....	66
<b>Figura 47.</b> Crear etapa de prueba. ....	67
<b>Figura 48.</b> Lista de pruebas. ....	67
<b>Figura 49.</b> Ventana de gráficos de prueba. ....	68
<b>Figura 50.</b> Opciones gráficas. ....	69
<b>Figura 51.</b> Opciones de datos en vivo. ....	69
<b>Figura 52.</b> Datos de prueba en vivo. ....	70
<b>Figura 53.</b> Control de prueba. ....	70
<b>Figura 54.</b> Montaje en el pedestal. ....	71
<b>Figura 55.</b> Instalación del molde. ....	72
<b>Figura 56.</b> Preparación de la muestra. ....	72
<b>Figura 57.</b> Colocar piedra porosa.....	73
<b>Figura 58.</b> Cierre hermético de la muestra.....	73
<b>Figura 59.</b> Línea de contrapresión. ....	74
<b>Figura 60.</b> Conexión entre el controlador y la llave de contrapresión.....	74
<b>Figura 61.</b> Mecanismo para aplicar succión.....	75
<b>Figura 62.</b> Retirar molde. ....	75
<b>Figura 63.</b> Conectar línea al controlador. ....	76
<b>Figura 64.</b> Mecanismo de vaciado del controlador.....	76
<b>Figura 65.</b> Mecanismo de llenado del controlador.....	76
<b>Figura 66.</b> Desairar el controlador.....	77
<b>Figura 67.</b> Mecanismo de desairado del controlador. ....	77
<b>Figura 68.</b> Sensor de presión de poros. ....	78
<b>Figura 69.</b> Preparación del sistema.....	78
<b>Figura 70.</b> Conexión controlador- sensor presión de poros. ....	78
<b>Figura 71.</b> Mecanismo de lavado de línea y sensor de presión de poros. ....	79
<b>Figura 72.</b> Cable de la celda de carga. ....	79
<b>Figura 73.</b> Colocar anillo de caucho.....	80
<b>Figura 74.</b> Fijación del marco.....	80
<b>Figura 75.</b> Ubicar cámara triaxial. ....	81
<b>Figura 76.</b> Sellador de la cámara triaxial.....	81
<b>Figura 77.</b> Llenado de la cámara triaxial. ....	82
<b>Figura 78.</b> Mecanismo de vaciado del controlador.....	82
<b>Figura 79.</b> Mecanismo de llenado del controlador.....	83
<b>Figura 80.</b> Mecanismo de desairado del controlador. ....	83
<b>Figura 81.</b> Mecanismo de desairado de la línea.....	83
<b>Figura 82.</b> Mecanismo de aplicar presión de confinamiento. ....	84
<b>Figura 83.</b> Mecanismo de lavado de la muestra.....	85
<b>Figura 84.</b> Lavado de la muestra.....	86

<b>Figura 85.</b> Llaves del sensor de presión de poros.....	86
<b>Figura 86.</b> Conexión del controlador y la llave de contrapresión.....	87
<b>Figura 87.</b> Saturación de muestras mediante el aumento de la contrapresión. ...	89
<b>Figura 88.</b> Mecanismo de chequeo del valor B. ....	89
<b>Figura 89.</b> Valor B - Confirmar la saturación de la muestra. ....	90
<b>Figura 90.</b> Ventana de inicio del Software.....	91
<b>Figura 91.</b> Crear estación.....	91
<b>Figura 92.</b> Selección de la configuración de estación. ....	92
<b>Figura 93.</b> Plan de prueba.....	92
<b>Figura 94.</b> Botón de manejo.....	93
<b>Figura 95.</b> Visor de objetos. ....	93
<b>Figura 96.</b> Diagrama configuración de la estación. ....	94
<b>Figura 97.</b> Lecturas actuales.....	94
<b>Figura 98.</b> Seleccionar archivo de datos. ....	95
<b>Figura 99.</b> Archivo de datos de único directorio. ....	95
<b>Figura 100.</b> Formato de datos a guardar.....	96
<b>Figura 101.</b> Nombre de archivo para prueba. ....	96
<b>Figura 102.</b> Pestaña de detalles de la muestra.....	97
<b>Figura 103.</b> Tipo de ensayo. ....	97
<b>Figura 104.</b> Cuadro de diálogo primera prueba.....	97
<b>Figura 105.</b> Cuadro de diálogo de contacto de la muestra.....	98
<b>Figura 106.</b> Detalles de la muestra. ....	98
<b>Figura 107.</b> Añadir tipo de prueba.....	99
<b>Figura 108.</b> Parámetros para realizar la etapa de saturación. ....	99
<b>Figura 109.</b> Condiciones de terminación de la etapa. ....	100
<b>Figura 110.</b> Condiciones de inicio de prueba. ....	100
<b>Figura 111.</b> Cuadro de lista de la etapa de saturación.....	101
<b>Figura 112.</b> Ventana de gráficos de prueba. ....	101
<b>Figura 113.</b> Opciones gráficas para la etapa de saturación. ....	102
<b>Figura 114.</b> Panel de control. ....	103
<b>Figura 115.</b> Crear nueva etapa de prueba. ....	103
<b>Figura 116.</b> Parámetros para realizar la comprobación del valor B.....	104
<b>Figura 117.</b> Condiciones de terminación del valor B. ....	104
<b>Figura 118.</b> Condiciones de iniciar la etapa del valor B. ....	105
<b>Figura 119.</b> Cuadro de lista con la prueba del valor B. ....	105
<b>Figura 120.</b> Opciones gráficas para la etapa del valor B.....	106
<b>Figura 121.</b> Mecanismo de consolidación. ....	108
<b>Figura 122.</b> Consolidación de muestra.....	108
<b>Figura 123.</b> Panel de control. ....	109
<b>Figura 124.</b> Crear nueva etapa de prueba. ....	110
<b>Figura 125.</b> Parámetros para realizar la consolidación. ....	110
<b>Figura 126.</b> Condiciones de terminación de la consolidación. ....	111
<b>Figura 127.</b> Condiciones de inicio para la etapa de consolidación. ....	111
<b>Figura 128.</b> Cuadro de lista con la prueba de consolidación.....	112
<b>Figura 129.</b> Opciones gráficas para la etapa de consolidación.....	113

<b>Figura 130.</b> Barra de menú. ....	115
<b>Figura 131.</b> Crear estación para corte.....	115
<b>Figura 132.</b> Configuración de estación de corte.....	115
<b>Figura 133.</b> Plan de prueba de corte.....	116
<b>Figura 134.</b> Selección archivo de datos de corte. ....	116
<b>Figura 135.</b> Archivo de datos de único directorio. ....	116
<b>Figura 136.</b> Formato de datos de corte a guardar.....	117
<b>Figura 137.</b> Nombre de archivo para prueba de corte.....	118
<b>Figura 138.</b> Pestaña de la muestra para el corte. ....	118
<b>Figura 139.</b> Tipo de ensayo. ....	118
<b>Figura 140.</b> Cuadro de diálogo primera prueba de corte.....	119
<b>Figura 141.</b> Cuadro de diálogo de contacto de la muestra en etapa de corte. ....	119
<b>Figura 142.</b> Detalles de la muestra. ....	120
<b>Figura 143.</b> Añadir tipo de prueba para corte.....	120
<b>Figura 144.</b> Parámetros para realizar la etapa de corte. ....	121
<b>Figura 145</b> Condiciones de acoplado para corte.....	121
<b>Figura 146.</b> Condiciones de terminación de la etapa de corte. ....	122
<b>Figura 147.</b> Cuadro de lista con la prueba de corte. ....	123
<b>Figura 148.</b> Ventana de gráficos de la prueba de corte. ....	124
<b>Figura 149.</b> Opciones gráficas para la etapa de corte.....	124
<b>Figura 150.</b> Esfuerzo desviador [KPa] vs Deformación axial [%]. ....	126
<b>Figura 151.</b> Presión de poros [KPa] vs Deformación axial [%]. ....	127
<b>Figura 152.</b> Relación de esfuerzos de Mohr-Coulomb. ....	128

## TABLA DE ANEXOS

	Pág.
<b>ANEXO A RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO TRIAXIAL.....</b>	<b>131</b>

## RESUMEN

**TÍTULO:** GUIA PRÁCTICA PARA EL ENSAYO TRIAXIAL ESTÁTICO CONSOLIDADO NO DRENADO (CU) CON GDS TRIAXIAL AUTOMATED SYSTEM Y GDSLAB V2.5.4.

**ÁUTORES:** ERIKA ROCIO DUARTE RUGELES  
BRAYAN FERNEY PÁEZ CELIS

**PALABRAS CLAVES:** Contrapresión, presión de cámara, presión de poros, esfuerzo desviador, deformación axial, ángulo de fricción.

**RESUMEN:** Este trabajo se enfoca en la creación de una guía práctica del funcionamiento del equipo GDS TRIAXIAL AUTOMATED SYSTEM y su software GDSLAB v2.5.4, el cual consiste en un sistema automatizado de ensayo triaxial que se configura mediante la elección de un rango de marcos de carga, cámaras triaxiales, y controladores de presión. Este sistema permite al usuario configurar fácilmente los parámetros de prueba (Presión de cámara, contrapresión, aplicación de carga, deformación axial, velocidad de falla, tiempo de ensayo, entre otros) y ejecutar automáticamente diversos ensayos en laboratorio proporcionando un control de prueba con gráficos en línea. Para la creación de dicha guía, se realiza el ensayo de compresión triaxial consolidado no drenado (CU) con sus respectivas etapas de prueba: rampa de saturación, chequeo del valor B, consolidación isotrópica y falla de la muestra a un suelo granular para determinar el parámetro de resistencia al corte, ángulo interno de fricción ( $\Phi$ ), siguiendo el procedimiento descrito en la norma de INVIAS INV-E 153-07. De Los datos obtenidos durante el ensayo se analizaron específicamente las gráficas de esfuerzo desviador vs deformación, Presión de poros vs Deformación y el círculo de esfuerzos de Mohr-Coulomb, obteniendo como resultado un comportamiento típico de una arena suelta (falla plástica), que experimenta un aumento de la resistencia a cortante a medida que se incrementa la deformación.

\*Trabajo de grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director Hebenly Celis Leguizamo, M.Sc. Ingeniera Civil.

## ABSTRACT

**TITLE:** HANDBOOK PRACTICE FOR TEST STATIC CONSOLIDATED UNDRAINED (CU) WITH GDS TRIAXIAL AUTOMATED SYSTEM Y GDSLAB V2.5.4.

**ÁUTHORS:** ERIKA ROCIO DUARTE RUGELES  
BRAYAN FERNEY PÁEZ CELIS

**KEY WORDS:** Back pressure, cell pressure, pore pressure, deviator stress, axial strain, friction angle.

**ABSTRACT:** This work focuses on the creation of a practical handbook of the GDS TRIAXIAL AUTOMATED SYSTEM operation equipment and the GDSLAB software v2.5.4, which is an automated triaxial testing configured by choosing from a range of load frames, triaxial cells and pressure controllers. This system allows the user to easily configure the test parameters (cell pressure, Back pressure, application of load, axial strain, failure velocity, time stages, etc.) and automatically perform laboratory tests, providing a test control with inline graphics. For the creation of this handbook is performed the consolidated Undrained triaxial compression test (CU) with their respective stages of testing: check value B, Ramp saturation, consolidation isotropic and failure sample a granular soil to determine the parameter the shear strength, internal friction angle ( $\Phi$ ), following the procedure described in the standard specifications E 153-07 INVIAS-INV. From the data obtained during the test, it was specifically analyzed the graphics of the deviator stress vs strain, pore pressure vs strain and the circle the stress of Mohr-Coulomb, obtaining as result of a typical loose sand behavior (plastic failure) that experiences increased shear resistance as the strain increases.

\*Bachelor Thesis

\*\*Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Hebenly Celis Leguizamo, M.Sc. Ingeniera Civil.

## INTRODUCCIÓN

Debido a que los suelos son materiales complejos que exhiben un rango amplio de comportamientos mecánicos que dependen de la composición y estructura del suelo, del historial de tensiones, de la densidad y de las características de la fuerza aplicada, ninguna prueba bastará por si sola para estudiar todos los aspectos importantes del comportamiento esfuerzo-deformación. Sin embargo en los laboratorios uno de los ensayos más aproximados a los estados reales de carga del suelo es la prueba de compresión triaxial. El ensayo triaxial se utiliza frecuentemente en la mecánica del suelo, en los cuales unas muestras cilíndricas de suelo son sometidas a un estado axial simétrico de tensiones y utilizando la aplicación de deformaciones controladas o esfuerzos controlados de la carga axial, se incrementa dicha carga hasta que la muestra falle<sup>1</sup>.

Dentro de una amplia gama de equipos especializados para realizar el ensayo triaxial, la Universidad Industrial de Santander ha adquirido una sofisticada herramienta desarrollada por la empresa GDS instruments, el equipo GDS TRIAXIAL AUTOMATED SYSTEM integrado por un marco de carga LF50 GDS (50 KN) con una interfaz USB, un controlador de presión de cámara, un controlador de contrapresión, un dispositivo de ocho canales de adquisición de datos de 16 bits, un transductor de desplazamiento axial, un transductor de presión de poros y el software GDSLAB v2.5.4.

Por el desconocimiento del sistema de operación del equipo es oportuno crear una guía práctica dando a conocer el funcionamiento de la máquina mediante el desarrollo del ensayo de compresión triaxial consolidado no drenado (CU) a un suelo granular para determinar el parámetro de resistencia al corte, ángulo de fricción ( $\Phi$ ), siguiendo el procedimiento descrito en la norma de INVIAS INV-E 153-07.

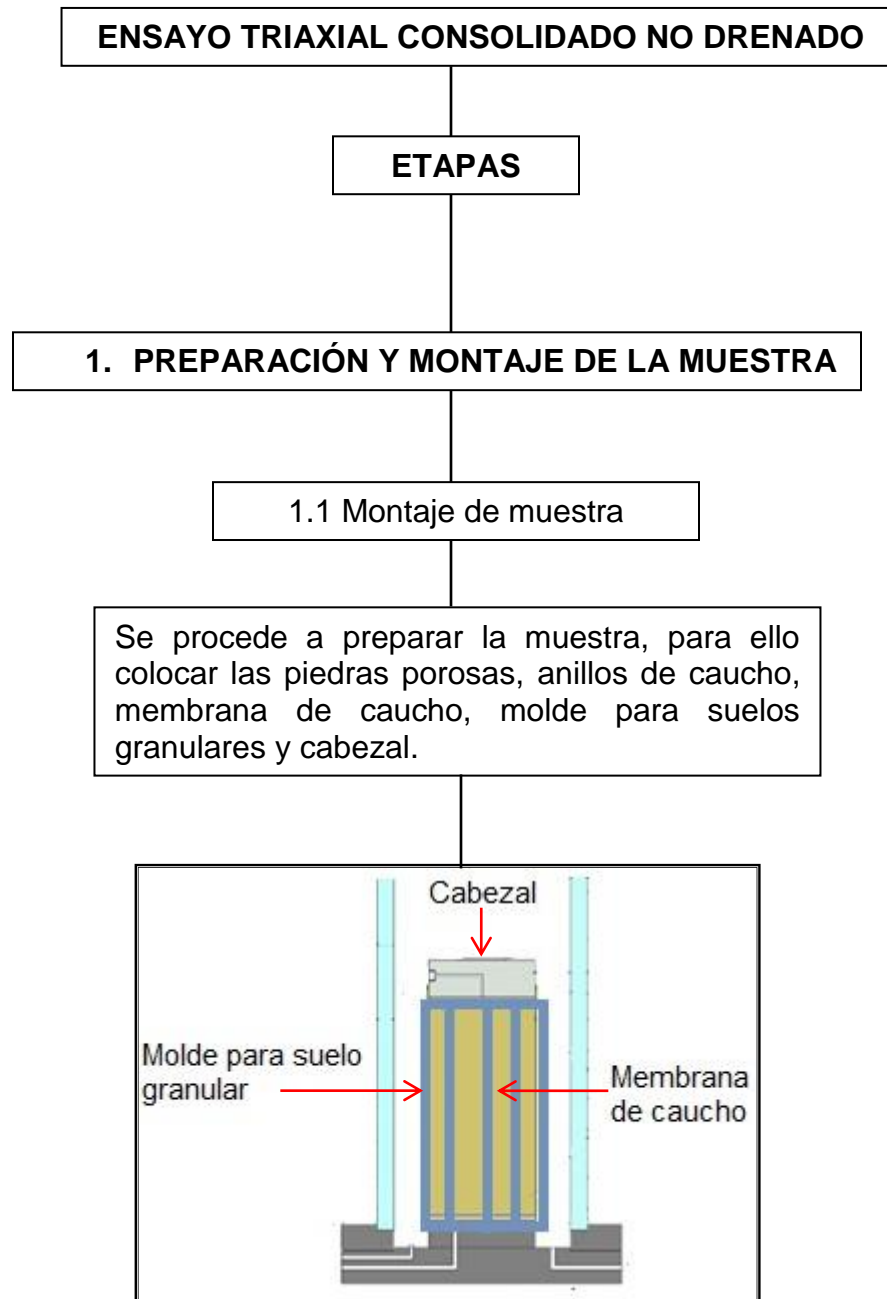
De Los datos obtenidos durante el ensayo se analizaron específicamente las gráficas de esfuerzo desviador vs deformación, Presión de poros vs Deformación y el círculo de esfuerzos de Mohr-Coulomb, obteniendo resultados típicos de una arena suelta (falla plástica), que experimenta un aumento de la resistencia a cortante a medida que se incrementa la deformación.

---

<sup>1</sup> FERNANDEZ ALCÁNTARA, Javier. Estudio numérico del comportamiento de suelos saturados mediante el modelo de plasticidad cam-clay. {En línea}. Trabajo de grado Ingeniero Industrial. Sevilla: Universidad de Sevilla. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, 2006. Cap 2. 7p. disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4244>.

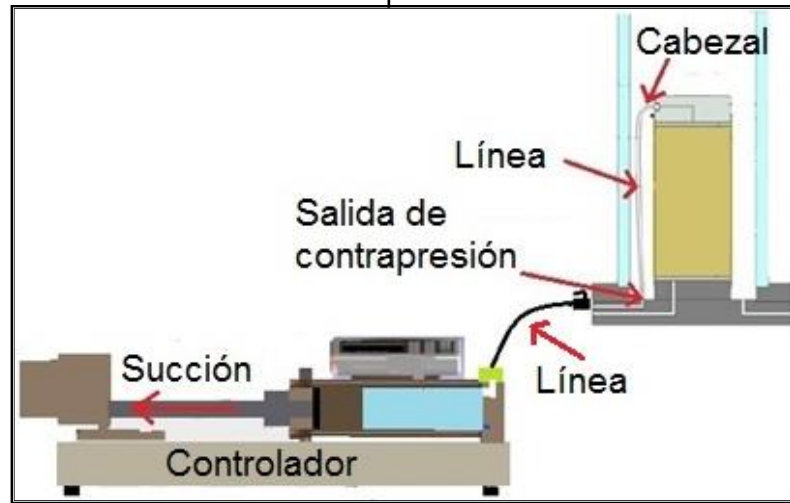
# 1. METODOLOGÍA

A continuación se presenta un esquema con el desarrollo de las etapas del ensayo triaxial estático consolidado no drenado (CU) para una muestra granular con el equipo GDSTAS.



### 1.2 Retirar el molde

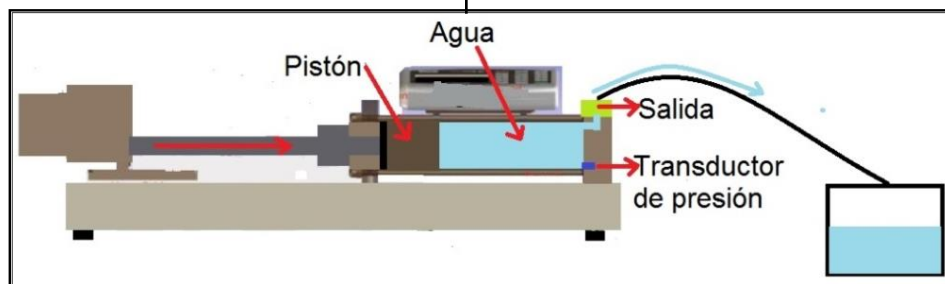
Aplicar presión de succión a la muestra con el fin de mantener los poros juntos y generar adherencia para poder retirar el molde.



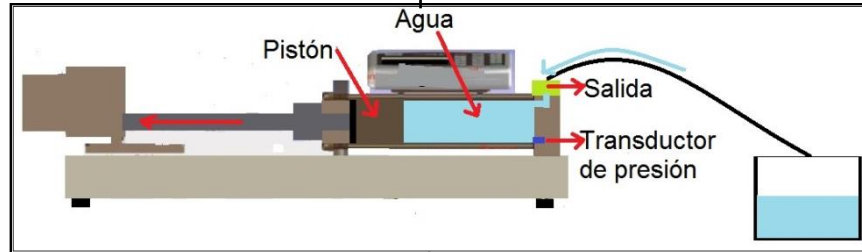
### 1.3 Lavado del controlador de contrapresión

Eliminar el aire atrapado en el cilindro

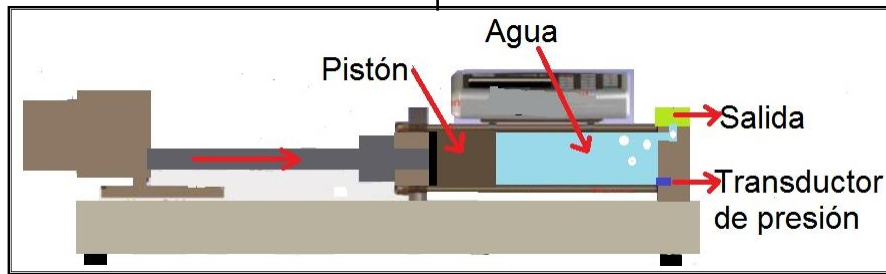
Vaciado del controlador de contrapresión



Llenado del controlador de contrapresión

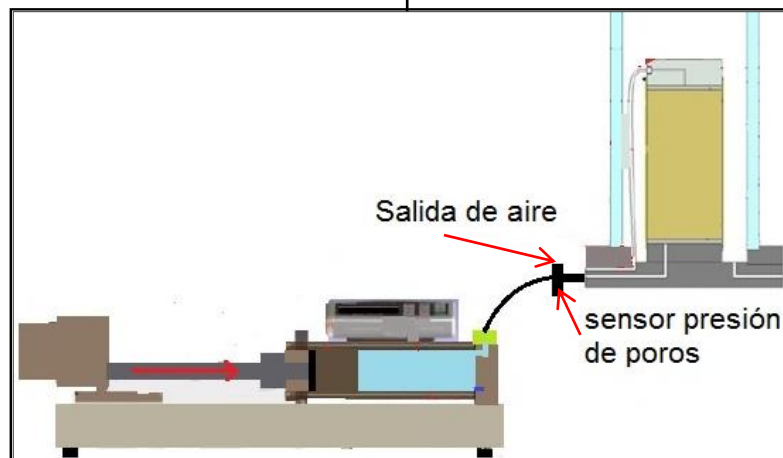


Desairar el controlador de contrapresión



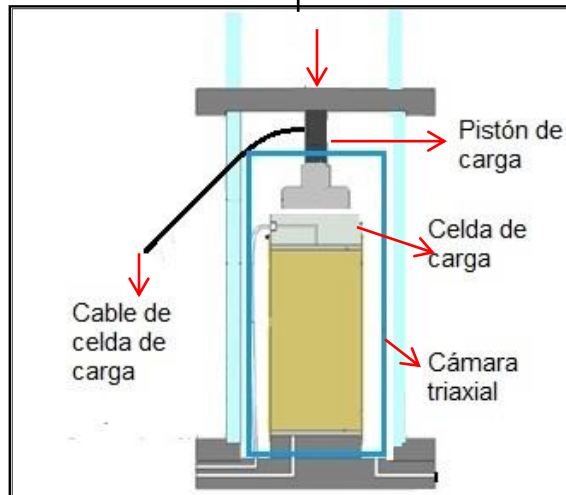
1.4 Lavado de la línea y sensor de presión de poros.

Se realiza con el fin de eliminar el aire atrapado en la línea y sensor de presión de poros.



### 1.5 Cámara triaxial

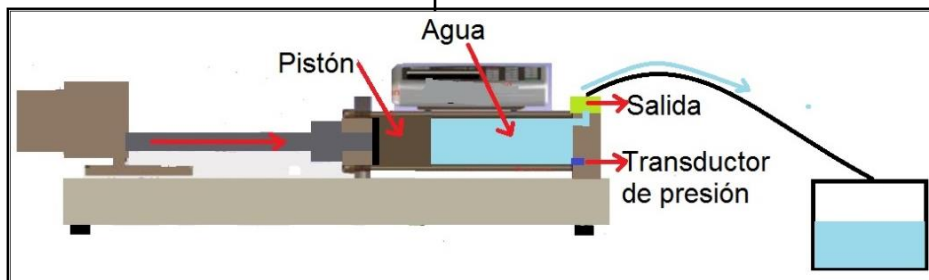
Ubicar la cámara sobre la base verificando la alineación de la muestra con el pistón de carga



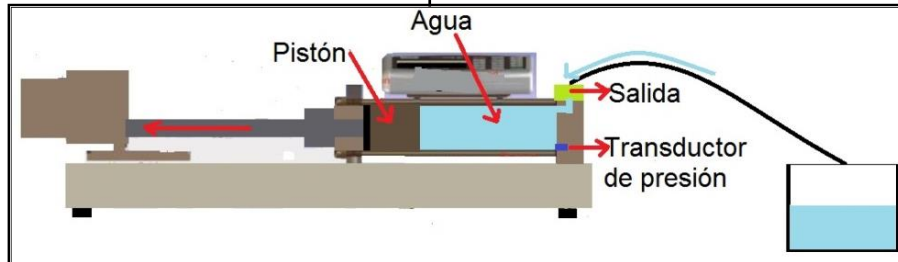
### 1.6 Lavado del controlador de presión cámara

Eliminar el aire atrapado en el cilindro

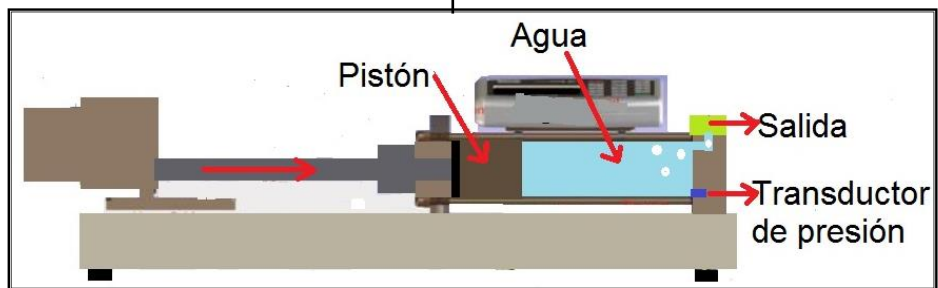
Vaciado del controlador de presión cámara



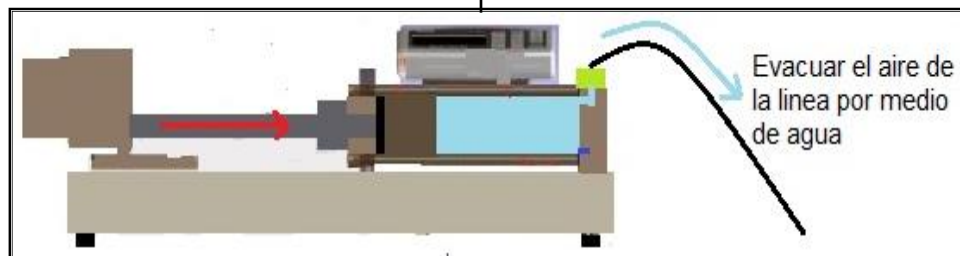
Llenado del controlador de presión cámara



Desairar el controlador de presión cámara

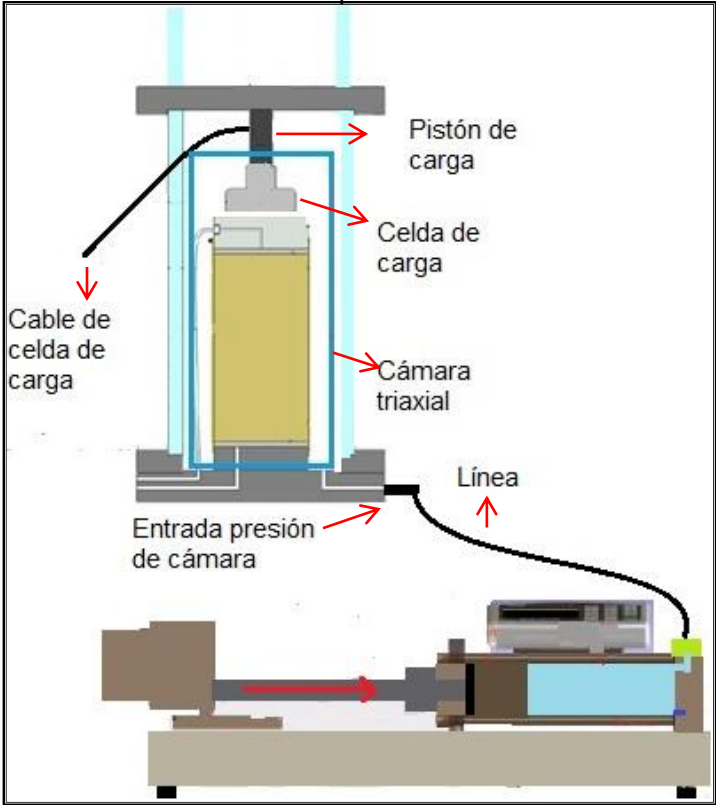


Desairar la línea que se conectará al controlador de presión cámara



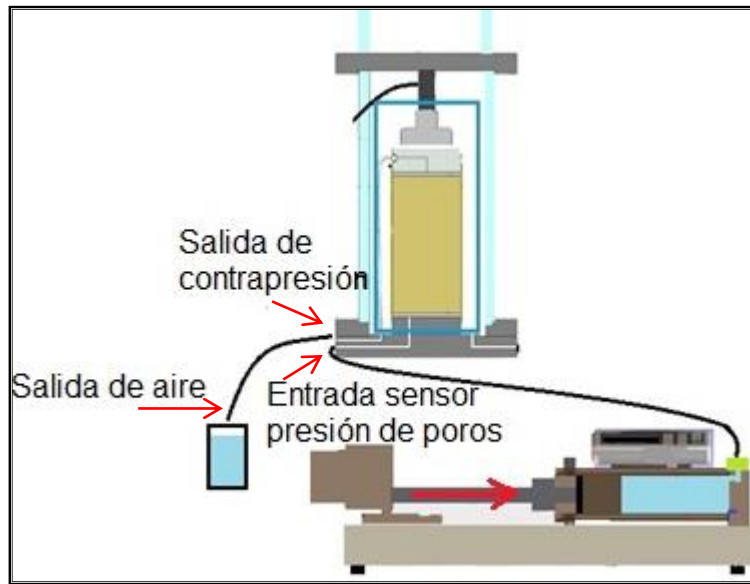
1.7 Aplicar presión de cámara

Para darle cohesión a la probeta y poder liberar la succión aplicada anteriormente dentro de la muestra.



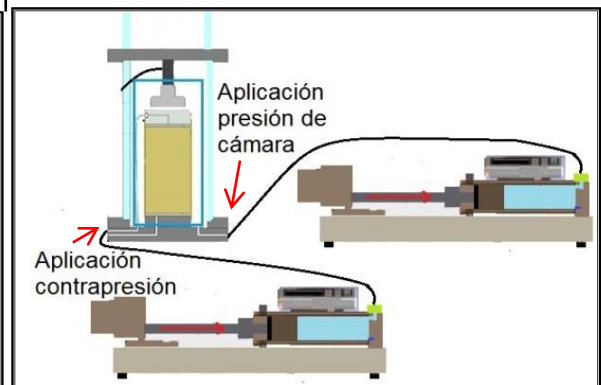
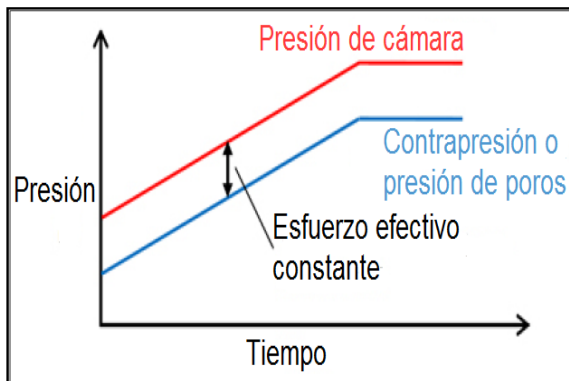
1.8 Lavado de la muestra

Sacar todo el aire atrapado dentro de la muestra desde el controlador hasta la línea de salida de contrapresión.



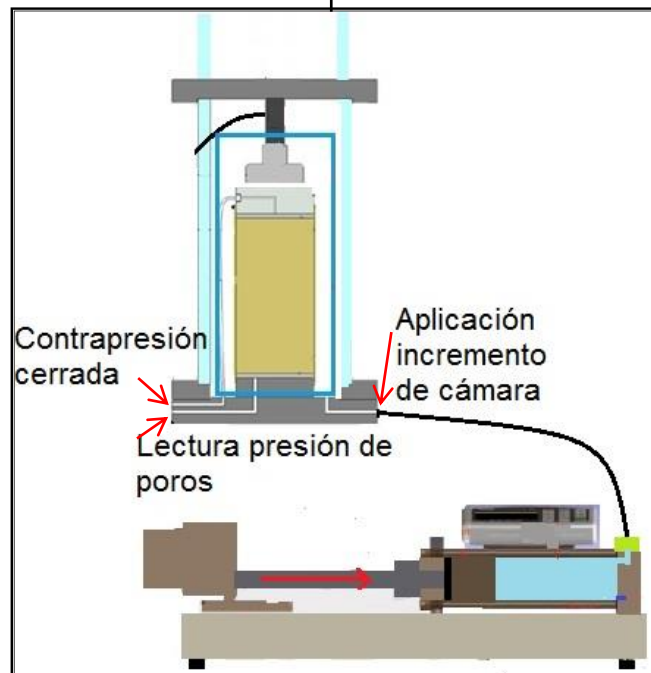
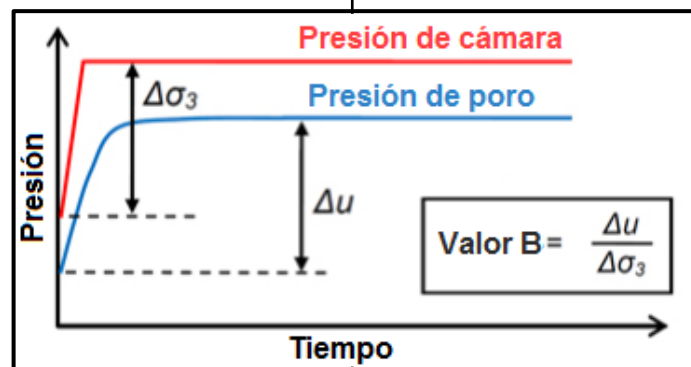
## 2. SATURACIÓN

Asegurar que todos los vacíos dentro de la muestra se llenen con agua mediante la aplicación de presión de cámara y contrapresión en la muestra.



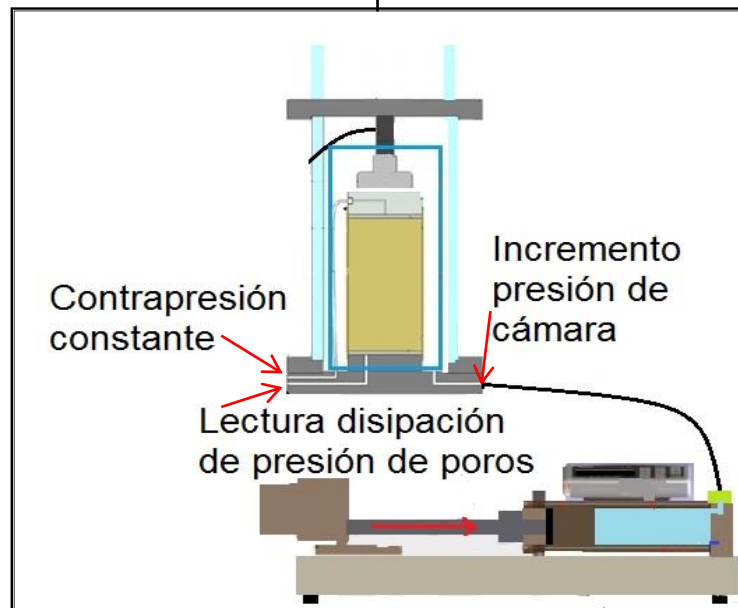
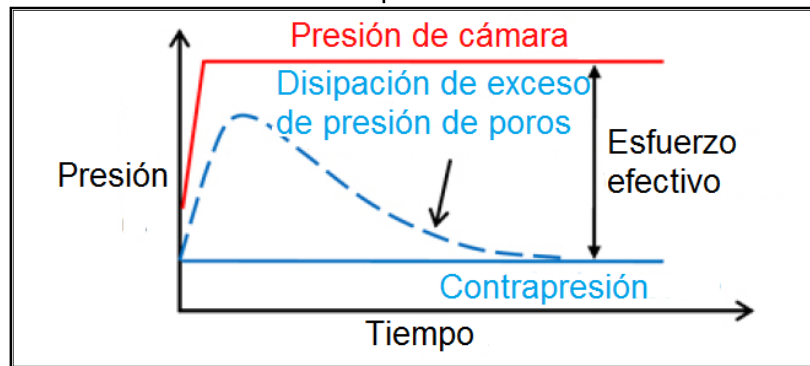
### 3. CHEQUEO VALOR B

Comprobación que el grado de saturación de la muestra es el adecuado. Requiere drenaje cerrado en la contrapresión mientras que la presión de cámara tiene un incremento para luego medir la respuesta del incremento de la presión de poros y calcular el parámetro B. El valor B debe estar entre 0,91 y 1 sino es así repetir proceso desde saturación.



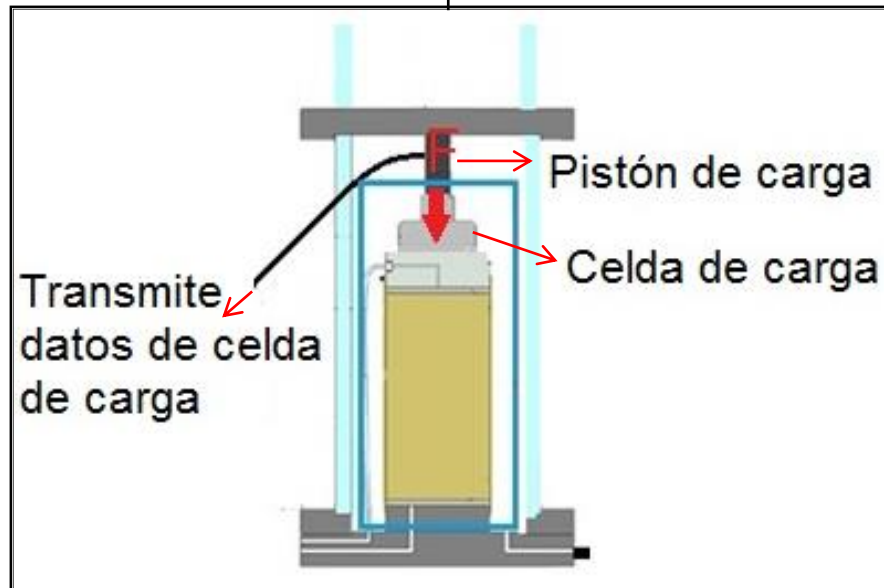
#### 4. CONSOLIDACIÓN

Se lleva a cabo mediante el aumento de la presión de cámara mientras automáticamente el controlador de contrapresión mantiene una presión constante, hasta que la diferencia entre la presión de cámara y la contrapresión sea igual al esfuerzo de consolidación efectivo requerido. Este proceso se continúa hasta que el cambio de volumen  $\Delta V$  de la muestra ya no sea significativo, y al menos el 95% de la presión de poros en exceso se ha disipado.



## 5. CORTE DE LA MUESTRA

Aplicar una fuerza axial o una deformación axial a una velocidad constante. La etapa se continúa hasta que se ha alcanzado un criterio de rotura especificada.



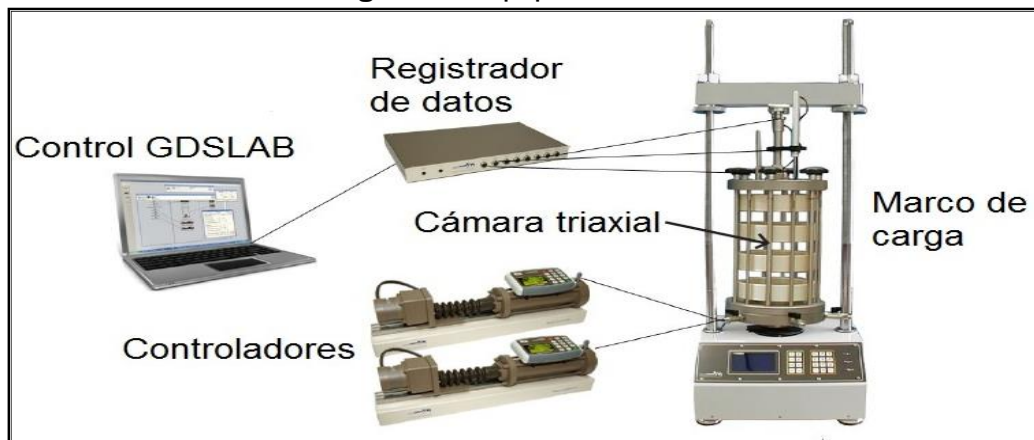
## 2. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

Este equipo está configurado para realizar los siguientes ensayos de laboratorio:

- Consolidación isotrópica.
- Consolidación anisotrópica.
- No consolidado no drenado.
- Consolidado no drenado con medición de presión de poros.
- Consolidado drenado con medición de presión de poros.
- Trayectorias de esfuerzos.
- Carga cíclica de baja velocidad.

El sistema de ensayo triaxial automático GDS (GDSTAS) es un sistema de ensayo triaxial compuesto por:

**Figura 1.** Equipo GDSTAS.



**Fuente:** REES, SEEN. Parte 1: Introducción al ensayo triaxial. Dr. especialista en Geotecnia de GDS instrument. 2013. p.2.

- Marco de carga LF50 50kN GDS v2 con una interfaz USB.
- Controlador de presión de cámara y contrapresión STDDPC v2.
- Dispositivo de 8 canales de adquisición de datos de 16 Bits.
- Cámara triaxial.
- Transductor de presión de poro.
- Computador con el software GDSLAB v2.5.4.

En general, todas las precisiones del sistema GDSTAS son mayores a 0,5% de los

valores de la escala completa. Para el sistema de adquisición de datos los valores medidos tienen una resolución que es mayor a 0,1% de los valores de la escala completa.

- Todos los controladores de presión tienen una precisión de 1KPa.
- El marco de carga es controlado por la velocidad de deformación<sup>2</sup>.

## 2.1. MARCO DE CARGA LF50 50KN GDS V2<sup>3</sup>

**Figura 2.** Marco de carga.



**Fuente:** <http://www.gdsinstruments.com/gds-products/50kn-load-frame>.

El marco de carga GDS LF50kN es un dispositivo electromecánico diseñado para uso en ensayos de laboratorio geotécnicos. Es usado principalmente para ensayos basados en la velocidad como la utilizada en corte tradicional del triaxial o consolidación CRS (taza constante de esfuerzo por sus siglas en ingles).

El marco de carga se conecta a un computador mediante USB y es seleccionable a través del número de serie. Esto hace más rápida la configuración y reconexión automática si en algún caso la comunicación es interrumpida.

<sup>2</sup> GDS INSTRUMENTS. GDSTAS\_Handbook.Triaxial Automated System. London Road, Hook, Hampshire, RG27 9GR. (25 Sep, 2006). 4 p. [Traducido por Autores].

<sup>3</sup> GDS INSTRUMENTS. GDS LF50 50KN Load Frame v2 Handbook. London Road. Hook, Hampshire, RG27 9GR. (25 Sep, 2006). 2-8 p. [Traducido por Autores].

### 2.1.1. Funciones del marco de carga

A continuación se presenta un resumen de las características ofrecidas por el marco de carga LF50 50kN GDS v2:

- Dirige velocidades de desplazamiento desde 0,00001 a 90 mm/min.
- Tiene un recorrido nominal de 95mm.
- Posee una pantalla grafica OLED que muestra claramente la velocidad actual, posición y estado del marco de carga.
- Cuenta con Luz LED para indicar el estado, dirección de la placa, velocidad, y aproximación a los límites del marco.
- Protección contra fallos de alimentación del PC.
- Genera protección contra daño eléctrico (Sobrecarga accidental o falla eléctrica en la fuente durante la prueba).
- Permite control USB desde la computadora y recolección de datos mediante el software GDSLAB.

### 2.1.2. Interfaz de Usuario

La interacción manual con el marco de carga se realiza a través de 21 teclas y la pantalla OLED en la parte frontal como se muestra a continuación:

**Figura 3.** Panel frontal.



### 2.1.2.1. Pantalla gráfica OLED

La pantalla gráfica muestra la siguiente información: La velocidad actual en [mm/min], posición en [mm], y el último comando o mensaje de advertencia desde el marco de carga.

Cuando el marco de carga es encendido por primera vez se presenta la pantalla como en la siguiente figura. Aquí se puede observar que el marco de carga se encuentra actualmente sin errores y la posición medida es 0 [mm].

El icono USB se muestra en la esquina inferior derecha de la pantalla. Este icono simboliza que el marco está conectado a un puerto USB de un computador.

**Figura 4.** Pantalla gráfica.



### 2.1.2.2. Mensajes de estados

Los mensajes de estados que pueden presentarse en el marco de carga aparecen con la etiqueta “estados” y sus significados son explicados a continuación:

- Extendiendo (Extending): La placa se extiende (moviéndose hacia arriba) a una velocidad o desplazamiento objetivo.
- Retracción (Retracting): La placa se retrae (moviéndose hacia abajo) a una velocidad o desplazamiento objetivo.
- Detenido (Stopped): La placa está detenida.
- Límite extensión: La placa ha alcanzado el límite de extensión (superior) y retrocederá 2 mm automáticamente.
- Límite retracción: La placa ha alcanzado el límite de retracción (inferior) y retrocederá 2 mm automáticamente.

Nota: Cuando el marco de carga ha llegado a sus límites de extensión y retracción, la platina retrocede automáticamente 2 mm y luego se detiene. Se recomienda dejar el marco de carga encendido de modo que los límites de posición se recuerden durante la prueba.

#### 2.1.2.3. Estado de marco LED

El estado del marco LED cambia de color tras un estado incorrecto en el marco de carga. Los estados de colores LED son los siguientes:

- Azul: El marco está encendido.
- Verde: El marco está encendido y no hay errores.
- Parpadeo rojo/ azul: El marco ha encontrado un error.

Si el marco de carga se encuentra con un error, el LED de estado parpadeará hasta que la advertencia se borre pulsando el botón cancelar “cancel”.

#### 2.1.2.4. Mensajes de advertencia/ error

Los mensajes de advertencia o error en el marco de carga se muestran en el cuadro verde en la esquina inferior izquierda de la pantalla del marco. Cuando hay un mensaje de advertencia el cuadro se encenderá y se desvanecerá. Si no hay mensajes para mostrar el cuadro contiene “LF50” y estará a tono constante.

Los posibles mensajes con advertencias que se pueden presentar son:

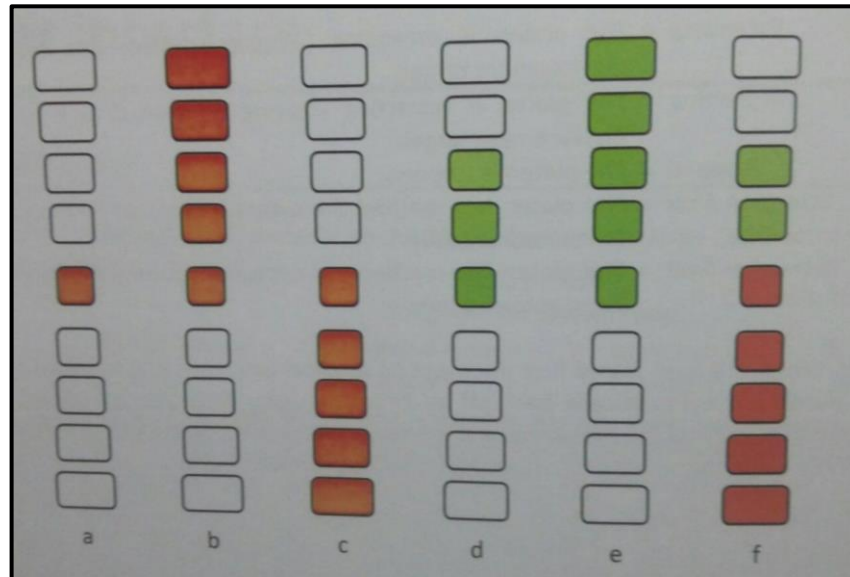
- Límite extensión: La placa ha alcanzado el límite de extensión (superior) y retrocederá 2 mm automáticamente.
- Límite extensión suave: La platina está detenida en el límite de extensión virtual.
- Límite retracción: La placa ha alcanzado el límite de retracción (inferior) y retrocederá 2 mm automáticamente.
- Límite retracción suave: La platina está detenida en el límite de retracción virtual.

Cuando se activa una alarma el LED de estado del marco también parpadeará. Para borrar un mensaje de advertencia o error de la pantalla del marco presionar el botón cancelar (cancel).

#### 2.1.2.5. Dirección y luces LEDs de estados límites

La dirección y luces LEDs de estados límites, muestra como la placa se está moviendo y lo cerca que está a los límites extremos. A continuación se muestran las posibles combinaciones de luz y sus significados que se pueden presentar en el marco de carga.

**Figura 5.** Estados límites.



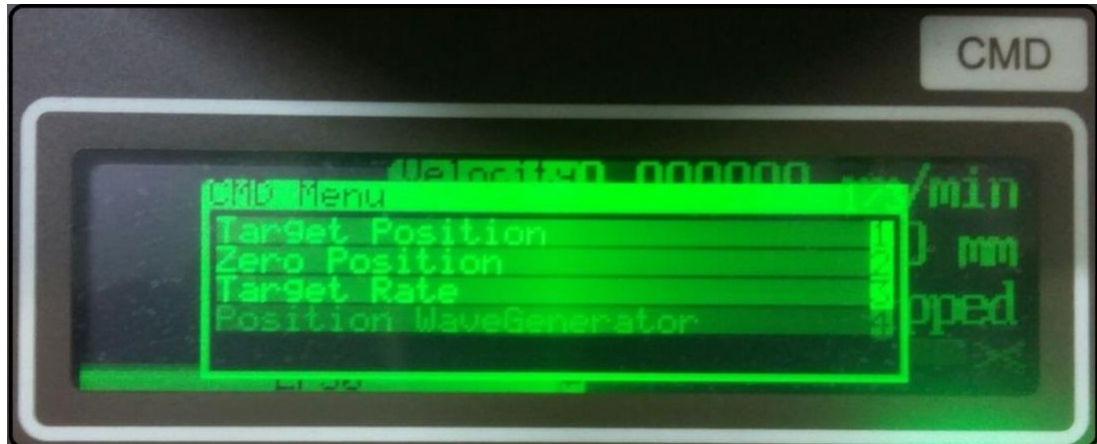
- a) Marco detenido.
- b) Marco detenido en límite de extensión.
- c) Marco detenido en límite de retracción.
- d) Marco se extiende a 10 mm/min.
- e) Marco se extiende a 90mm/min.
- f) Marco se extiende fuera del límite de retracción.

#### 2.1.2.6. Menú de comandos

El menú de comandos puede utilizarse para realizar las principales funciones empleando el marco de carga. Pulsando el botón comando menú "CMD" se abre el menú con los controles internos del marco como se muestra a continuación. Presionando de nuevo "CMD" se accede a las opciones de control para desplazamiento externo y controles de carga.

Las funciones se pueden elegir pulsando el número que aparece en el teclado del marco y se selecciona la función pulsando el botón enter para confirmar.

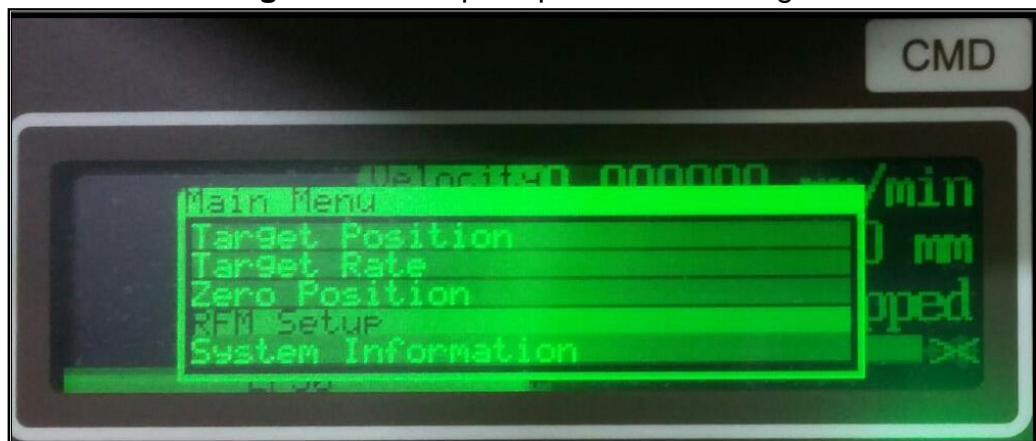
**Figura 6.** Menú de comandos marco de carga.



#### 2.1.2.7. Menú principal

Desde el menú principal, se puede acceder a las principales funciones y a la ventana de información del sistema. Para desplazarse hacia abajo y hacia arriba por la lista se utilizan las teclas “8” y “2” del teclado. Nota:(tecla CMD+ 2+ enter) ajusta la posición de la platina a 0 [mm].

**Figura 7.** Menú principal marco de carga.



En la ventana de información del sistema de datos se puede ver el hardware y la versión del marco de carga, así como el número de serie del sistema.

## 2.2. CONTROLADORES DE PRESIÓN STDDPC V2<sup>4</sup>.

El controlador de presión digital estándar GDS (GDS STDDPC) es un impulsor hidráulico utilizado para regular y medir la presión del fluido (por lo general agua). Está equipado con USB 2.0 de rápida velocidad de transmisión de datos. El STDDPC es totalmente controlable a través de USB, de tal manera que con el teclado inteligente, puede ser configurado como un dispositivo independiente que cuenta con una capacidad máxima de aplicación de presión de 3 [MPa].

El controlador estándar mide y regula la presión de agua y de volumen, trabaja con agua desairada que se presuriza y se desplaza debido a la acción del pistón del dispositivo. Para el llenado del controlador se empuja el pistón hacia atrás para succionar aire o agua y para el vaciado del controlador se empuja el pistón hacia adelante para sacar el agua o aire.

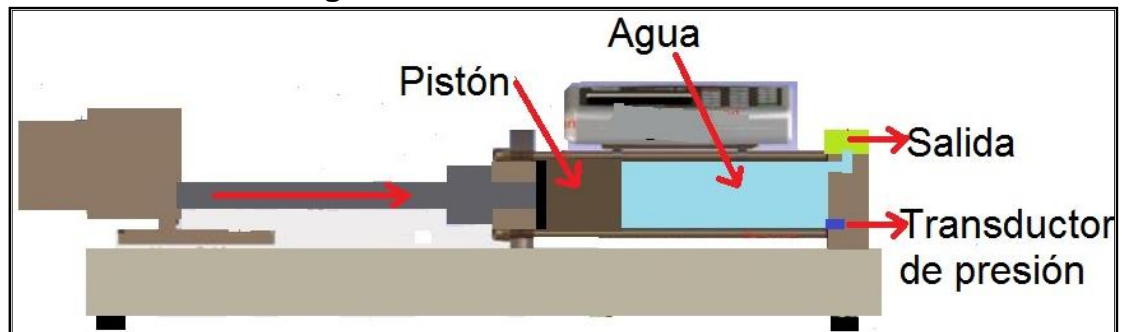
El controlador cuenta con dos válvulas que permiten la entrada y salida de agua y/o aire dentro del cilindro de presión, así como para conectar el controlador con las válvulas de la cámara triaxial mediante líneas.

Por medio de un transductor que está incorporado al controlador se puede detectar la medida de presión o de volumen.

### 2.2.1. Conexión del dispositivo

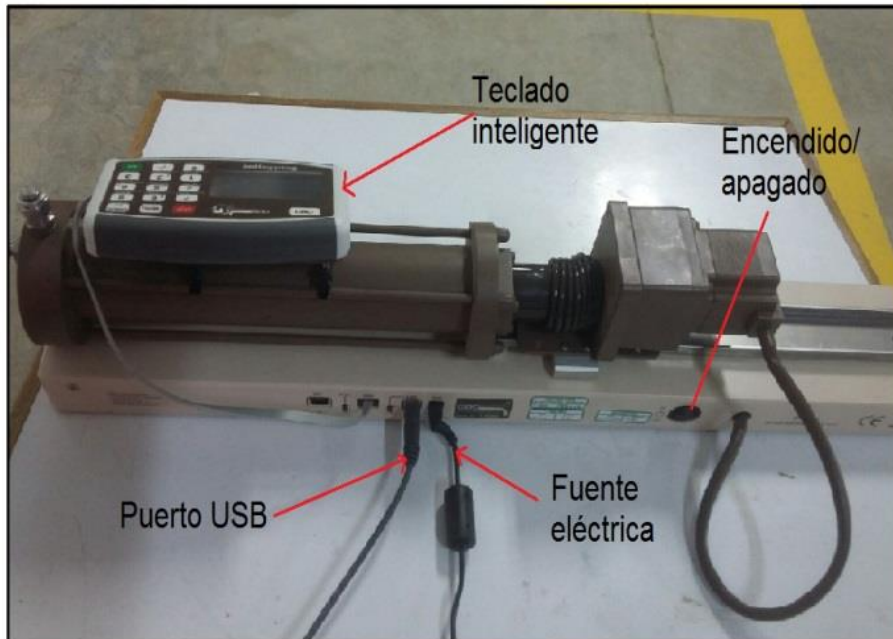
La siguiente imagen muestra la conexión básica del sistema.

**Figura 8.** Mecanismo del controlador.



<sup>4</sup> GDS INSTRUMENTS. GDS Estándar Controller/Smart Keypad Firmware Revision STDDPCv2. London Road, Hook, Hampshire, RG27 9GR. (25 Sep, 2006). 3–16 p. [Traducido por Autores].

**Figura 9.** Configuración básica del sistema.



### **2.2.2. Códigos de luces LED**

La luz amarilla, al encenderse, significa que el controlador está activo (no es usual que el controlador este encendido sin activarse).

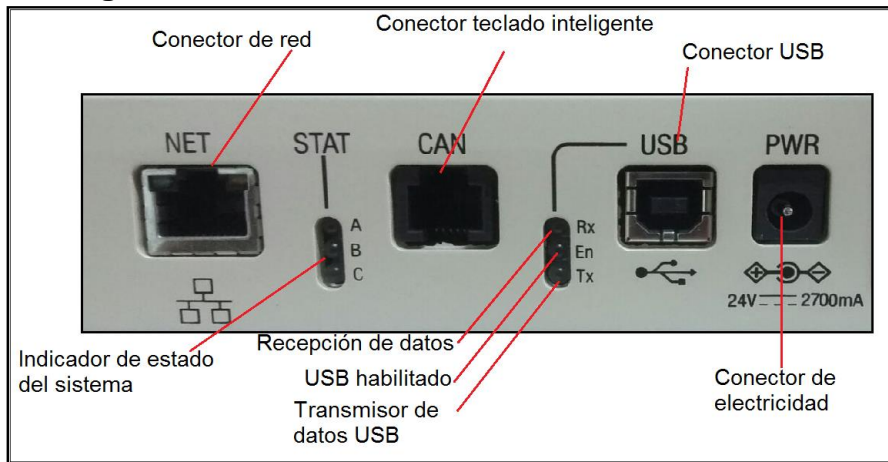
La luz verde representa la conexión con el CAN bus, que transmite y recibe datos del teclado inteligente. Esta luz está en contante parpadeo.

La luz roja se enciende cuando se produce un error. Los errores pueden ser principalmente debido a las siguientes causas:

- (1) Error CRC en la recepción UART del paquete USB – el paquete ha sido rechazado.
- (2) Error en el CAN Bus.
- (3) Error en el controlador debido a que está en un estado inusual.

Las luces LED's están etiquetadas en el respaldo del controlador como A, B y C.

**Figura 10. Conector STDDPC e indicador de detalles.**

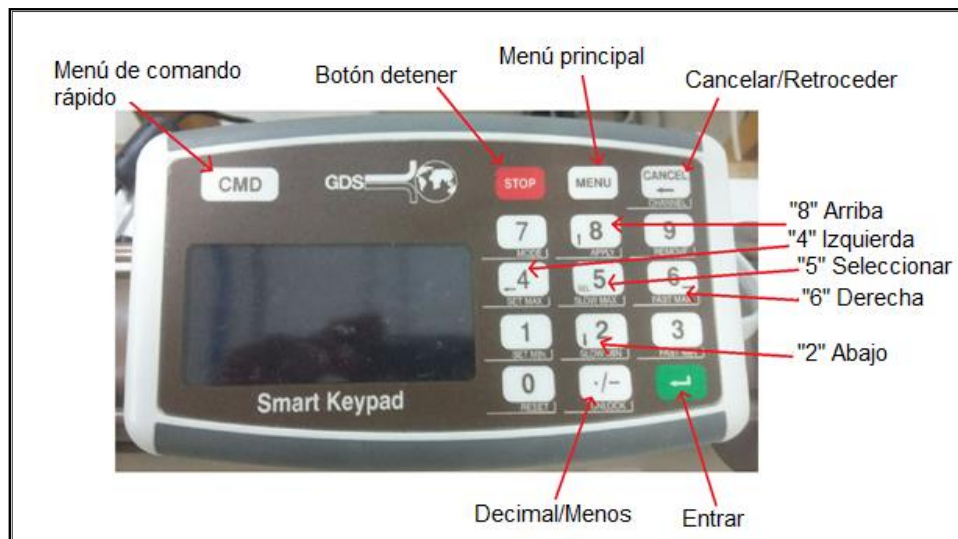


### 2.2.3. Operación básica

Para encender el controlador se usa el interruptor On/Off situado en la parte de atrás de la unidad. Una vez encendido el teclado inteligente se presenta la pantalla de bienvenida acompañado de una corta secuencia de tonos mientras se inician las comunicaciones, luego de finalizar el proceso de inicialización el teclado inteligente muestra la pantalla del sistema estándar.

### 2.2.4. Teclado inteligente

**Figura 11. Teclado inteligente y funciones principales.**



El teclado inteligente permite la operación manual del controlador, compuesto de 16 teclas y una pantalla LED con 180 grados de ángulo de vista para una clara visualización de la información. El teclado proporciona al usuario una lista completa de las funciones con el fin de hacer más fácil e intuitivo el manejo del controlador. La figura 11 muestra una vista superior del teclado inteligente.

- El botón rojo (stop) es utilizado para detener cualquier comando accionado por el usuario, y al mantenerse sostenido restaura completamente el dispositivo.
- El comando (CMD) brinda un acceso rápido a la lista de funciones principales.
- El botón de MENU principal es usado para el acceso total al sistema y sus funciones.
- El botón cancelar (CANCEL) es usado para cerrar una ventana, o para cerrar todas si se mantiene sostenido.
- Las teclas Arriba/Abajo/Izquierda/derecha son usadas para navegar en el menú. Note que las funciones de acceso directo están escritas debajo de cada tecla.

La pantalla principal presenta información con los parámetros de medida, es decir presión actual, etiquetada “pressure”, la medición de volumen, etiquetada “volume”, el objetivo actual, etiquetado “Target” y el estado actual del controlador, etiquetado “status”. Ver figura 12.

**Figura 12.** Pantalla del teclado inteligente.



#### 2.2.4.1. Sistemas de eventos y barra de información

El sistema de eventos esta mostrado en la barra de información (ver Figura 10). Si no hay ningún evento actual en la lista, la barra de información muestra el tipo de dispositivo que está conectado al teclado inteligente, en este caso el controlador presenta el siguiente mensaje “Standard DPC”. Cuando un evento ocurre en el sistema una alarma sonará y el sistema de eventos ocasiona que se muestre el evento actual en la barra de información y se agregue al registro de eventos. Hay que asegurarse que solo el evento más reciente se muestre en la barra de información.

El actual mensaje del sistema de eventos puede ser removido presionando por primera vez el botón cancelar, y una segunda vez para remover el mensaje del sistema de eventos de la barra de información.

Los eventos del sistema muestran advertencias generalmente por sobrepresión o porque un límite ha sido alcanzado. Muchos de estos eventos hacen que el comando actual se detenga, si el controlador se detiene la razón es mostrada en la barra de información.

Algunos de los eventos más comunes que puede presentar el sistema son:

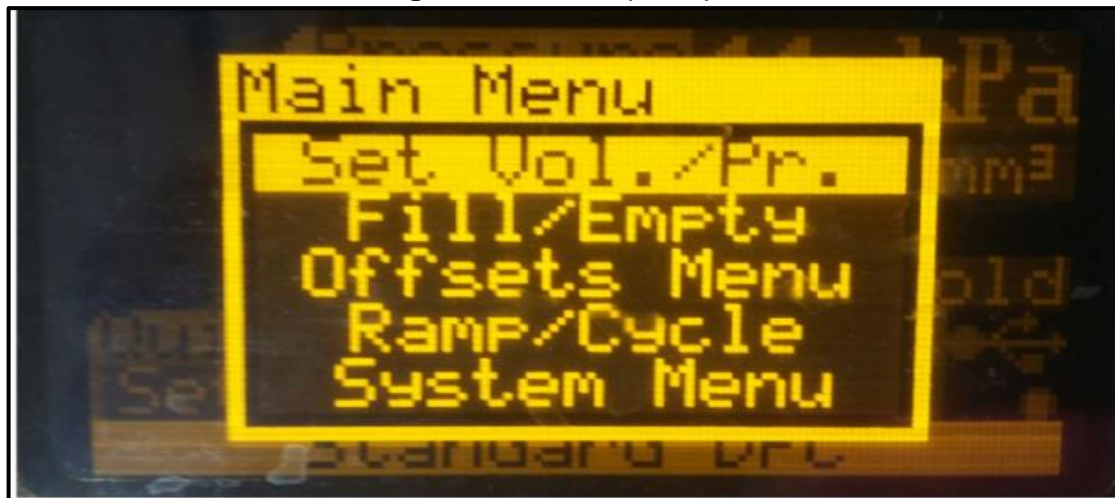
- Sobrepresión
- Despresurización.
- Detención por volumen mínimo.
- Detención por máximo volumen.

#### 2.2.4.2. Comando de menú principal

Presionando el botón menú principal se presenta el menú principal en la pantalla (ver figura 11), este proporciona acceso a todas las funciones del sistema como: Configurar menú de volumen o presión, menú de llenado o vaciado, menú de presión de compensación, menú de rampa o ciclo y menú del sistema.

Es posible navegar por la lista de menú mediante las teclas Arriba (8 ↑) y Abajo (2↓). Para seleccionar una opción presionar la tecla enter.

**Figura 13.** Menú principal.



#### 2.2.4.3. Desplazamiento en la lista de menú

**Figura 14.** Lista desplegable del menú de operación.

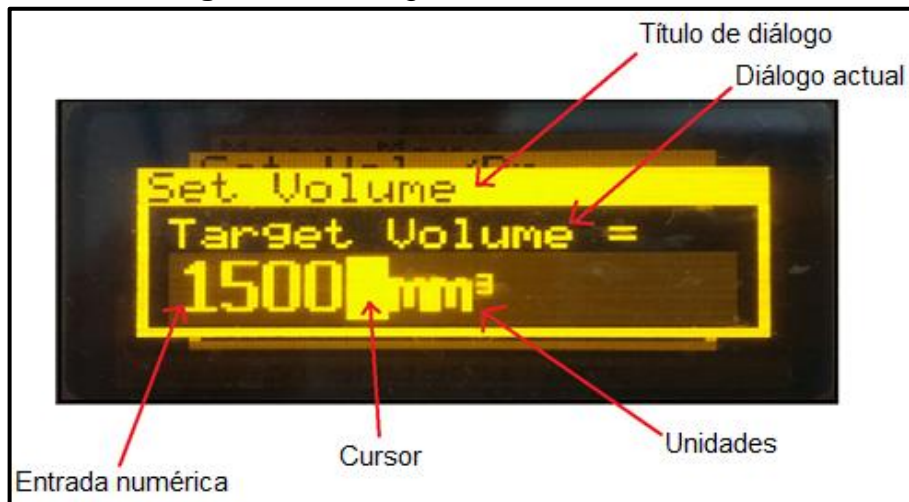


En la actual lista se puede navegar mediante las teclas Arriba (8 ↑) y Abajo (2↓). Para seleccionar una opción presionar la tecla enter.

Los menús se pueden cerrar en cualquier momento presionando el botón cancelar o todos los menús se pueden cerrar manteniendo sostenido el botón.

#### 2.2.4.4. Entradas de diálogos numéricos

**Figura 15.** Diálogo de entrada numérica.



Los diálogos de entrada numérica son usados para introducir un dato requerido por el usuario (ver figura 15). Las teclas que se pueden utilizar son 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, ./-.

Para introducir números negativos o números con decimales se usa la tecla ./-, esta tecla está acorde al contexto y automáticamente determina cuando se requiere un signo negativo o un decimal.

#### 2.2.4.5. Accesos directos

**Figura 16.** Atajos y comandos rápidos.



El área de comando rápido o acceso directo (figura 16) muestra el comando actual a ser ejecutado si el botón verde “Enter” ha sido presionado.

A continuación se muestra una lista de accesos directos del teclado.

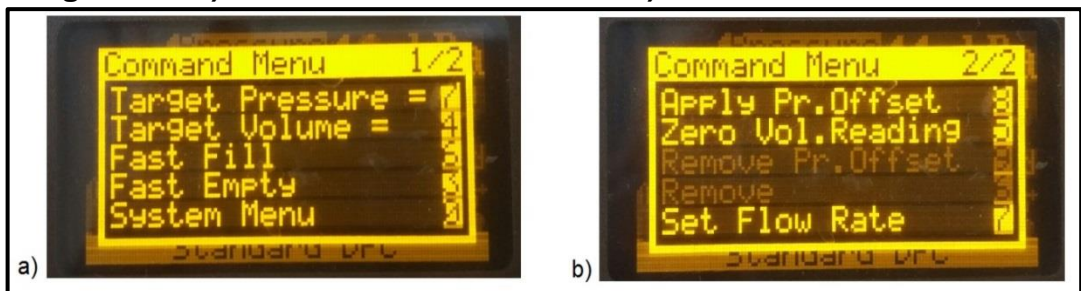
- **(0) Restauración:** Abre el menú de restauración del sistema.
- **(1) Fijar mínimo:** Establece límites mínimos de los usuarios para la presión/volumen.
- **(2) Mínimo lento:** Operación de volumen mínimo lento (Vaciado lento).
- **(3) Mínimo Rápido:** Operación de volumen mínimo rápido (Vaciado Rápido).
- **(4) Fijar Máximo:** Establece límites máximos del usuario para presión/volumen.
- **(5) Máximo lento:** Operación de volumen máximo lento (Llenado lento).
- **(6) Máximo Rápido:** Operación de volumen máximo rápido (Llenado rápido).
- **(7) Modo:** Fija presión, volumen y velocidad de flujo.
- **(8) Aplicar:** Aplica presión de compensación (Offset).
- **(9) Deshacer:** Elimina la compensación.
- **(./-) Desbloqueo:** Muestra el bloqueo o desbloqueo del menú.
- **CANCEL:** Borra el listado actual de comando rápido.

#### 2.2.4.6. Menú de comando directo (CMD)

El menú de comando está diseñado para proporcionar un fácil acceso a las funciones principales del controlador.

Presionando el botón “CMD” se muestra la primera pantalla del menú de comando (ver figura 17.a) y presionando una segunda vez el botón “CMD” se revela la segunda pantalla del menú de comando (ver figura 17.b).

**Figura 17. a)** Menú de comandos 1 de 2, **b)** Menú de comandos 2 de 2.



Para seleccionar un comando desde el menú de comandos se debe dar clic en la tecla del listado de la columna derecha, por ejemplo, para empezar a configurar la presión objetivo “Target pressure” desde la pantalla de menú 1 solo hay que dar clic en la tecla “7” o para iniciar la operación de llenado rápido dar clic en la tecla “6”.

#### 2.2.4.6.1. Funciones de acceso rápido

- Presión objetivo “Target Pressure” tecla 7

**Figura 18.** Configuración de presión.



Cuando se solicita el comando de presión objetivo, en la pantalla se genera la opción para ingresar la presión. El diálogo de la presión a ingresar es el medio por el cual se selecciona una presión objetivo, por ejemplo 1234 [KPa]. Una vez se ingrese la presión dar clic en la tecla “enter”, esto ordena al controlador comenzar la búsqueda de presión solicitada. Este comando se utiliza para aplicar la presión de cámara, contrapresión o cualquier presión requerida.

- Volumen objetivo “Target Volumen” tecla 4

**Figura 19.** Configuración de volumen.



Cuando se solicita el comando de volumen objetivo, en la pantalla se genera la opción para ingresar el volumen. El diálogo del volumen a ingresar es el medio por el cual se selecciona un volumen objetivo, por ejemplo 1500 [mm<sup>3</sup>]. Una vez se ingrese el volumen dar clic en la tecla “enter”, esto ordena al controlador comenzar la búsqueda del volumen solicitado.

- Llenado rápido “Fast Fill” tecla 6

El comando de llenado rápido se utiliza para llenar el controlador de agua a su máxima velocidad, la operación de llenado se detiene automáticamente cuando este alcance el máximo límite de agua que puede entrar al controlador. En este instante el controlador quedará lleno de agua y el pistón extendido hacia atrás.

- Vaciado Rápido “Fast Empty” tecla 3

El comando vaciado rápido se utiliza para vaciar el controlador a su máxima velocidad, la operación de vaciado se detiene automáticamente cuando este alcance el volumen mínimo. En este instante el controlador quedará vacío y el pistón totalmente dentro.

- Aplicar presión de compensación “Pressure Offset” tecla 8

El comando de aplicar presión de compensación se utiliza para colocar en ceros las lecturas actuales. Note que mediante la adición de una presión de compensación, todas las lecturas de presión medidas serán ahora compensadas hasta que esta compensación se retire. La compensación será recordada incluso si el controlador se apaga o se reinicia y solo puede ser eliminada utilizando el comando “Remove pressure Offset command”.

- Eliminar presión de compensación “Remove Pressure Offset” tecla 9

El comando eliminar presión de compensación es usado para eliminar una presión de compensación aplicada previamente. Este comando solo está disponible en el teclado inteligente si se encuentra una compensación aplicada. Si no está aplicada esta opción, aparecerá en gris.

- Lectura de volumen cero “Zero Volume Reading” tecla 5

El comando lectura de volumen cero hace que la lectura actual de volumen se ajuste a cero. Note que a diferencia de la presión de compensación, este comando no puede ser removido como lecturas de volumen y son consideradas relativas y no absolutas.

- Sistema de menú “System Menu” tecla 0

Presionando la tecla cero “0” después de dar clic en la tecla CMD se presenta el menú del sistema en la pantalla. Hay una serie de menús a los que se puede acceder desde el menú de sistemas incluyendo el menú de límites del sistema, ficha de diagnóstico, menú de restauración, bloqueo y desbloqueo del controlador, sistema de calibración y registro de eventos.

### 2.3. DISPOSITIVO DE ADQUISICIÓN DE DATOS <sup>5</sup>

**Figura 20.** Registrador de datos.



El registrador de datos está integrado en el sistema a través de los controladores de presión y un conjunto de 8 canales de adquisición de datos de 16 bits. Cada canal puede ser definido por el usuario con un rango de ganancia extendido. Una amplia gama de señales se alojan por las entradas, que van desde +/-3mV a +/-10V a gran escala. +/- 5 voltios de la fuente está disponible individualmente para cada transductor. El registrador de datos se conecta a través de un cable RS232 o

<sup>5</sup> GDS INSTRUMENTS. GDSTAS\_Handbook. Triaxial Automated System. London Road, Hook, Hampshire, RG27 9GR. (25 Sep, 2006). 11-12 p. [Traducido por Autores].

bien directamente en la parte posterior de un PC con un puerto RS232 o en convertidor de USB a RS232.

La potencia se transmite mediante un cable de alimentación estándar IEC.

El adaptador universal interno suministra y acepta voltajes en el rango de 85 voltios a 264 voltios de corriente alterna.

### 2.3.1. Transductores de conexión para GDSTAS

Los primeros tres canales en el registrador de datos son canales exclusivos que están asociados con el software de la siguiente manera:

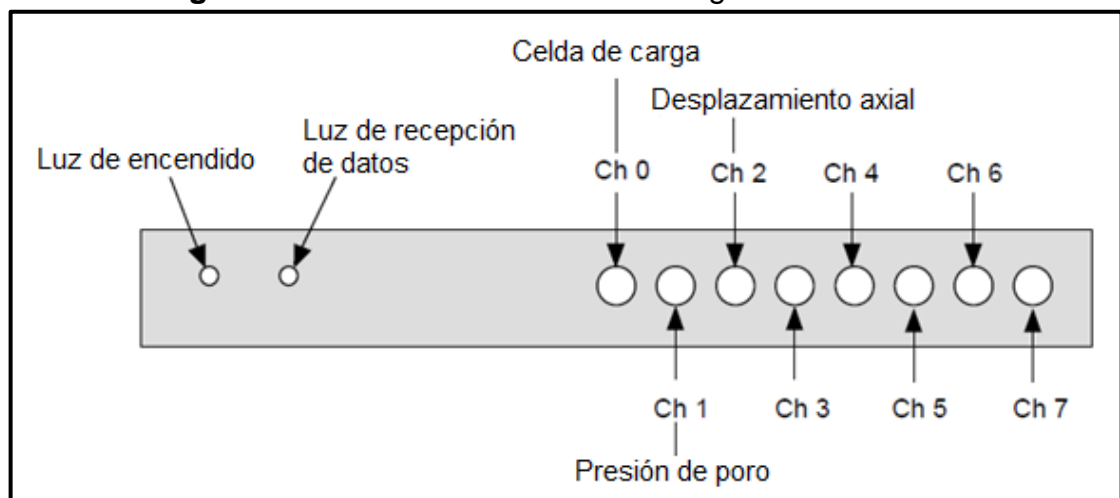
Canal 0: Celda de carga.

Canal 1: Transductor de presión de poros

Canal 2: Desplazamiento del transductor

Cualquier canal adicional puede ser utilizado para otros transductores definidos por el usuario, pero los 3 primeros canales deben estar conectados de la siguiente manera (ver figura 21).

**Figura 21.** Conexión de canales del registrador de datos.



## 2.4. CÁMARA TRIAXIAL

Figura 22. Cámara triaxial.



La cámara triaxial consiste en un plato superior y un plato de base, separados por un cilindro de un material transparente capaz de resistir las presiones aplicadas permitiendo ver el comportamiento de la muestra durante el ensayo.

En el plato superior de la cámara triaxial hay una válvula de abertura tal que el aire se puede forzar a salir fuera de la cámara cuando ésta se va llenando con fluido. En la parte inferior hay una entrada a través de la cual se puede ingresar el líquido de confinamiento a la cámara triaxial<sup>6</sup>.

La cámara triaxial está en el centro del sistema del marco de carga GDS LF50 y es utilizada para contener la muestra y el agua de confinamiento durante el ensayo. La cámara brinda un espacio en la que las condiciones de la muestra pueden ser controladas con precisión. Los parámetros que se pueden controlar o medir son: La presión de la celda, la contrapresión, el cambio de volumen de

---

<sup>6</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Parámetros de resistencia del suelo mediante compresión triaxial. I.N.V.E-07. Bogotá DC, 2007. 5 p.

muestras, la presión de poros, la fuerza axial proporcionada por el marco de carga y el desplazamiento Axial<sup>7</sup>.

#### **2.4.1. Configuración de la instrumentación de la cámara triaxial**

La cámara triaxial normalmente tendrá los siguientes instrumentos conectados:

- Celda de carga (Hay dos celdas de carga disponibles de 5[KN] cuya máxima carga de aplicación es de 4,5 [KN] y 20 [KN] cuya máxima carga de aplicación es de 19,5 [KN] para evitar un posible daño de la celda.
- Transductor de desplazamiento.
- Transductor de presión de poros.

Cada uno de estos dispositivos se utiliza para la recopilación de datos por medio del computador<sup>8</sup>.

#### **2.4.2. Transductor de desplazamiento**

El transductor de desplazamiento se utiliza para medir la deformación de la muestra. Este equipo cuenta con un transductor de desplazamiento de 25 [mm]. Tener en cuenta que para un espécimen de pruebas normales del suelo, el rango del transductor de desplazamiento debe ser de 20% de la altura de la muestra. Por ejemplo, con una muestra de ensayo de 70 [mm] de diámetro, que es de 140 [mm] de alto, el rango del transductor de desplazamiento debe ser al menos de 28 [mm]. Esto normalmente significa que se utiliza un transductor de desplazamiento de 25 [mm] o 50 [mm]. Se debe tener cuidado con la relación física entre el dispositivo de medición de carga y el transductor para medir la deformación de la muestra. La disposición debe ser tal que no haya posibilidad de que el indicador de deformación de la muestra dé interferencia, ya sea con el dispositivo de medición de carga o partes de la cámara triaxial<sup>9</sup>.

---

<sup>7</sup> GDS INSTRUMENTS. GDSTAS\_Handbook. Triaxial Automated System. London Road, Hook, Hampshire, RG27 9GR. (25 Sep, 2006). 9 p. [Traducido por Autores].

<sup>8</sup> *Ibíd.*, p. 9.

<sup>9</sup> *Ibíd.*, p. 10-11.

## 2.5. TRANSDUCTOR DE PRESIÓN DE POROS

La presión de poros se mide por medio de un transductor unido directamente a la cámara triaxial que cumple con las tolerancias, y durante el corte no drenado, permite que la fuga de agua sea nula o despreciable<sup>10</sup>.

**Figura 23.** Transductor de presión de poro.



El transductor de presión de poros contiene dos llaves que posibilita que el transductor se desaire y que el tubo del transductor de presión de poros que conecta con el pedestal de la cámara triaxial pueda ser lavado al comienzo de una prueba. La salida del transductor de presión de poros se conecta directamente en el sistema de adquisición de datos GDS<sup>11</sup>.

## 2.6. BASE SUPERIOR (CABEZAL-TOP CAP) Y BASE INFERIOR (PEDESTAL) DE LA PROBETA

Están diseñados para proporcionar drenaje en ambos extremos de la muestra, con la opción de deshabilitar totalmente el drenaje cuando sea necesario. Están elaboradas de un material rígido, e impermeable y cada una tiene una superficie de contacto plana y redonda con la muestra o con las piedras porosas<sup>12</sup>.

<sup>10</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Parámetros de resistencia del suelo mediante compresión triaxial. I.N.V.E-07. Bogotá DC, 2007.

<sup>11</sup> GDS INSTRUMENTS. Op. cit, p.11. [Traducido por Autores].

<sup>12</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Op. cit, p. 7.

## 2.7. PIEDRAS POROSAS

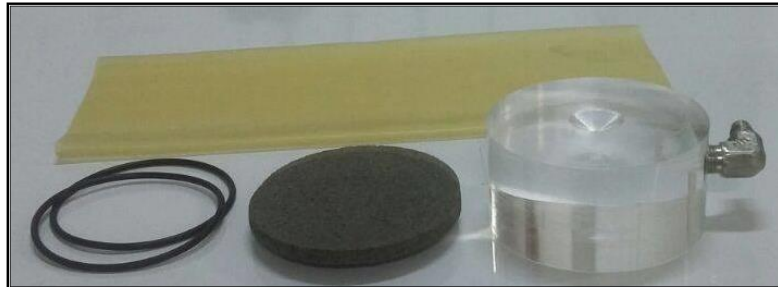
Se usan para proporcionar drenaje de la muestra. Los discos deben ser limpiados regularmente por ultrasonido o por ebullición y por cepillado verificando si poseen obstrucciones<sup>13</sup>.

## 2.8. MEMBRANA DE CAUCHO

La membrana de caucho usada en el ensayo es completamente impermeable. Se debe inspeccionar las membranas cuidadosamente antes de usarlas para verificar su total estanquidad, si no se cumple se deberá desechar.

Para que la membrana de caucho ofrezca el menor confinamiento a la muestra, el diámetro de esta membrana elástica deberá estar entre el 90% y 95% de la muestra. El espesor de la membrana no debe exceder el 1% del diámetro de la muestra. La membrana se sellará a las bases de la muestra con anillos en forma de O, los cuales deberán tener un diámetro entre el 75% y 85% del diámetro de las bases (cabezal y pedestal)<sup>14</sup>.

**Figura 24.** Accesorios de preparación de muestra.



## 2.9. LLAVES

Las llaves del sistema no producen un cambio de volumen o de presión de poros cuando se opera. Todas las llaves resisten las presiones aplicadas en el ensayo sin provocar fugas<sup>15</sup>.

---

<sup>13</sup> Ibíd.

<sup>14</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Parámetros de resistencia del suelo mediante compresión triaxial. I.N.V.E-07. Bogotá DC, 2007. 8 p.

<sup>15</sup> Ibíd.

## **2.10. SOFTWARE GDSLAB V2.5.4<sup>16</sup>.**

GDSLAB es un programa con una sencilla interfaz para el usuario que permite ejecutar una gran variedad de ensayos geotécnicos proporcionando un control total del sistema de pruebas con gráficos en línea.

En el software se pueden realizar las siguientes pruebas:

- Valor B (B Check).
- Rampa de saturación.
- Consolidación isotrópica (Isotropic Consolidation).
- Consolidación anisotrópica (Anisotropic Consolidation).
- No consolidado no drenado (Unconsolidated Undrained).
- Consolidado no drenado con medición de presión de poros (Consolidated Undrained).
- Consolidado drenado con medición de presión de poros (Consolidated drained).
- Trayectorias de esfuerzos (Stress paths).
- Carga cíclica de baja velocidad (Low speed cyclic loading).

### **2.10.1. Ejecución de prueba con GDSLAB**

Antes de ejecutar una prueba es indispensable verificar que los dispositivos de comunicación como el marco de carga, controladores de presión, transductor de presión de poros y el registrador de datos se encuentren configurados correctamente.

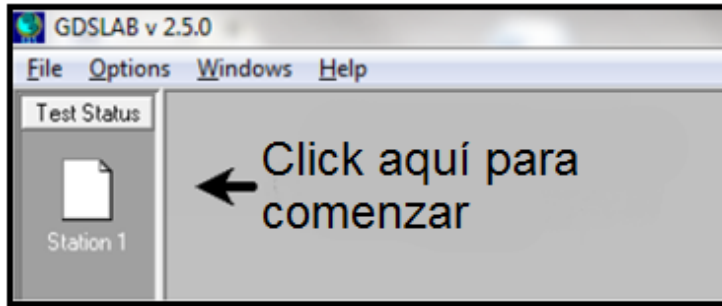
#### **2.10.1.1. Seleccionar el archivo de configuración hardware.**

Cuando se abre por primera vez GDSLAB, o si no hay archivos de configuración guardados previamente se presentará una pantalla similar a la siguiente.

---

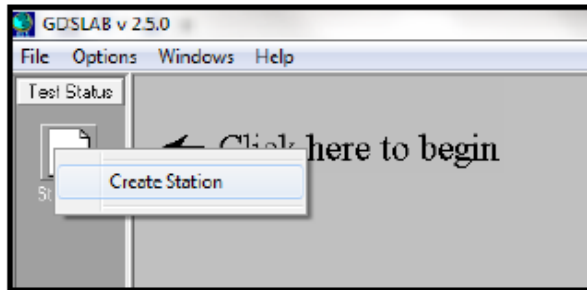
<sup>16</sup> GDS INSTRUMENTS. GDS Laboratory Users Handbook GDSLAB v2.5.4. London Road, Hook, Hampshire, RG27 9GR. (25 Sep, 2006). Cap. 3. 1-17 p. Cap. 4. 1-5. Cap. 5. 1-8 p. [Traducido por Autores].

**Figura 25.** Pantalla de inicio GDSLAB.



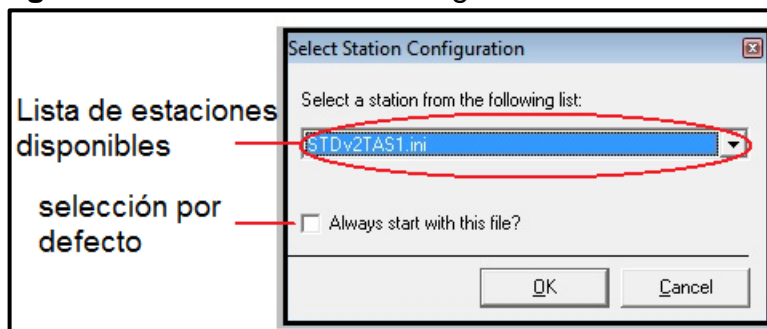
Al hacer clic en la estación 1 (icono en blanco) se dispone de la opción crear estación.

**Figura 26.** Crear estación.



Luego de seleccionar crear estación se hace visible la ventana de selección de la configuración de la estación como a continuación se muestra.

**Figura 27.** Selección de la configuración de la estación.



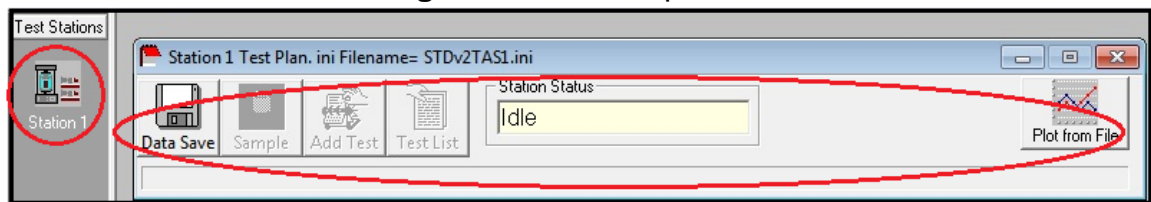
La configuración de la estación se puede seleccionar de la lista de estaciones disponibles. Si se desea que la configuración de la estación se mantenga

constante y que se configure automáticamente cada vez que el software se ejecuta, se debe marcar la casilla de selección por defecto titulada “Always start with this file?”.

Una vez que la configuración de la estación se selecciona, hacer clic en el botón OK. En este punto todo el hardware configurado en la estación será evaluado para comprobar el estado de cada elemento (esta operación no requiere la intervención del usuario, a menos que se encuentre un problema en el hardware).

Luego que la evaluación del hardware es aprobada, se muestra la ventana plan de prueba (Test Plan). En este momento se puede observar que en la barra de herramientas el icono de la estación ha cambiado al icono de estación configurada como se muestra a continuación.

**Figura 28.** Plan de prueba.



La barra de título “estación plan de prueba” muestra el número de estación y el nombre del archivo de configuración.

Después de la iniciación de una estación el estado de esta será inactivo (Idle), esto indica que la estación está configurada y no existe una prueba actualmente en ejecución.

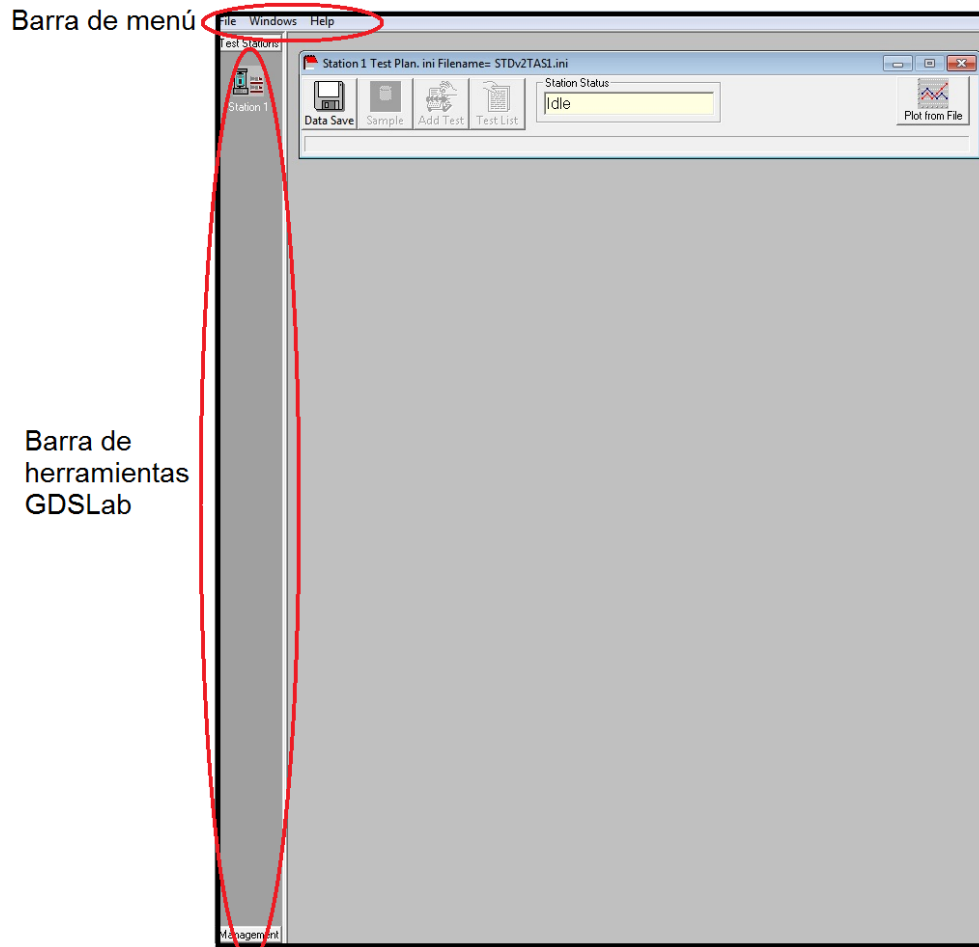
### **2.10.2. Entorno grafico GDSLAB**

Una vez la estación haya sido configurada se muestra el entorno GDSLAB que es la base de todas las pruebas en el software.

El entorno GDSLAB está compuesto por tres áreas:

- Barra de Menú (The Menu Bar).
- Barras de herramientas GDSLAB (The GDSLAB tool Bar).
- Área de Visualización de Prueba (Test Display Area).

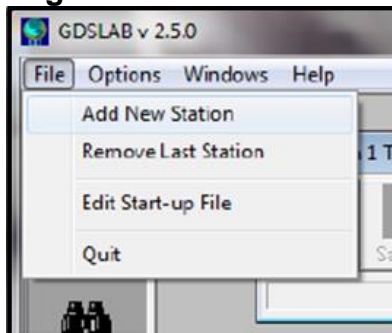
**Figura 29.** Entorno GDSLAB.



#### 2.10.2.1. Barra de menú “The Menu Bar”

La barra de menú se opera de la misma forma que los menús estándar de Windows. El menú que se encuentra disponible se muestra a continuación.

**Figura 30.** Barra de menú.



#### 2.10.2.1.1. Archivo “File”

Este menú permite la adición de nuevas estaciones de prueba, remover la última estación y salir del programa.

- Agregar Nueva Estación “Add New Station”

Seleccionando este comando le permite añadir otra estación a la selección de estado de prueba.

- Remover última estación “Remove Last Station”

Este comando elimina la última estación configurada.

- Salir “Quit”

Seleccionando salir, se apaga por completo GDSLAB. Si se está ejecutando actualmente una prueba este debe ser detenido antes de utilizar el comando salir.

#### 2.10.2.2. Barra de herramientas GDSLAB (The GDSLAB tool Bar)

La barra de herramientas en el lado izquierdo de la pantalla está disponible mientras GDSLAB se está ejecutando. Esta barra representa un medio que siempre será visible en la navegación entre las estaciones y facilidades de manejo. La barra de herramientas contiene dos opciones:

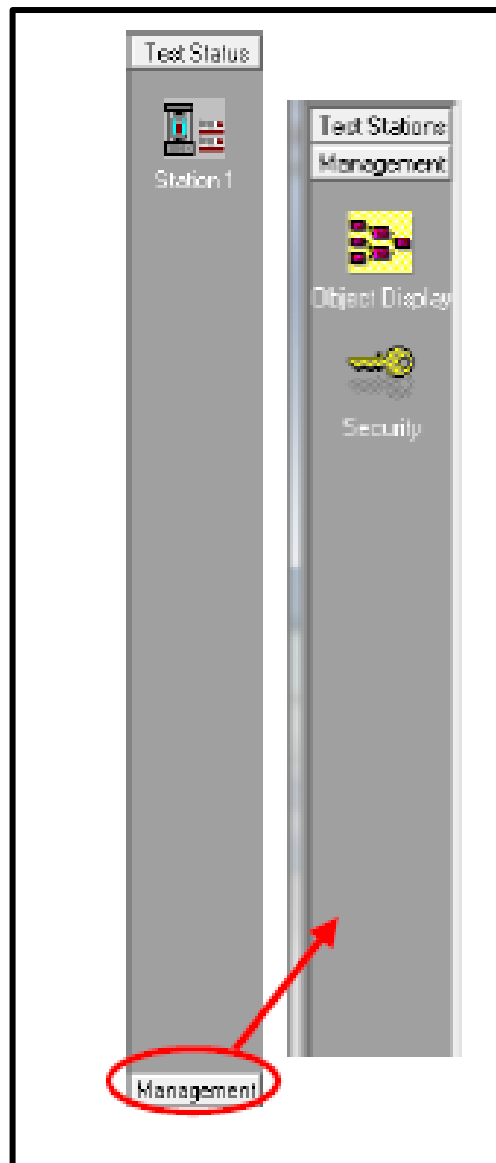
##### 2.10.2.2.1. Estaciones de prueba “Test Stations”

La barra de herramientas de estaciones de prueba muestra estaciones configuradas y no configuradas. A cualquier estación se puede acceder haciendo clic en el icono de la estación y seguido a esto aparece su correspondiente plan de prueba.

#### 2.10.2.2.2. Manejo “Management”

El icono de manejo contiene las facilidades de uso de GDSLAB que permite configurar el hardware, seleccionar los dispositivos para realizar la prueba, manejar la estación de prueba y modificar las opciones de seguridad.

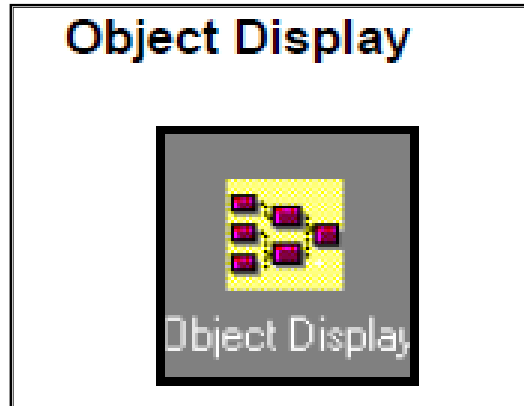
**Figura 31.** Barra de herramientas de manejo.



Las facilidades de uso que presenta el programa se muestran a continuación:

- Visualización de objetos “Object Display”

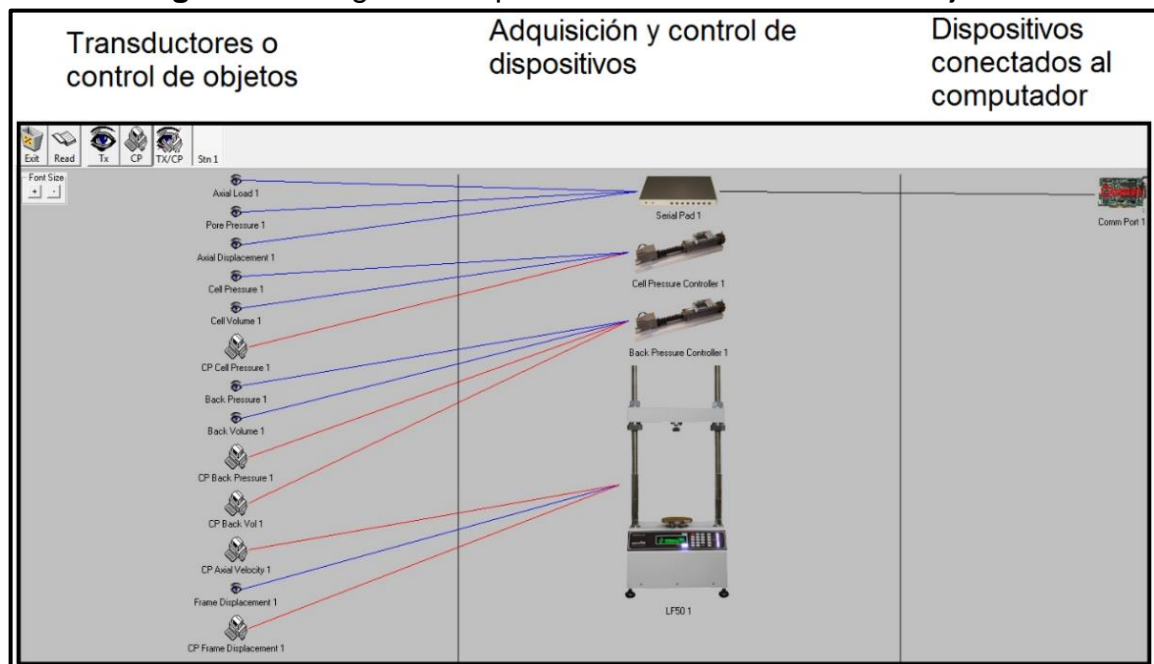
**Figura 32.** Visualizador de objetos.



Este icono permite configurar estaciones de prueba, tomar lecturas de los transductores configurados para su uso y ajustar los parámetros de control.

Cuando el “Object Display” se selecciona se muestra un diagrama esquemático de la configuración de la estación y de los dispositivos que se encuentran conectados correctamente como se muestra a continuación.

**Figura 33.** Diagrama esquemático del visualizador de objetos.



El visualizador de objetos está conformado por una barra de herramientas y tres secciones: transductores o control de objetos, adquisición y control de dispositivos, y dispositivos conectados al computador.

Para verificar que los dispositivos estén conectados y el software los reconozca, se debe hacer doble clic sobre su imagen y a continuación se muestra la siguiente ventana.

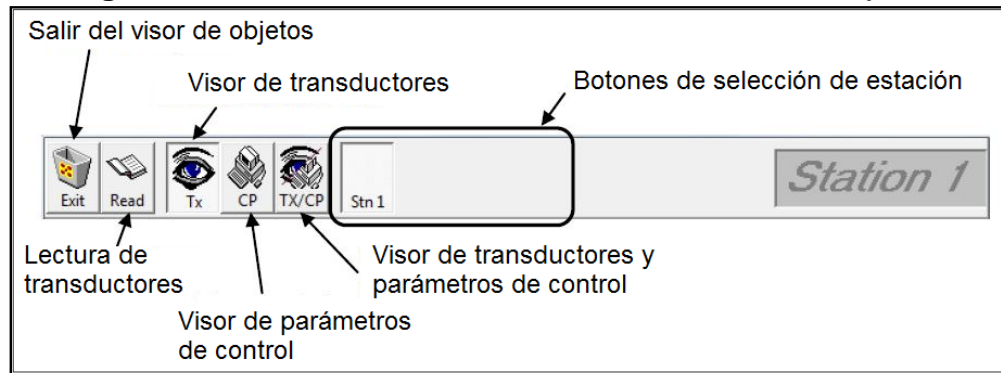
**Figura 34.** Seleccionar dispositivo.



Si el dispositivo seleccionado está correctamente conectado aparece el número serial sobre el botón "Select Device", de lo contrario dar clic en el botón "Select Device" para seleccionar el número serial del dispositivo correspondiente. En caso de los controladores tener en cuenta cual toma las mediciones de presión de cámara y contrapresión. Al hacer clic en cualquiera de los dispositivos dentro del visualizador de objetos, aparece información sobre este dispositivo. Dependiendo del dispositivo, esto puede ser simplemente un cuadro de información o un cuadro de comunicaciones donde se deben introducir sus ajustes.

La funcionalidad del visualizador de objetos está contenida principalmente en la barra de herramientas que se muestra a continuación.

**Figura 35.** Barra de herramientas del visualizador de objetos.



- Visor de transductores

Al dar clic en este icono se observan las lecturas que se registran en ese instante de volumen y presión en los transductores de los controladores, y las lecturas de carga axial, desplazamiento axial y presión de poros recopiladas por el registrador de datos.

- Visor de Parámetros de control

Al dar clic en este icono se puede ingresar los parámetros para llevar a cabo una etapa.

- Seguridad de la estación

**Figura 36.** Seguridad de la estación.



La opción de seguridad permite al usuario configurar una contraseña para evitar cambios no autorizados o accidentales que se pueden presentar en una estación de prueba mientras se está ejecutando.

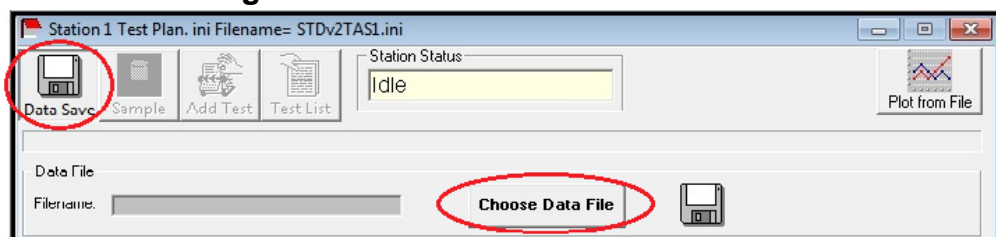
### 2.10.2.3. Área de Visualización de Prueba “Test Display Area”

El área de visualización de prueba GDSLAB muestra lo que ocurre dentro de la configuración de prueba y la prueba en ejecución.

### 2.10.3. Seleccionar archivo de datos

Con la estación de prueba configurada por completo los detalles de la muestra deben introducirse. Se da clic en el botón guardar datos “Data Save” en la ventana de plan de prueba revelando la estructura de archivo de datos “Data File” como se muestra a continuación.

**Figura 37.** Seleccionar archivo de datos.



Al hacer clic el botón elegir archivo de datos “Choose Data File”, aparece una ventana con dos opciones: directorio único “Single Directory” y estructura de proyecto GDSLAB “GDSLAB Project Structure”.

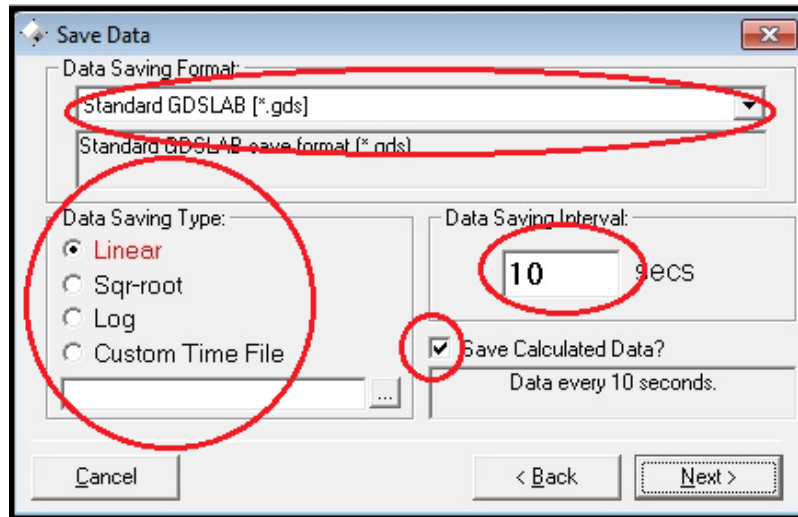
Directorio único solicita un nombre de archivo en el directorio de su selección, mientras que estructura de proyecto GDSLAB guarda los datos para ser utilizados con los informes GDS.

**Figura 38.** Archivo de datos.



En la elección de directorio único y haciendo clic en el botón siguiente “Next”, la pantalla que se muestra a continuación le solicita la información de los datos a guardar de la siguiente manera.

**Figura 39.** Información de datos.



La información del cuadro se detalla a continuación:

#### 2.10.3.1. Formato de almacenamiento de datos “Data Saving Format”.

.gds es un formato por defecto de GDSLAB que incluye todos los datos con etiquetas recomendadas.

#### 2.10.3.2. Tipo de almacenamiento de datos “Data Saving Type”

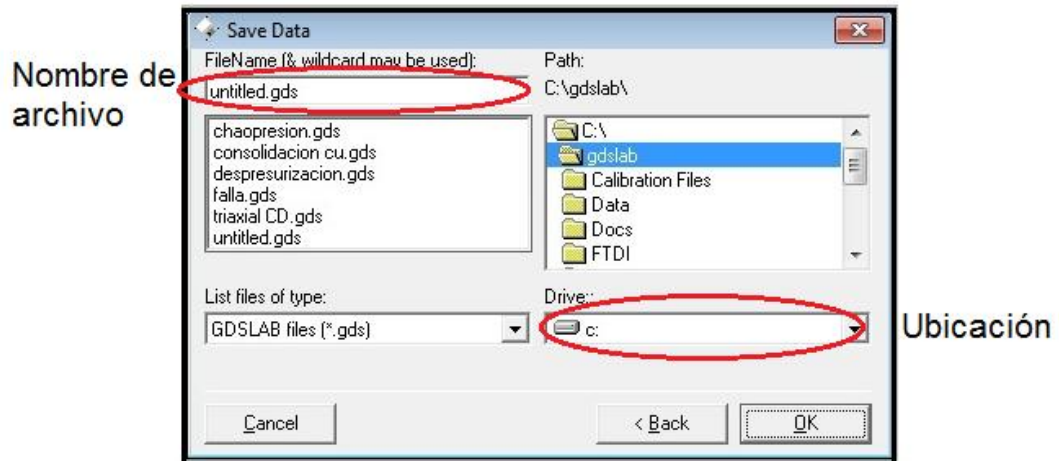
Lineal “Linear” guarda datos cada x segundos. El intervalo de tiempo se puede cambiar usando el cuadro de la derecha titulado intervalo de datos guardados “Data Saving Interval”.

#### 2.10.3.3. Guardar datos calculados? “Save Calculated Data?”

Cuando se selecciona esta casilla se guardan los datos calculados en el archivo de GDSLAB. Finalmente hacer clic en “Next”.

A continuación se muestra la ventana guardar datos “Save Data”, en donde se ingresa el nombre del archivo y la ubicación de destino. Hacer clic en OK.

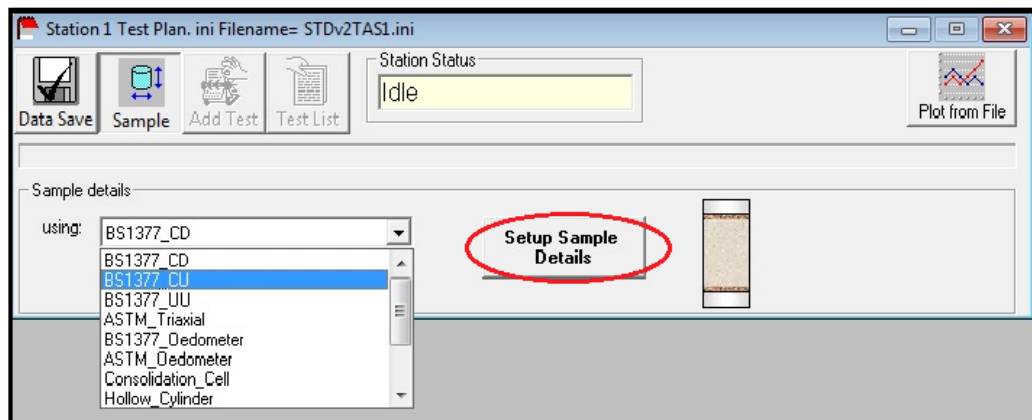
**Figura 40.** Nombre de archivo para prueba.



#### 2.10.4. Introducir detalles de la muestra

Una vez se configure el archivo de datos hacer clic en el botón titulado muestra “Sample” para revelar la ventana de detalles de la muestra.

**Figura 41.** Detalles de la muestra.



El recuadro titulado detalles de la muestra “Sample details” señala la norma nacional por defecto a la que los datos de la muestra se deben registrar.

Para entrar en detalles de la muestra hacer clic sobre el botón configuración de detalles de la muestra “Setup Sample Details”.

Inicialmente se visualiza un cuadro de diálogo preguntando “ Es la primera prueba en una nueva muestra?” como se muestra a continuación.

**Figura 42.** Cuadro de diálogo primera prueba.



Si responde Si y la muestra no está en contacto con el pistón de carga el transductor del cambio de contra-volumen se sitúa en cero cuando se crea la etapa de prueba.

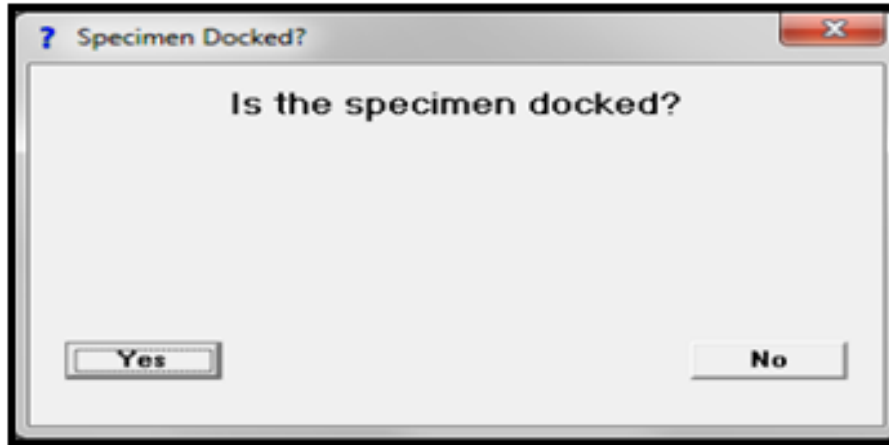
Si responde Si y la muestra está en contacto con el pistón de carga el transductor del cambio de contra-volumen y desplazamiento axial se sitúan en cero cuando se crea la etapa de prueba.

En ambos casos esto significa que la altura y diámetro inicial se introducen en los detalles de la muestra.

Si responde No, los transductores de cambio de contra-volumen y desplazamiento axial se mantienen sin cambios y por lo tanto el software asume que cualquier cambio de volumen o desplazamiento que aparezca en los transductores es el resultado de una etapa de prueba anterior y por lo tanto se usa en el cálculo actual de altura y diámetro.

Siguiente a esto aparece un cuadro de diálogo preguntando “Está en contacto la muestra con el pistón de carga?” como a continuación.

**Figura 43.** Cuadro de diálogo sobre el contacto de la muestra.

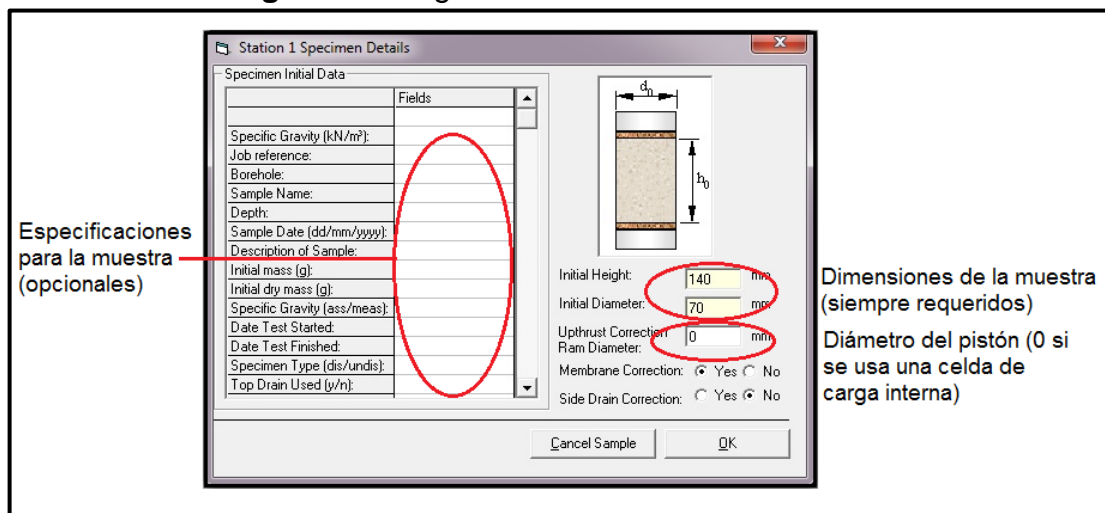


En contacto significa que el top cap superior de la muestra está en contacto con el pistón de carga, es decir, la prueba es anisotrópica.

No está en contacto significa que el top cap superior de la muestra no está en contacto con el pistón de carga, y por lo tanto la prueba es isotrópica.

A continuación se presenta una tabla donde los detalles iniciales de la muestra se pueden registrar, la entrada de cualquier dato sugerido es opcional con la excepción de las dimensiones iniciales de la muestra ya que se requiere de esta información para los cálculos durante la prueba como se muestra enseguida.

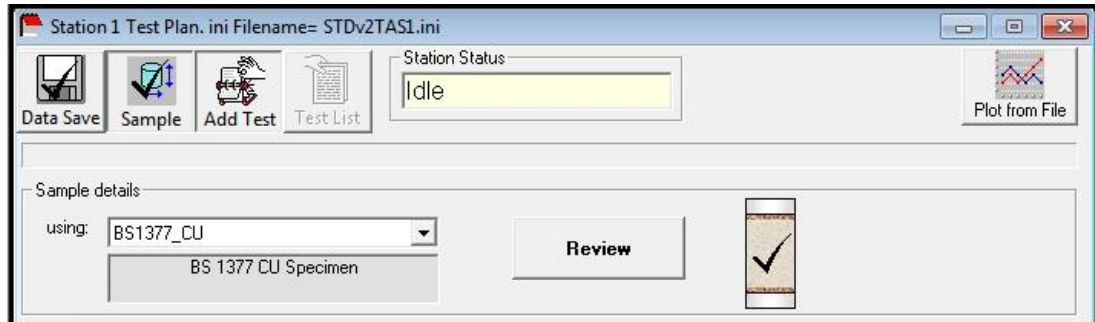
**Figura 44.** Registro de detalles de la muestra.



Una vez todos los detalles de la muestra requeridos se han introducido se selecciona OK.

Ahora los detalles de la muestra se encuentran configurados en la etapa de prueba que se desea ejecutar. Los detalles de la muestra se pueden revisar pulsando el botón revisión “Review”.

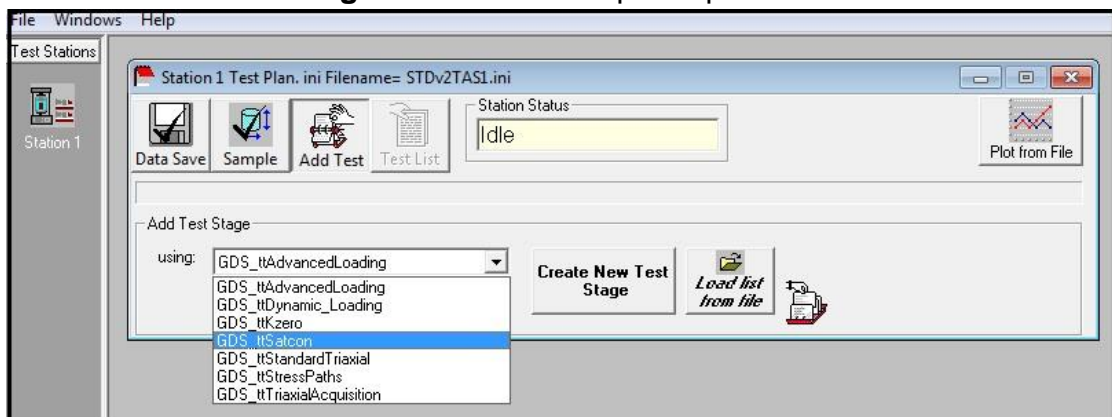
**Figura 45.** Detalles de muestra configurados.



### 2.10.5. Añadir etapa de prueba

Haciendo clic en el botón de añadir prueba “Add Test” se muestra la ventana desplegable titulada añadir etapa de prueba “Add Test Stage” que registra los módulos de prueba disponibles como a continuación.

**Figura 46.** Añadir etapa de prueba.



Una vez se seleccione la etapa de prueba de la lista desplegable dar clic en el botón crear nueva etapa de prueba “Create New Test Stage”. Se puede observar

que el módulo de prueba tiene un icono que ha sido revisado para mostrar que al menos una etapa de prueba se ha configurado.

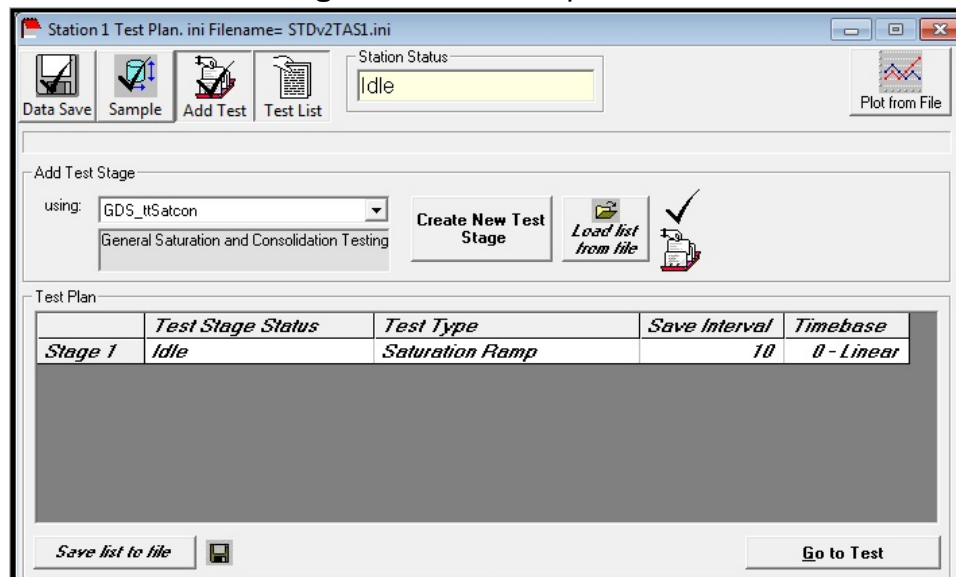
**Figura 47.** Crear etapa de prueba.



También se puede cargar un archivo de un plan de prueba que se ha guardado previamente para ser utilizado una y otra vez.

Cuando todas las etapas de pruebas requeridas están configuradas y el usuario está listo para iniciar el ensayo, dar clic en el botón de lista de prueba “Test List” en la ventana de estación de plan de prueba.

**Figura 48.** Lista de pruebas.

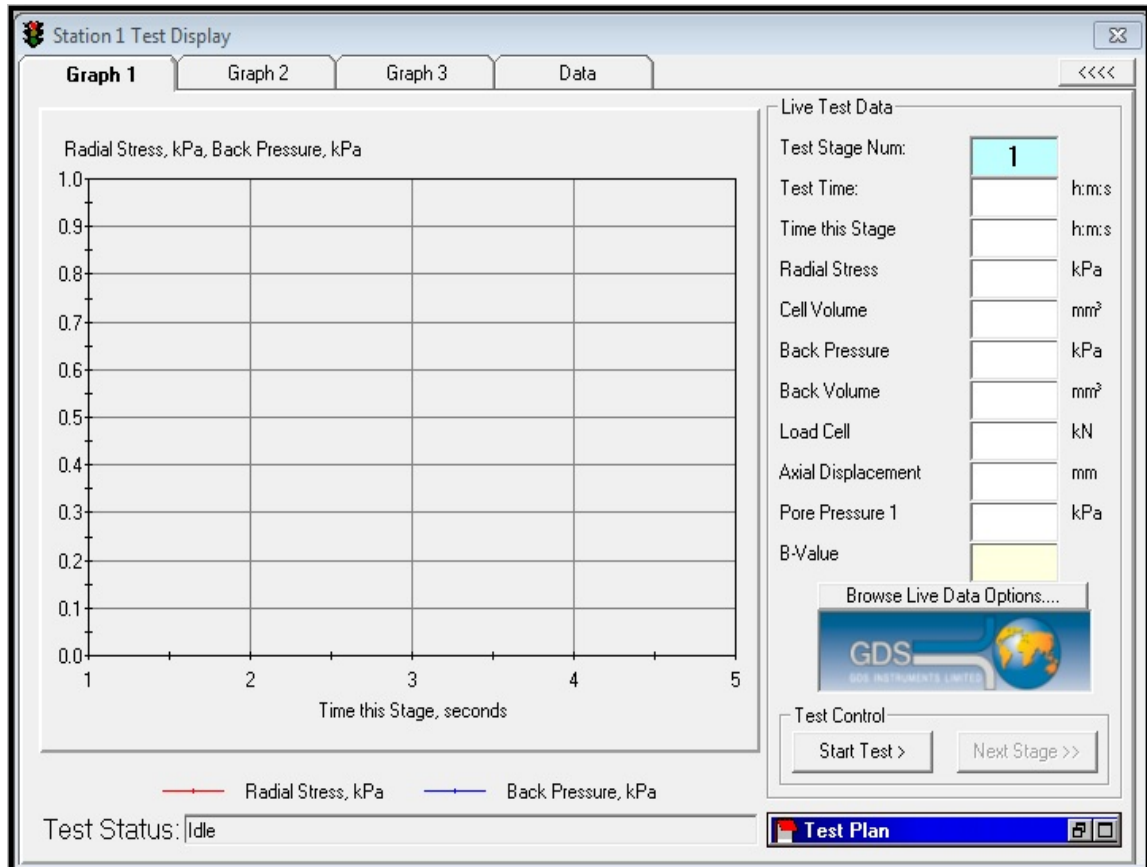


Si el plan de prueba está ha sido completado dar clic en el botón ir a prueba “Go to Test” para iniciar la primera etapa de prueba.

### 2.10.6. Ventana de pantalla de prueba

Después de dar clic en el botón ir a prueba se inicia la ventana de presentación de gráficos de pruebas.

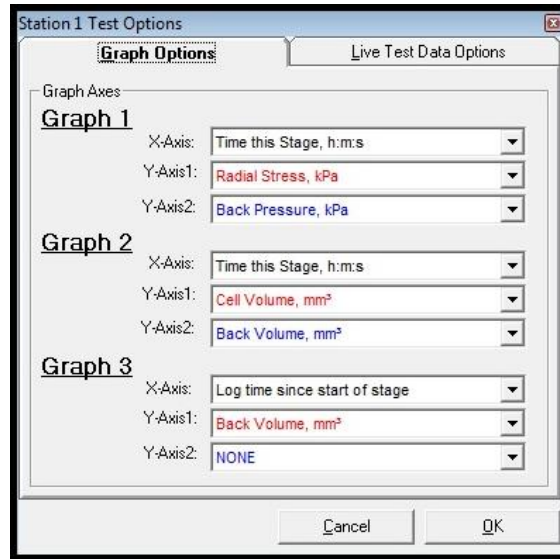
**Figura 49.** Ventana de gráficos de prueba.



La ventana de la pantalla de prueba cuenta con una pestaña de recopilación de datos y tres pestañas para graficar que permiten configurar tres gráficos independientes.

El conjunto de datos que se muestra en cualquiera de los gráficos se pueden cambiar haciendo doble clic sobre el grafico generando un cuadro de selección de opciones gráficas como a continuación.

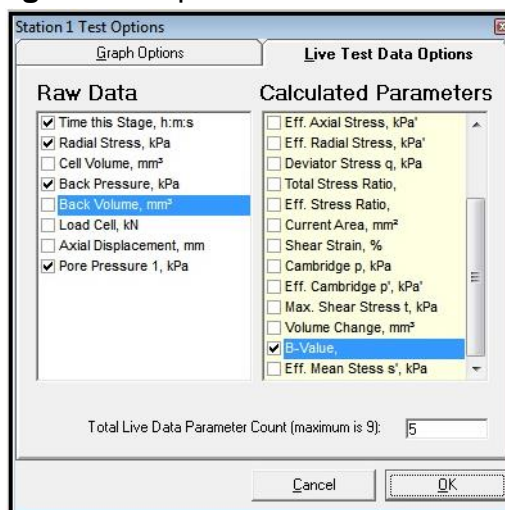
**Figura 50.** Opciones gráficas.



#### 2.10.6.1. Datos de Prueba en Vivo “Live Test Data”

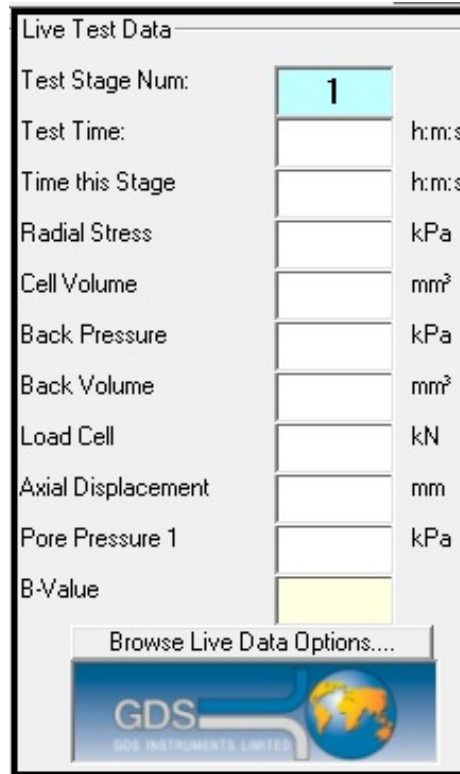
Algunas de las características se pueden visualizar a la derecha de la ventana de la pantalla de prueba. Esta ventana muestra los datos en vivo de la prueba en ejecución donde el usuario puede seleccionar un máximo de hasta 9 parámetros. Para realizar esta selección el usuario puede hacer clic en el botón opciones de datos de navegación en vivo “Browse Live Data Options” o hacer doble clic sobre el área de un gráfico y luego seleccionando la pestaña opciones de datos de prueba en vivo “Live Test Data Options”.

**Figura 51.** Opciones de datos en vivo.



Una vez se ha seleccionado todos los parametros en vivo aparece una tabla en la parte derecha de la ventana de la pantalla de prueba como a continuación.

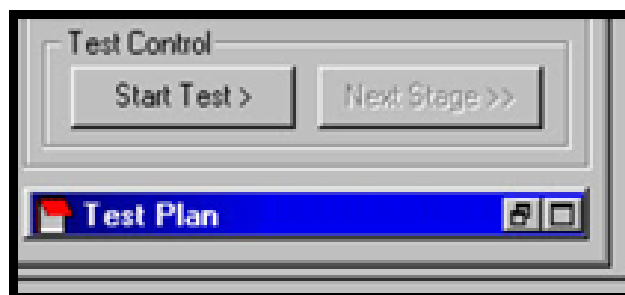
**Figura 52.** Datos de prueba en vivo.



#### 2.10.6.2. Control de prueba "Test Control"

El panel de control de prueba contiene un botón de prueba de inicio "Start Test" que se puede usar en cualquier escenario para iniciar o detener una prueba.

**Figura 53.** Control de prueba.

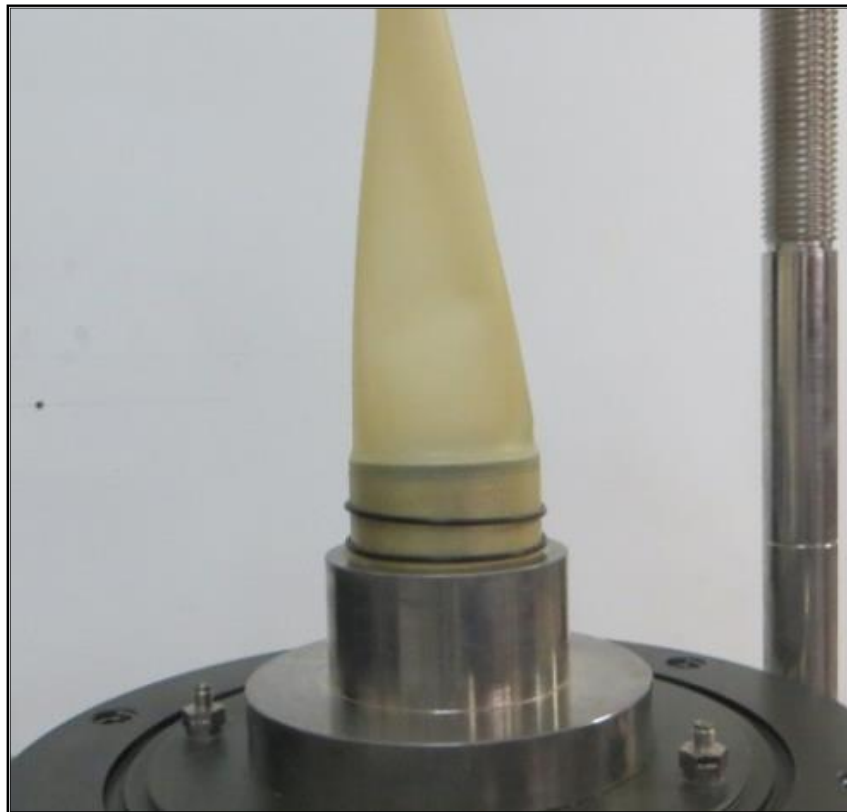


### 3. PREPARACIÓN Y MONTAJE DE LA MUESTRA

A continuación se describe la preparación de muestras para un suelo arenoso o granular.

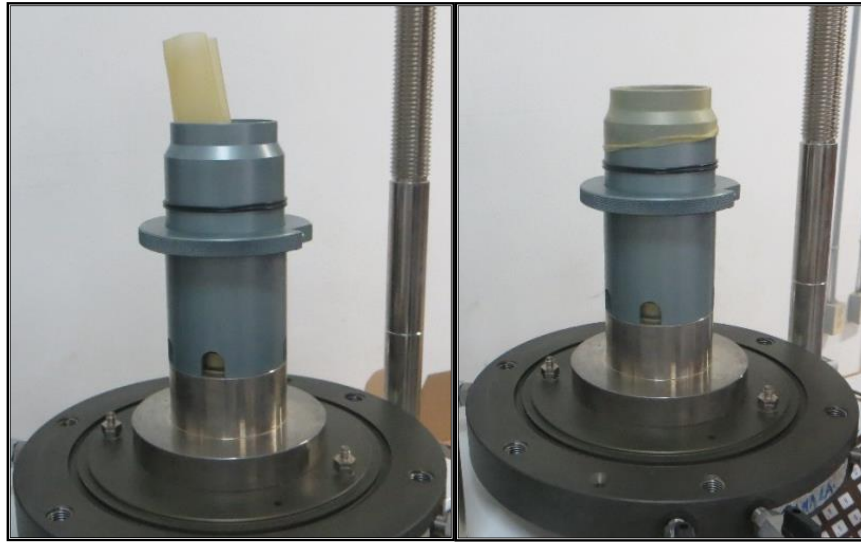
- 1) Verificar que los discos porosos y los tubos de drenaje del equipo no estén obstruidos, pasando aire o agua a través de estos.
- 2) Colocar en el pedestal una piedra porosa y papel filtro sobre el pedestal, luego colocar la membrana delgada e impermeable cuidadosamente hasta la base del pedestal; colocar dos anillos de caucho alrededor de la membrana a la altura del pedestal para proporcionar un sello efectivo.

**Figura 54.** Montaje en el pedestal.



- 3) Instalar el molde verificando que la membrana quede ajustada a él. Luego colocar dos anillos de caucho en la parte de arriba para después asegurar la parte superior de la muestra.

**Figura 55.** Instalación del molde.



- 4) Se debe escoger el método de compactación de acuerdo a las características que se requieran para la muestra y del tamaño máximo del agregado permitido en relación con el diámetro del molde.

**Figura 56.** Preparación de la muestra.



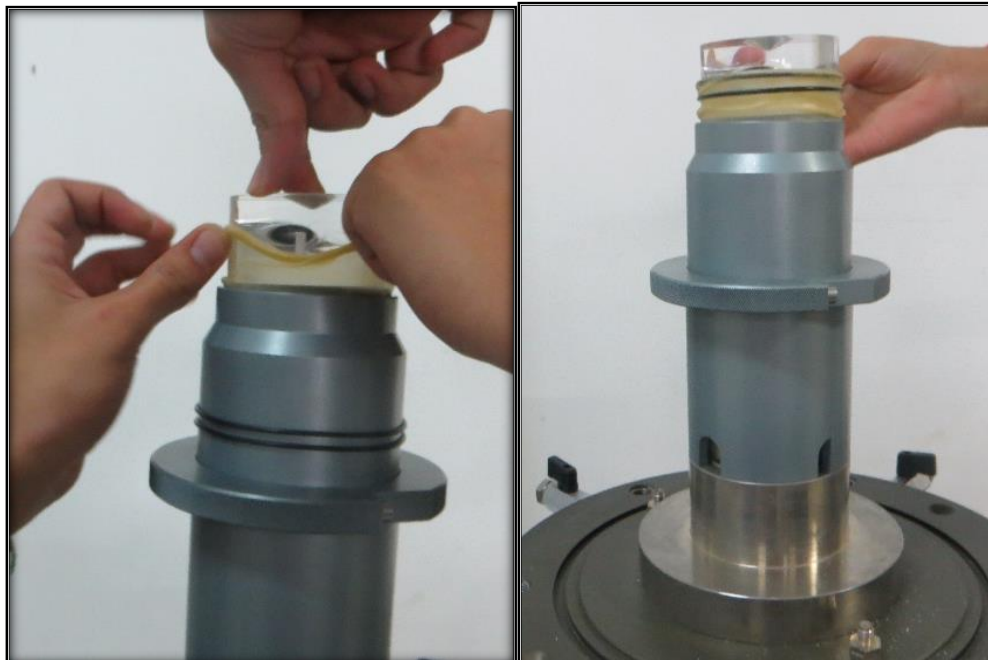
- 5) Una vez se llegue a la altura deseada colocar una piedra porosa.

**Figura 57.** Colocar piedra porosa.



- 6) Ubicar el cabezal (Top-Cap) sobre la muestra. Subir los anillos alrededor de la membrana en el cabezal superior para proporcionar un sello efectivo. Asegurar que el sistema quede herméticamente cerrado.

**Figura 58.** Cierre hermético de la muestra.

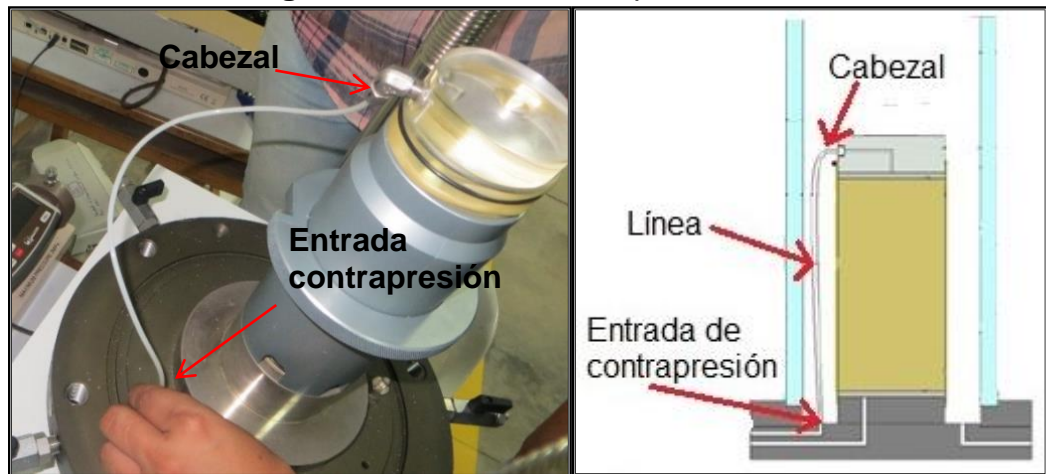


7) Aplicar presión de succión

Se le aplica succión a la muestra con el fin de mantener los poros juntos y generar adherencia en la muestra para poder retirar el molde. Para este paso tener en cuenta que la segunda llave del sensor de presión de poros debe permanecer cerrada.

- a) Conectar una línea a la parte superior de la muestra en el cabezal y el otro extremo a la entrada de contrapresión en la base de la cámara triaxial. Por medio de esta línea se aplicará presión de succión a la muestra y finalmente saturar la muestra.

**Figura 59.** Línea de contrapresión.

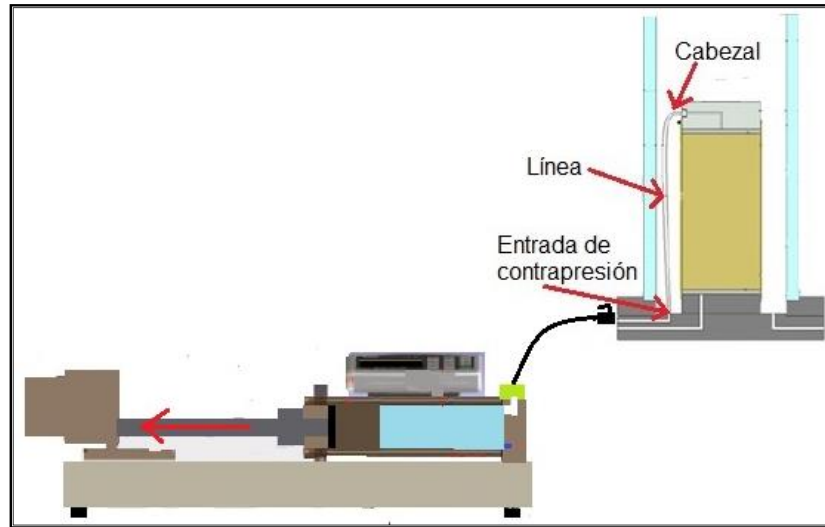


- b) Conectar una línea entre la llave de contrapresión en la base de la cámara triaxial y el controlador.

**Figura 60.** Conexión entre el controlador y la llave de contrapresión.



**Figura 61.** Mecanismo para aplicar succión.



- c) Para aplicar la presión de succión se debe realizar el siguiente procedimiento:

Aplicar una presión objetivo, puede ser  $-10$  [KPa] con el controlador mediante el comando (CMD+ Tecla 7 "Target Pressure" +  $-10$  [KPa] +Enter). Dejar actuar esta presión hasta que se alcance el valor deseado. Luego se retira el molde sin que se aplique alguna fuerza a la muestra.

**Figura 62.** Retirar molde.



8) Lavado del controlador de contrapresión.

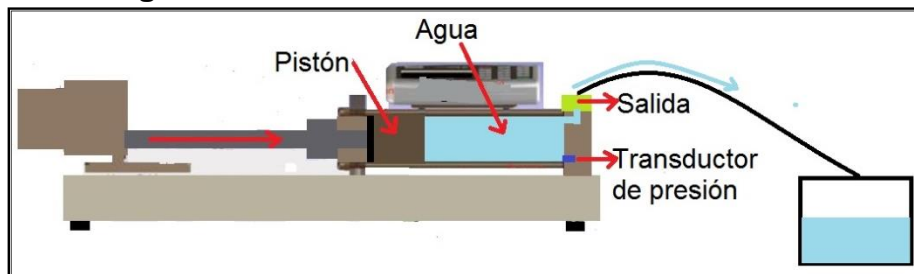
El lavado del controlador se realiza con el fin de eliminar el aire atrapado en el sistema. Para esto realizar los siguientes pasos:

- a) Vaciado rápido del controlador (CMD + Fast Empty + Enter): conectar una línea para expulsar el agua y/o aire que puede haber dentro del controlador.

**Figura 63.** Conectar línea al controlador.

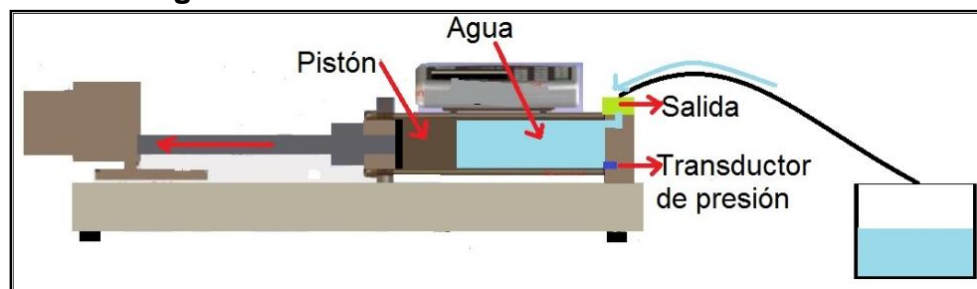


**Figura 64.** Mecanismo de vaciado del controlador.



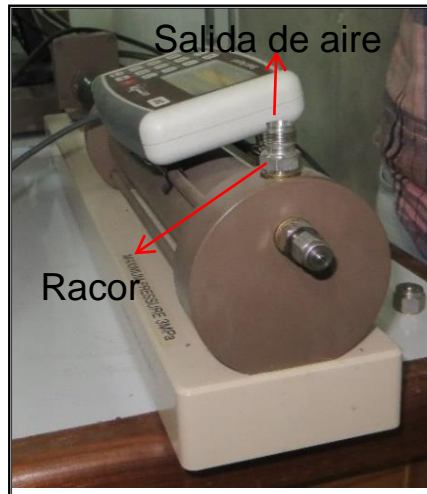
- b) Llenado rápido del controlador: (CMD + Fast Fill+ Enter): Llenar el controlador con agua destilada asegurando flujo continuo.

**Figura 65.** Mecanismo de llenado del controlador.

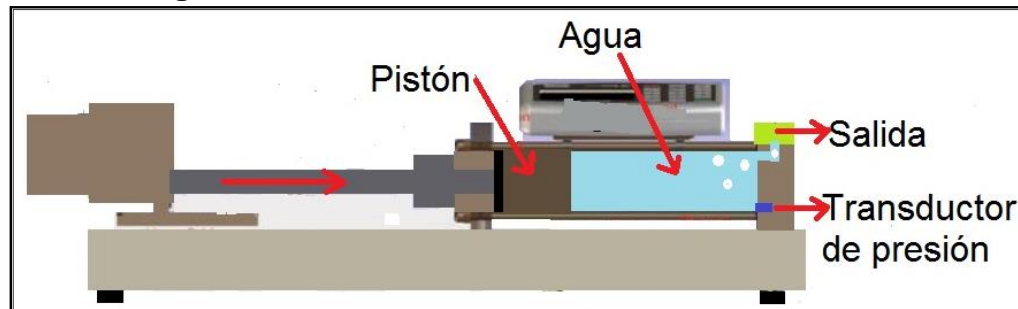


- c) Desairar el controlador (MENU + Fill/ Empty + Slow Empty + Enter): El aire que está dentro del cilindro deberá salir por el racor que está en la parte superior del controlador. Se deja actuar esta función hasta que el aire sea expulsado completamente del controlador (el agua debe salir totalmente fluida sin burbujas), luego detener la función utilizando la tecla “STOP”.

**Figura 66.** Desairar el controlador.



**Figura 67.** Mecanismo de desairado del controlador.

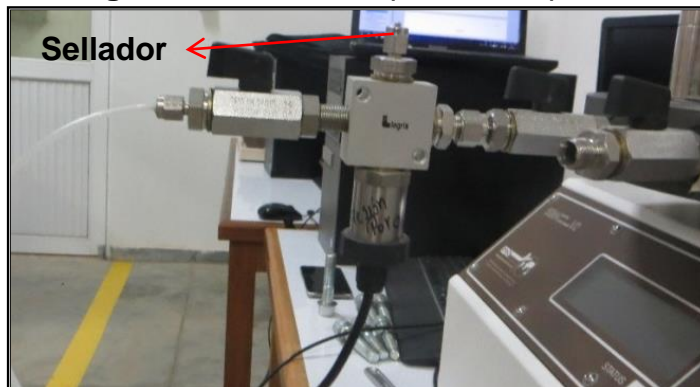


- 9) Lavado de la línea y sensor de presión de poros.

El lavado se realiza con el fin de eliminar el aire atrapado en el sistema. Para realizar el lavado se necesita bombear agua a través de las líneas utilizando un controlador de presión. Para esto realizar los siguientes pasos:

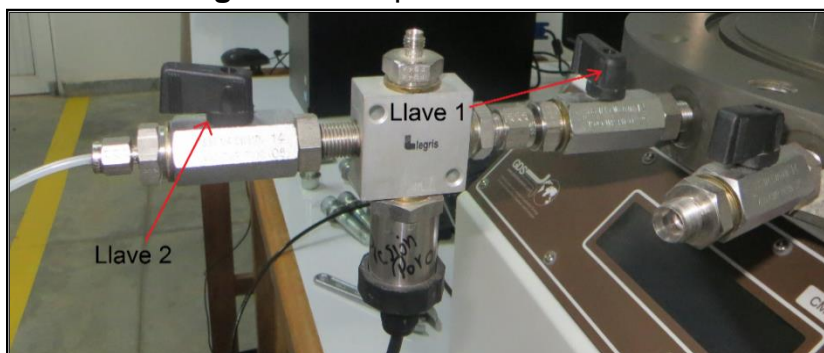
- a) Conectar el sensor de presión de poros a la llave principal de la cámara triaxial (Izquierda frontal).

**Figura 68.** Sensor de presión de poros.



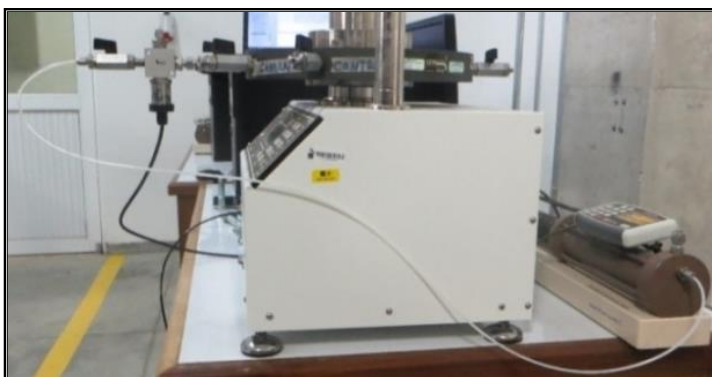
- b) Retirar el sellador del sensor para que pueda salir el aire almacenado tanto de la línea como del sensor de presión de poros, manteniendo la primera llave cerrada y la segunda llave abierta.

**Figura 69.** Preparación del sistema.

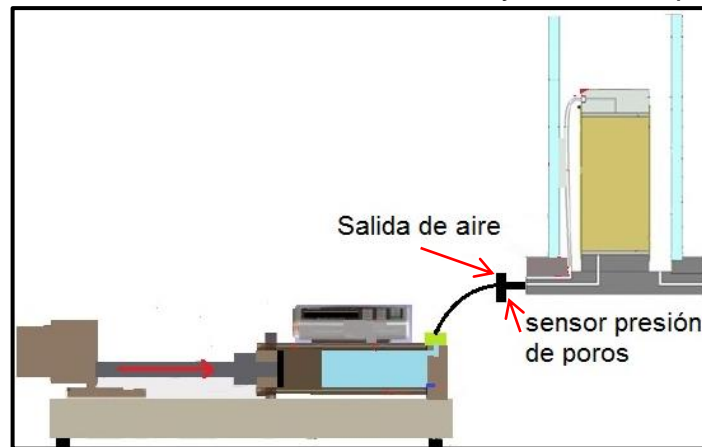


- c) Luego hacer conexión desde la entrada del controlador al sensor de presión de poros por medio de una línea.

**Figura 70.** Conexión controlador- sensor presión de poros.



**Figura 71.** Mecanismo de lavado de línea y sensor de presión de poros.



- d) Aplicar vaciado lento en el controlador (MENU + Fill/Empty + Slow Empty + Enter): Con el fin de hacer fluir agua a través de la línea desde el controlador hasta el sensor de presión de poros. Pausar la función utilizando la tecla STOP cuando ya haya salido todo el aire atrapado (agua sin burbujas de aire). Terminado este paso se asegura el sellador del sensor.

- 10) Preparar la cámara triaxial.

Conectar el cable de la celda de carga en el canal Ch #0 del registrador de datos.

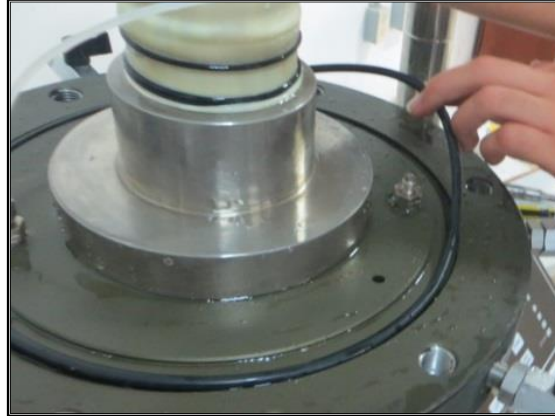
**Figura 72.** Cable de la celda de carga.



- 11) Montaje de la cámara triaxial sobre la base teniendo en cuenta los siguientes pasos:

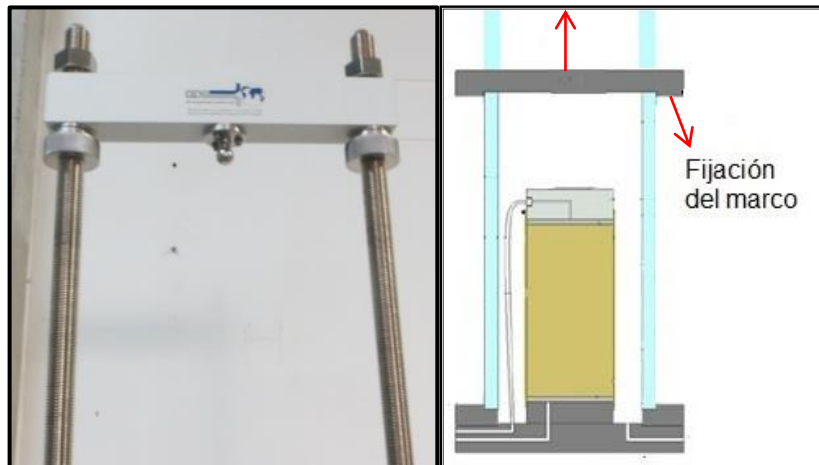
- a) Limpiar el pedestal y colocar en la base el anillo de caucho donde se fijará la cámara triaxial.

**Figura 73.** Colocar anillo de caucho.



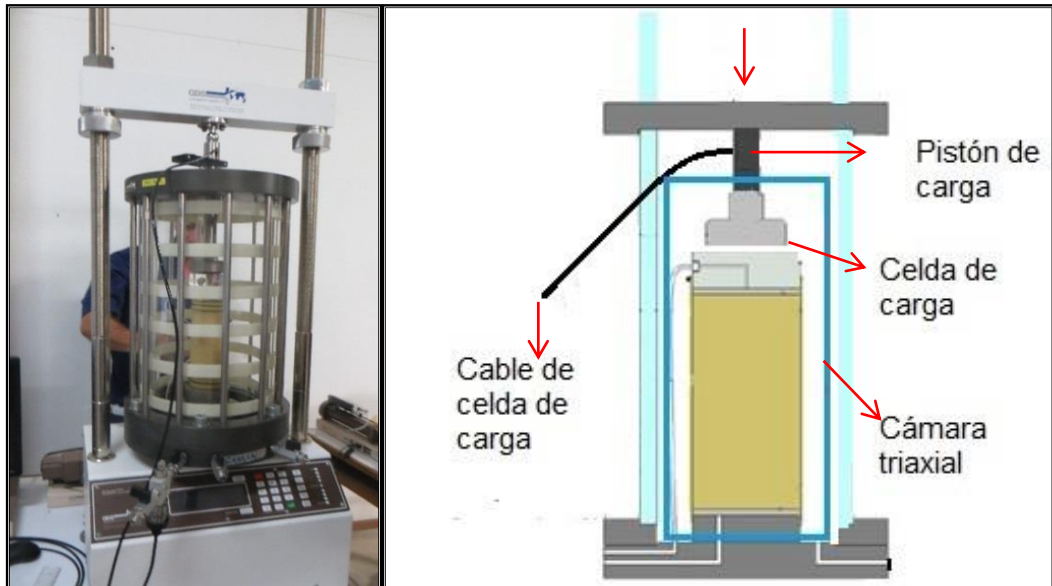
- b) Subir el dispositivo de fijación del marco para dar suficiente espacio y comodidad al momento de ubicar la cámara triaxial.

**Figura 74.** Fijación del marco.



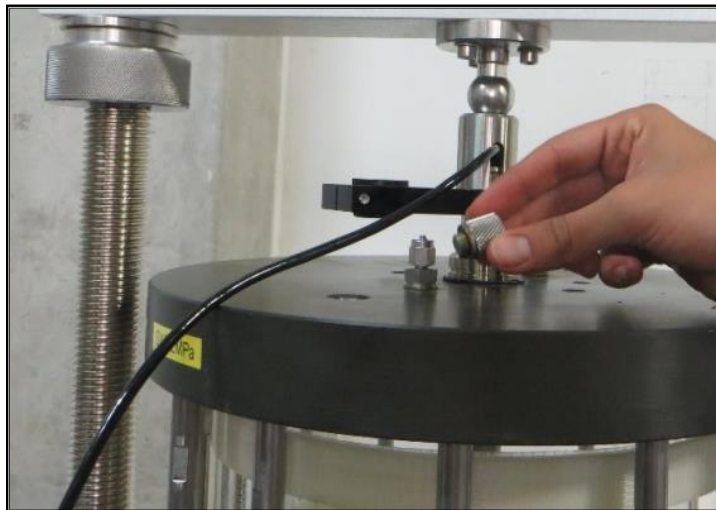
- c) Ubicar la cámara sobre la base verificando la alineación de la muestra con el pistón de carga. Bajar el pistón de carga hasta que quede lo más próximo al contacto con el cabezal y asegurar el pistón de carga con el dispositivo de fijación, para evitar ser expulsado a velocidad al momento de aplicar presiones en la cámara triaxial.

**Figura 75.** Ubicar cámara triaxial.



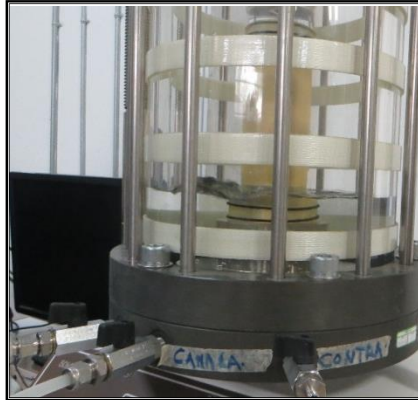
- 12) Retirar el tornillo de la parte superior de la cámara para permitir la salida de aire y agua cuando se llene la cámara triaxial.

**Figura 76.** Sellador de la cámara triaxial.



- 13) Llenar la cámara triaxial con agua destilada mediante una línea que se debe conectar a la llave de la cámara triaxial. El proceso de llenado termina cuando salga agua por el orificio superior.

**Figura 77.** Llenado de la cámara triaxial.

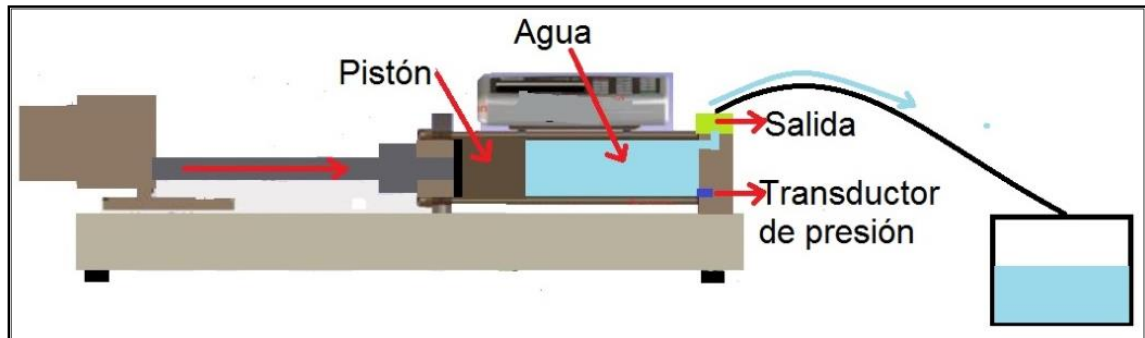


14) Lavado del controlador de presión de cámara.

El lavado del controlador se realiza con el fin de eliminar el aire atrapado en el sistema. Para esto realizar los siguientes pasos:

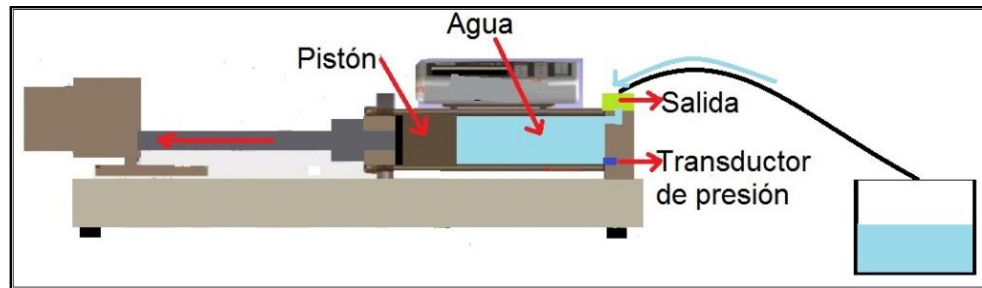
- a) Encender el controlador que se utilizara para aplicar la presión de cámara.
- b) Vaciado rápido del controlador (CMD + Fast Empty + Enter): Conectar una línea (manguera) para expulsar el agua y/o aire que puede haber dentro del controlador.

**Figura 78.** Mecanismo de vaciado del controlador.



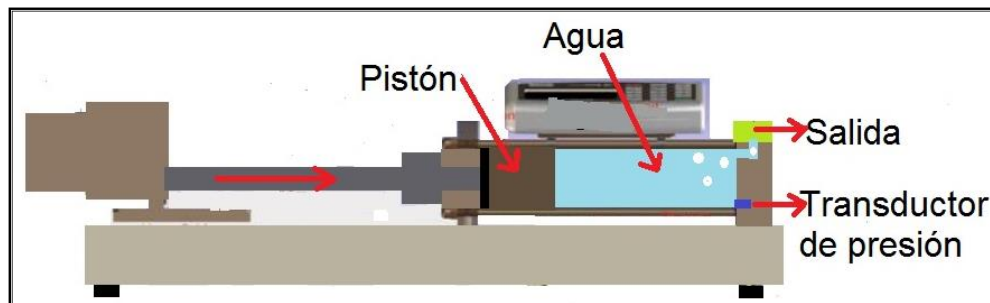
- c) Llenado rápido del controlador (CMD+ Fast Fill + Enter): Llenar el controlador con agua destilada asegurando flujo continuo, es decir, evitando que no entren burbujas al controlador.

**Figura 79.** Mecanismo de llenado del controlador.



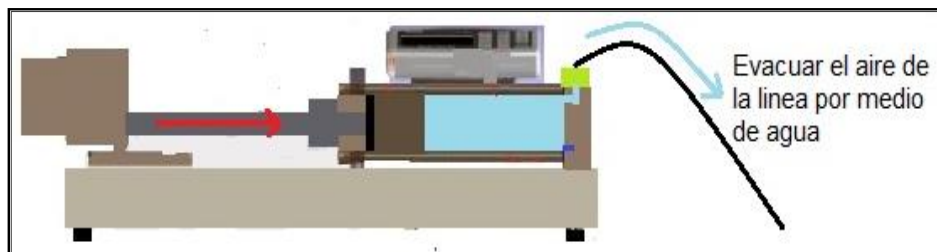
d) Desairar el controlador (MENU + Fill/ Empty + Slow Empty + Enter).

**Figura 80.** Mecanismo de desairado del controlador.



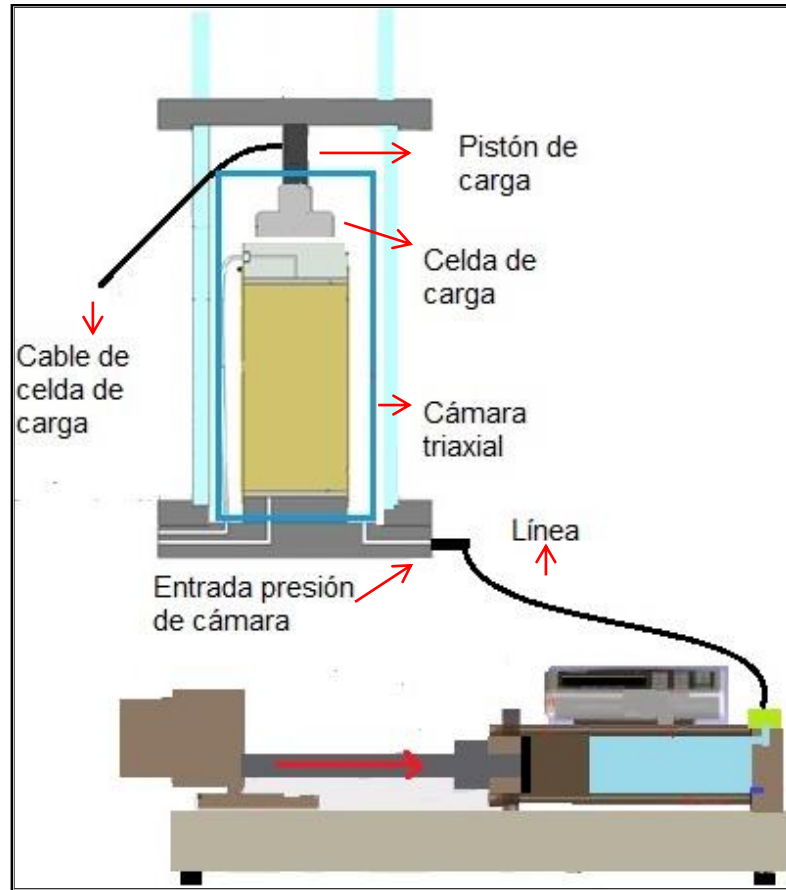
e) Vaciado rápido de la línea (CMD + Fast Empty + Enter): Conectar una línea (manguera) a la entrada del controlador que se encuentra paralela al cilindro y aplicar el vaciado rápido hasta evacuar el aire dentro de la línea. Luego conectar esta línea a la llave de presión de cámara.

**Figura 81.** Mecanismo de desairado de la línea.



15) Aplicar una presión de cámara pequeña (confinamiento), con el fin de darle cohesión y poder liberar la succión adentro de la muestra haciendo los siguientes pasos:

**Figura 82.** Mecanismo de aplicar presión de confinamiento.



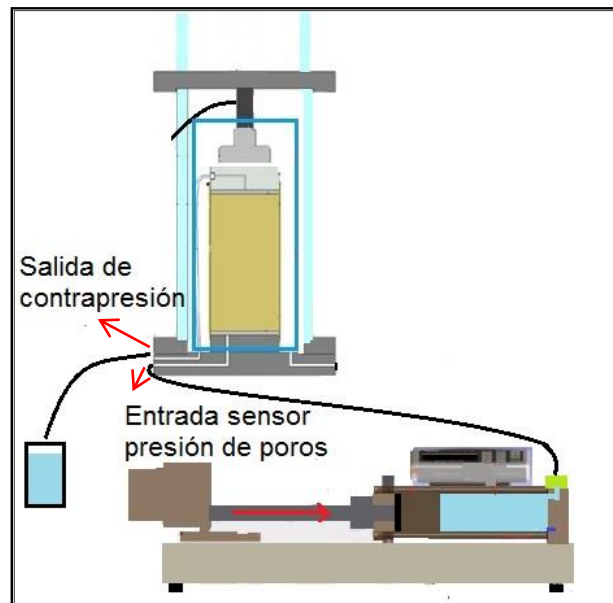
- a) Aplicar al controlador una presión de compensación (Menu +Offsets Menu + Apply Pr. Offset + Enter): para este procedimiento mantener la entrada de la parte superior de la cámara abierta. Nota: Puede ser posible que en un ensayo anterior se haya aplicado una compensación, esto se puede verificar si al momento de hacer el paso anterior está habilitada la opción Remove Pr. Offset, si es así se remueve esa presión de compensación y se aplica la nueva presión de compensación. En este momento la lectura de presión en el controlador debe ser cero.
- b) Enroscar el tornillo de la parte superior de la cámara expuesta a la atmósfera para mantener el sistema cerrado y aplicar una presión de confinamiento, igual a la succión del paso (7.c) 10 [KPa] para reemplazar la succión que fue aplicada anteriormente en la muestra, esto se realiza utilizando el comando CMD+ Tecla 7 "Target Pressure" + 10 [KPa] +Enter).

## 16) Lavado de la muestra.

Consiste en sacar todo el aire atrapado dentro de la muestra, inyectando agua que va desde el pedestal hasta la llave de salida de contrapresión mediante la aplicación de una presión menor a la del paso (15.b) para no distorsionar la muestra.

- a) Se debe tener conexión desde el controlador a la entrada del sensor de poros mediante una línea. Conectar una línea desde la llave de contrapresión en la base de la cámara e introducir el otro extremo dentro de un recipiente con agua destilada. Luego abrir las llaves del sensor de poros y de contrapresión para liberar la succión atrapada en la muestra.

**Figura 83.** Mecanismo de lavado de la muestra.



- b) Aplicar presión de compensación digitando en el teclado del controlador Menú +Offsets Menu + Apply Pr. Offset + Enter, con el fin de poner la lectura de presión en cero.
- c) Aplicar presión (ej. 8 [KPa]) (menor a 10 [KPa]) digitando (CMD+ Tecla 7+ 8 [KPa]+ Enter). Hay posibilidad de que el agua dentro del controlador no alcance para saturar la muestra, entonces se debe cerrar el sistema, llenar de nuevo el controlador (CMD + Fast Fill + Enter), sacar el aire del sensor(

Menu+ Fill/Empty + Slow Empty + Enter) y volver a aplicar la presión objetivo.

Mientras se aplica el lavado se puede observar la evacuación del aire atrapado dentro de la muestra por la línea de salida de contrapresión (burbujas); una vez haya salido todo el aire se recomienda dejar actuar dicha presión por lo menos 5 minutos más para asegurar que el aire haya sido evacuado de la muestra. Finalmente se cierra la llave de contrapresión.

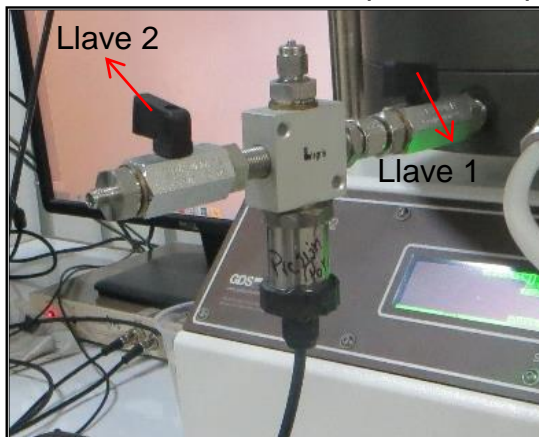
**Figura 84.** Lavado de la muestra.



17) Preparar el sistema para la etapa de saturación:

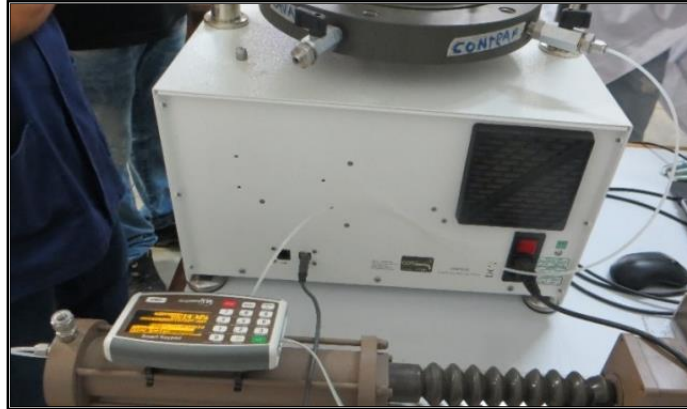
- a) En la conexión del sensor de presión de poros cerrar la segunda llave y mantener la primera abierta para permitir la lectura del sensor de presión de poros.

**Figura 85.** Llaves del sensor de presión de poros.



- b) Conectar una línea desde la llave de contrapresión al controlador de la contrapresión.

**Figura 86.** Conexión del controlador y la llave de contrapresión.



## 4. SATURACIÓN

El proceso de saturación está diseñado para asegurar que todos los vacíos dentro de la muestra de ensayo se llenen con agua sin que se apliquen esfuerzos indeseables a ella y sin dejar expandir la muestra. Al inicio de la etapa las líneas del transductor de presión de poros y de drenaje deben estar desairadas para evitar alteraciones en los resultados.

La saturación generalmente se realiza aplicando contrapresión de agua a los poros de la muestra con el fin de expulsar el aire. Esto puede lograrse mediante la aplicación de presión de cámara y contrapresión en la muestra. Este proceso se muestra en la Figura 87, en la que se debe mantener el esfuerzo efectivo constante; en ningún momento el esfuerzo efectivo debe exceder el esfuerzo de consolidación efectivo ya que esto conduce a la probeta a sobre-consolidación<sup>17</sup>.

Para evitar pre-esfuerzos indeseables en la muestra mientras se aplican las contrapresiones, las presiones se deben aplicar utilizando tiempos adecuados entre los incrementos para permitir la igualación de la presión de poros en toda la muestra.

El tamaño de cada incremento puede estar entre 35 [KPa] y 140 [KPa], dependiendo de la magnitud del esfuerzo de consolidación efectivo y el grado de saturación de la muestra<sup>18</sup>.

Las contrapresiones a colocar pueden encontrarse en el rango de 400 a 600 [KPa] para que la muestra se sature completamente, esto varía dependiendo del tipo de suelo. En algunos suelos el valor puede llegar a ser superior a 700 [KPa] para saturar la muestra, sin embargo hay que tener en cuenta la capacidad máxima de los controladores<sup>19</sup>.

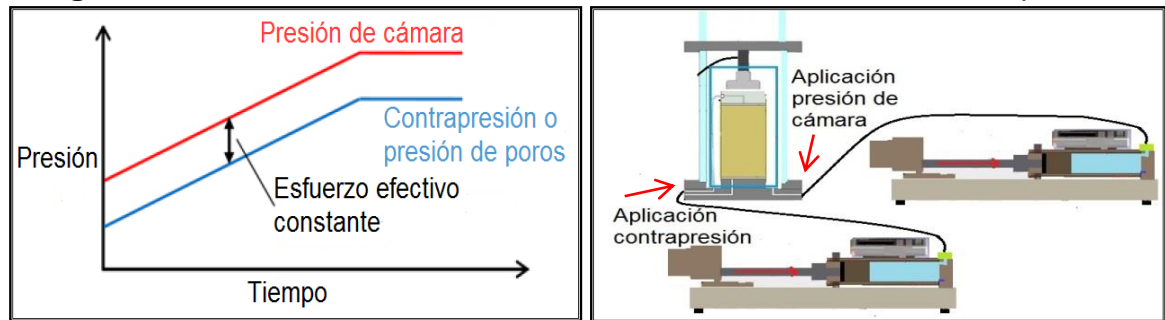
---

<sup>17</sup> REES, SEEN. Parte 1: Introducción al ensayo triaxial. Dr. especialista en Geotecnia de GDS instrument. 2013. 3 p. [Traducido por Autores].

<sup>18</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Parámetros de resistencia del suelo mediante compresión triaxial. I.N.V.E-07. Bogotá DC, 2007. 16 p.

<sup>19</sup> REES, SEEN. Op. cit, p.3

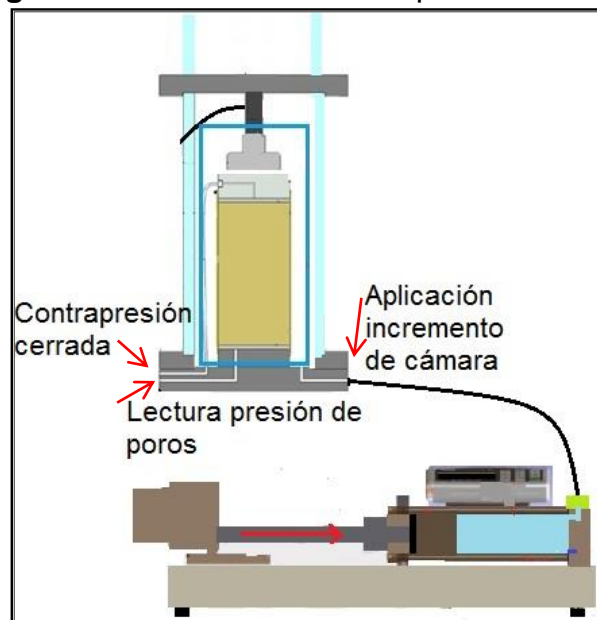
**Figura 87.** Saturación de muestras mediante el aumento de la contrapresión.



#### 4.1. CHEQUEO DEL VALOR B

Para comprobar que el grado de saturación de la muestra es el adecuado antes de pasar a la fase de consolidación, se realiza una prueba corta para determinar el valor de B-Skempton. Esto se llama un chequeo del valor B, y requiere drenaje cerrado en la contrapresión (el sistema automáticamente mantiene las llaves de drenaje cerradas), mientras que la presión de cámara tiene un incremento de aproximadamente 50 KPa<sup>20</sup>, luego se mide el incremento de la presión de poros. En la figura 88 se observa el sistema por medio del cual se aplicaran presiones y se medirá la presión de poros.

**Figura 88.** Mecanismo de chequeo del valor B.



<sup>20</sup> REES, SEEN. Op. cit, p.3 [Traducido por Autores].

Se define el parámetro B, de presión de poros, así:

Ecuación 1

$$B = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma_3}$$

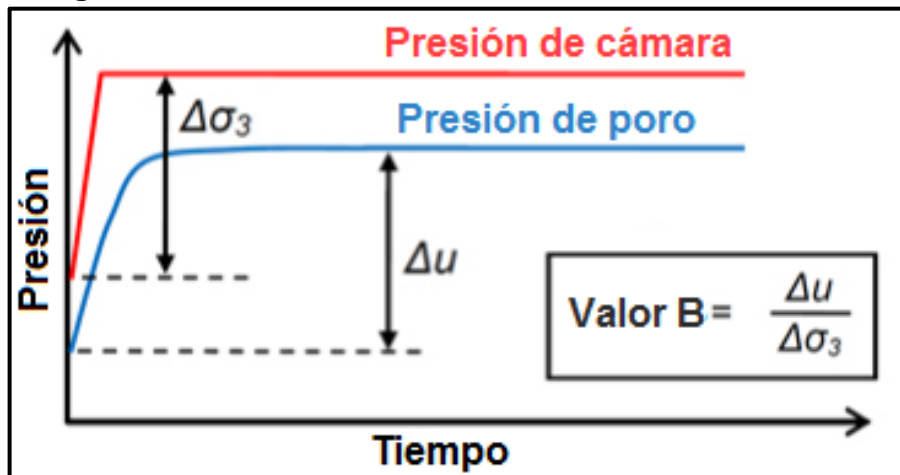
Dónde:

$\Delta \sigma_3$  es el cambio en la presión de cámara y  $\Delta u$  es el cambio en la presión de poros que ocurre en la muestra debido a un cambio de la presión de cámara ( $\Delta \sigma_3$ ) cuando las llaves de drenaje de la muestra están cerradas.

Después de alcanzarse el valor de presión de cámara deseado, se determina y registra la presión de poros máxima inducida y se calcula el  $\Delta u$ . Un gran aumento de  $\Delta u$  con el tiempo o un valor de  $\Delta u$  mayor que  $\Delta \sigma_3$  indica una filtración de fluido de la cámara en la muestra. Posteriormente se procederá a calcular el valor de B de acuerdo a la ecuación 1<sup>21</sup>.

La saturación se alcanza para un arcilla blanda normalmente consolidada o una arena suelta con un valor de  $B \approx 1.00$  y en arenas densas o arcillas duras el valor de  $B \approx 0,91$ . En la figura 89 se muestra la variación de  $\Delta \sigma_3$  y  $\Delta u$  hasta alcanzar los valores requeridos<sup>22</sup>. Cuando B este entre 0,91 y 1 la muestra está saturada y se puede comenzar la siguiente etapa.

**Figura 89.** Valor B - Confirmar la saturación de la muestra.



<sup>21</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Parámetros de resistencia del suelo mediante compresión triaxial. I.N.V.E-07. Bogotá DC, 2007.17 p.

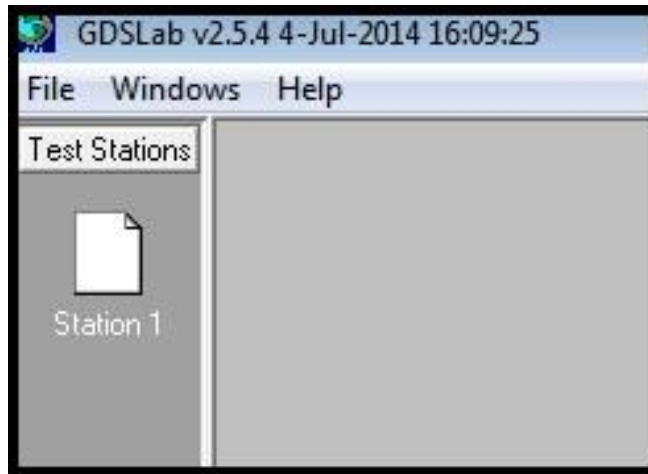
<sup>22</sup> REES, SEEN. Op. cit, p.3. [Traducido por Autores]

## 4.2. PASOS PARA REALIZAR LA ETAPA DE SATURACIÓN Y LA COMPROBACIÓN DEL VALOR B-SKEMPTON UTILIZANDO EL SOFTWARE.

Procedimiento en el software para realizar la etapa de saturación.

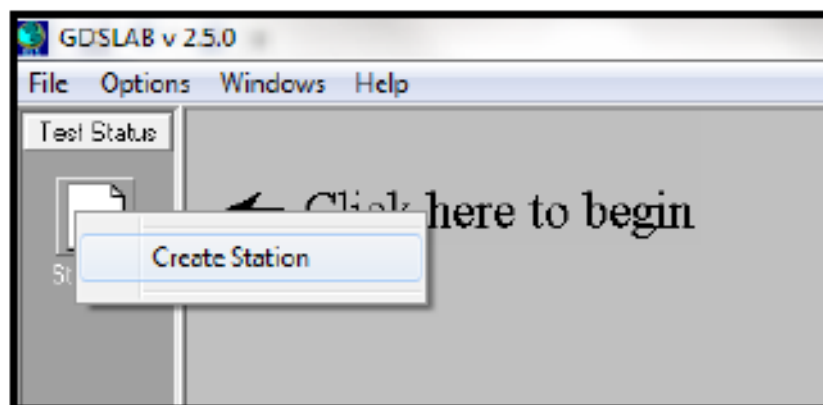
- 1) Al abrir el programa se muestra la ventana de inicio como a continuación.

**Figura 90.** Ventana de inicio del Software.



- 2) Al hacer clic en la estación 1 “icono en blanco” está disponible la opción crear estación, dar clic sobre ésta.

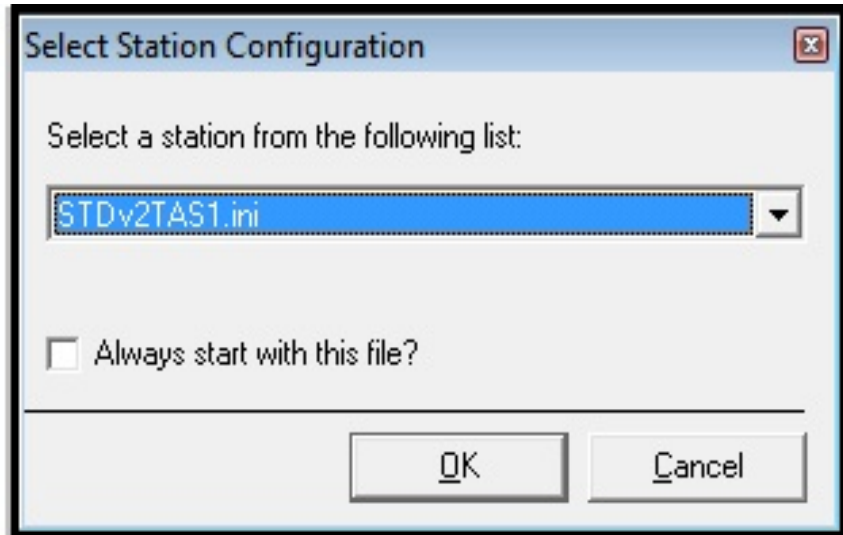
**Figura 91.** Crear estación.



- 3) Seleccionar crear estación y la ventana de selección de configuración de estación se hará visible, esta ventana contiene una lista de estaciones

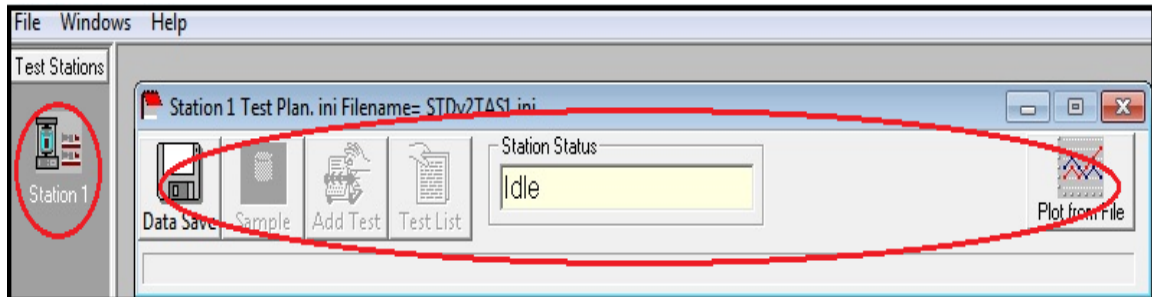
disponibles. Seleccionar la estación STDv2TAS.ini la cual define los equipos que se van a conectar al computador, luego dar clic en OK.

**Figura 92.** Selección de la configuración de estación.



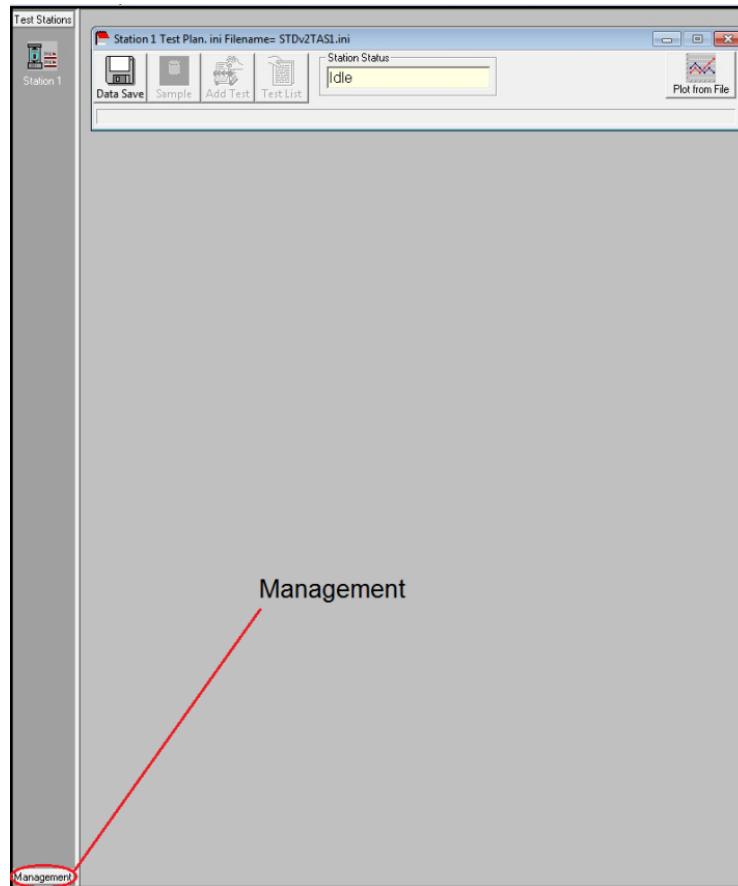
- 4) Una vez que la selección de configuración de la estación ha sido completada se muestra la ventana plan de prueba "Test Plan".

**Figura 93.** Plan de prueba.



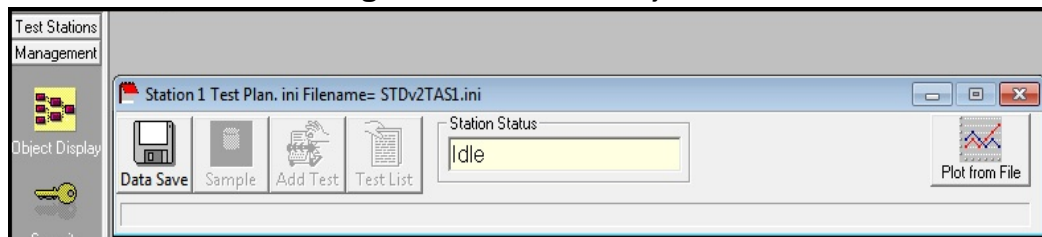
- 5) En la parte inferior izquierda de la pantalla se encuentra el botón etiquetado Management "Manejo", dar Clic en el botón.

**Figura 94. Botón de manejo.**



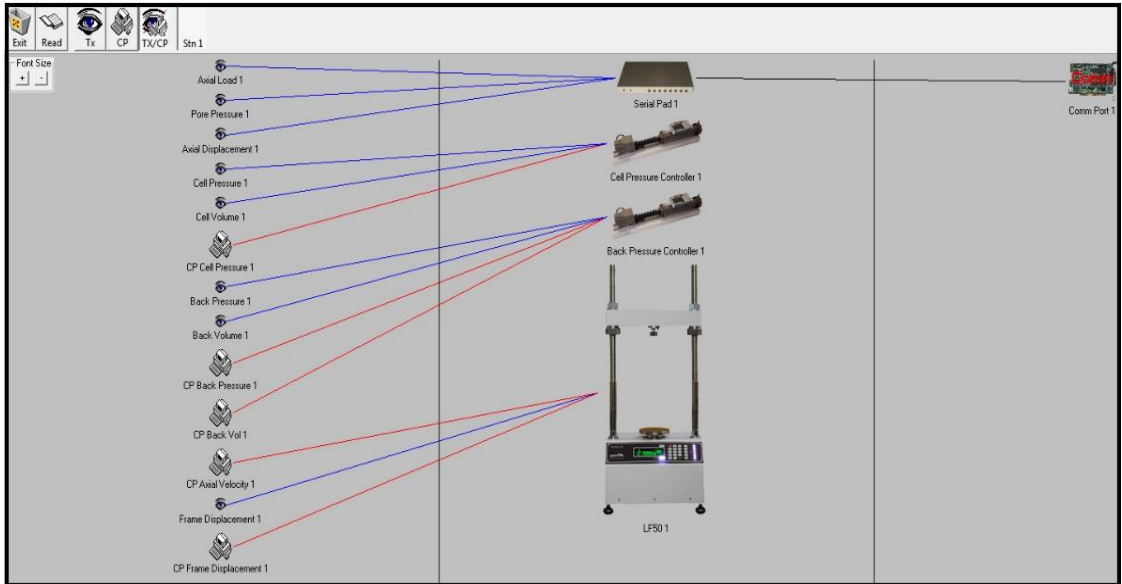
- 6) Se generan dos iconos en la parte superior izquierda de la pantalla como se muestra en la siguiente imagen, seguidamente clic en visor de objetos “Object Display”.

**Figura 95. Visor de objetos.**



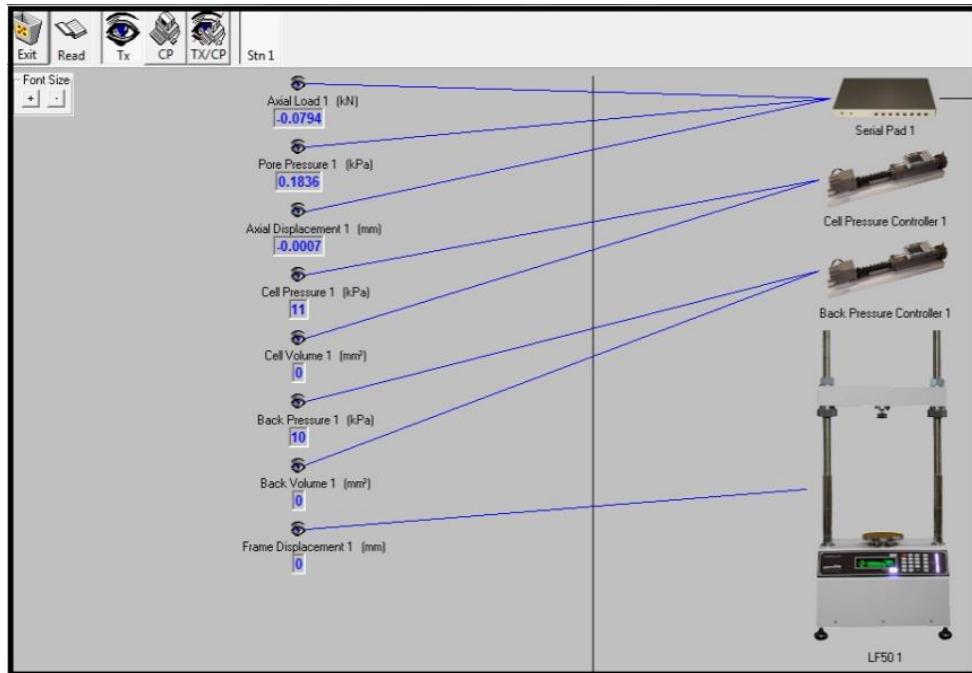
- 7) Cuando el visor de objetos “Object Display” se selecciona se muestra un diagrama esquemático de la configuración de la estación y los dispositivos que están conectados correctamente y disponibles.

**Figura 96.** Diagrama configuración de la estación.



8) Para ver las lecturas actuales que registran los dispositivos dar clic en el botón “Read”.

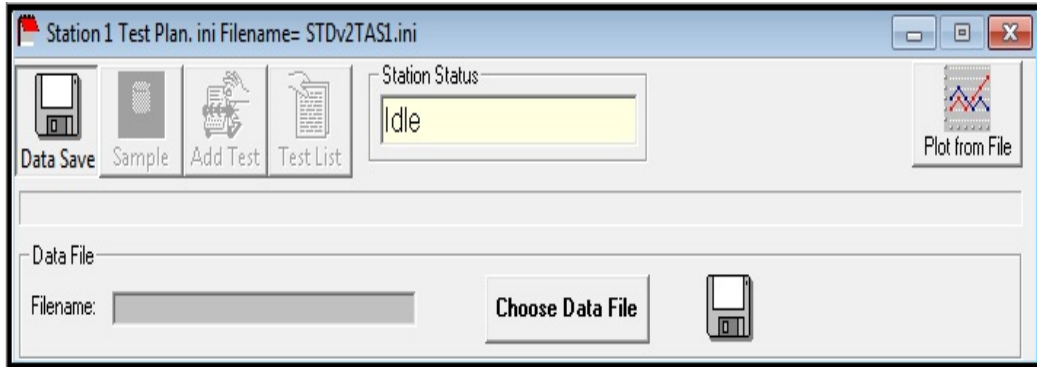
**Figura 97.** Lecturas actuales.



Nota: Clic en salir “Exit” para volver a la ventana principal.

- 9) Para seleccionar un archivo de datos dar clic en el botón guardar datos “Data Save”, a continuación se revela la estructura del archivo “Data File”. Dar clic en el botón elegir archivo de datos “Choose Data file”.

**Figura 98.** Seleccionar archivo de datos.



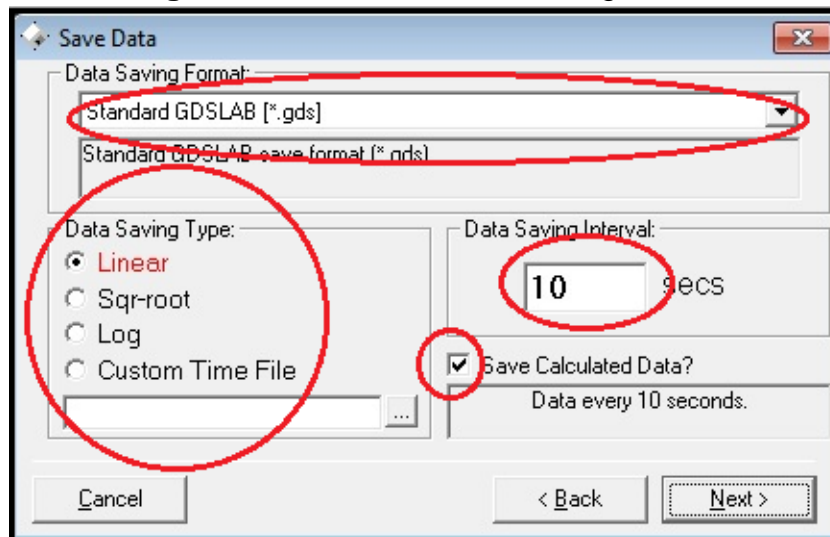
- 10) Seleccionar directorio único y hacer clic en siguiente “Next”.

**Figura 99.** Archivo de datos de único directorio.



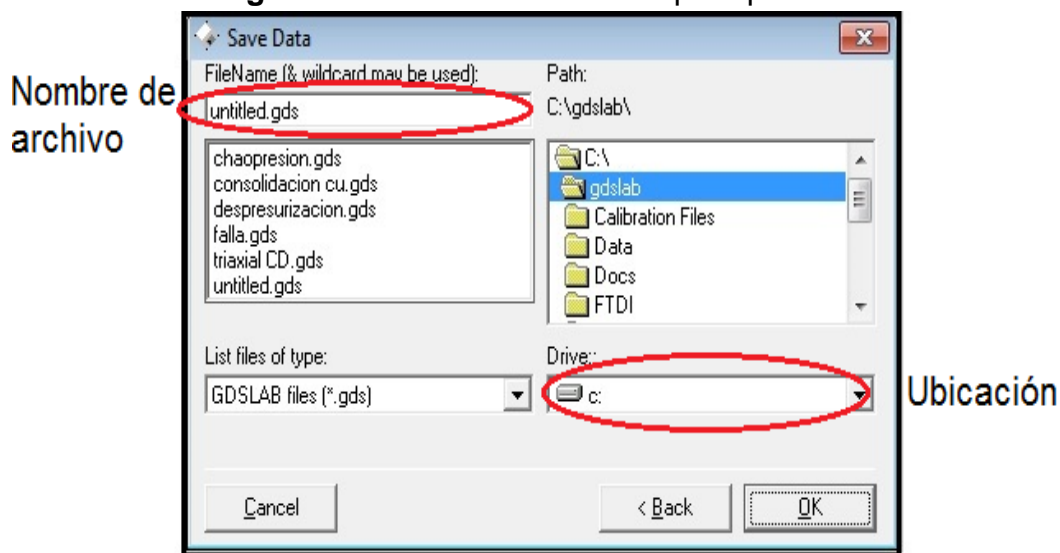
- 11) La ventana que se muestra a continuación le solicita información de los datos a guardar como a continuación.

**Figura 100.** Formato de datos a guardar.



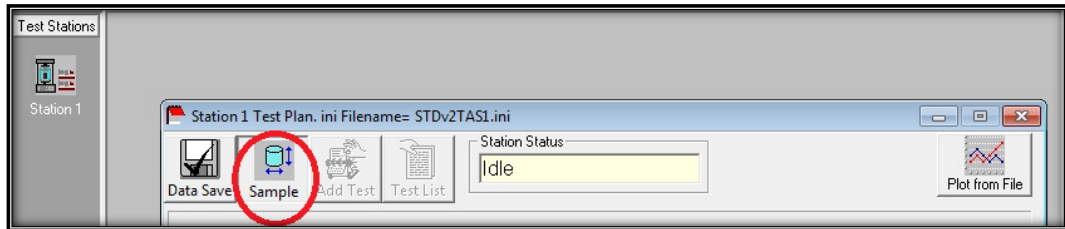
- 12) En la ventana guardar datos “Save Data” ingresar el nombre del archivo y la ubicación de destino. Hacer clic en OK.

**Figura 101.** Nombre de archivo para prueba.



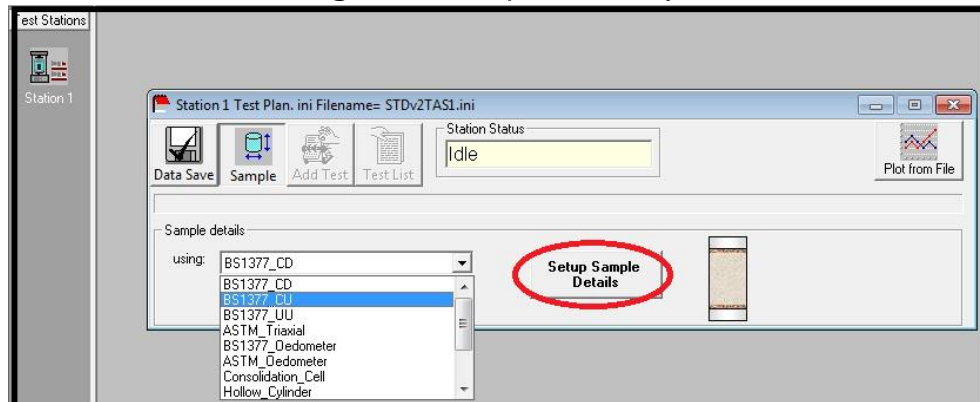
- 13) Se habilita la pestaña de la muestra, dar clic en el icono muestra “Sample”.

**Figura 102.** Pestaña de detalles de la muestra.



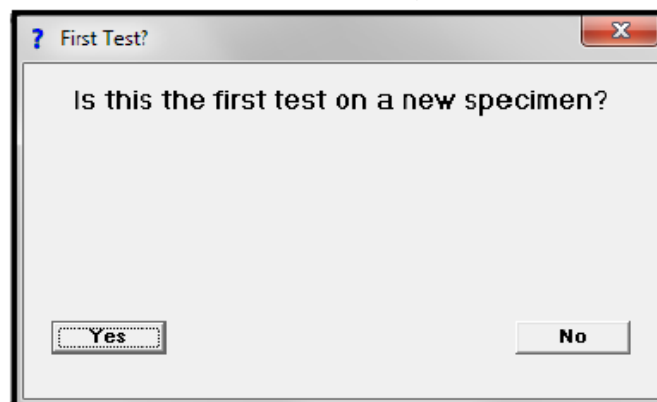
- 14) Se muestra la página de detalles de la muestra “Sample details”, seleccionar la norma estándar Británica BS1377\_CU. Para entrar en detalles de la muestra hacer clic sobre el botón configuración de detalles de la muestra “Setup Sample Details”.

**Figura 103.** Tipo de ensayo.



- 15) Inicialmente se visualiza un cuadro de diálogo preguntando “¿Es la primera prueba en una nueva muestra?”. Clic en si “Yes”.

**Figura 104.** Cuadro de diálogo primera prueba.



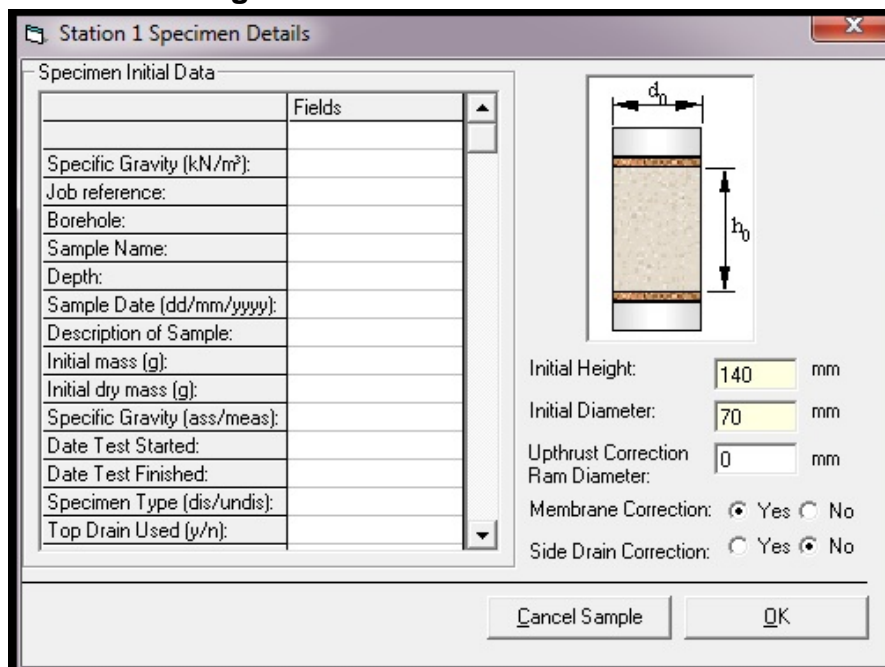
- 16) Aparece un cuadro de diálogo preguntando: “¿Está en contacto la muestra con el pitón de carga?”. Hacer clic en la opción No.

**Figura 105.** Cuadro de diálogo de contacto de la muestra.



- 17) Registrar detalles iniciales de la muestra en la siguiente ventana. Dar Clic en OK.

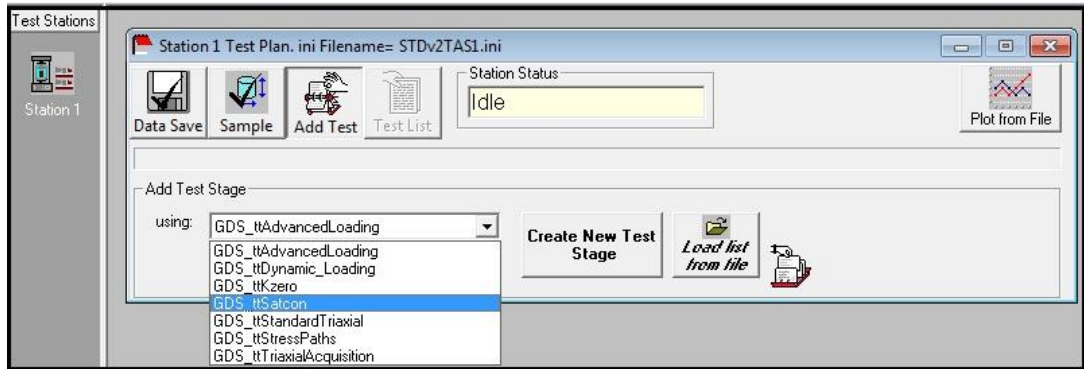
**Figura 106.** Detalles de la muestra.



Ahora los detalles de la muestra se encuentran configurados en la etapa de prueba que se va a ejecutar.

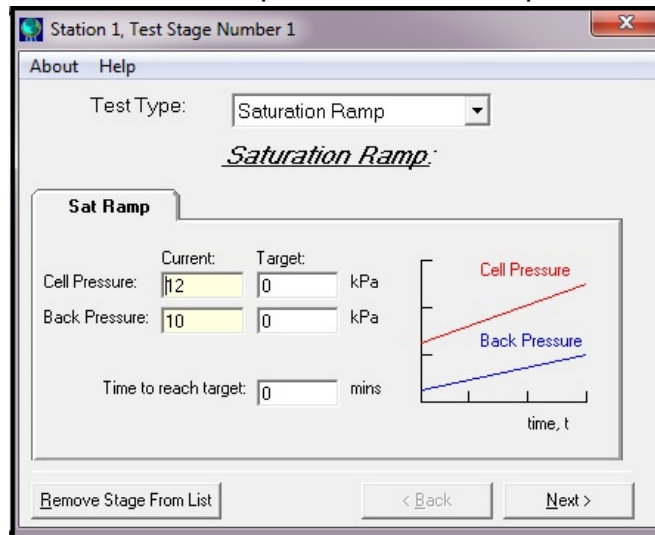
- 18) Se habilita el botón de añadir prueba (Add Test), hacer clic sobre él y en la lista desplegable generada seleccionar el módulo GDS\_ttSatcon, luego hacer clic en el botón crear nueva etapa de prueba (Create New Test Stage).

**Figura 107.** Añadir tipo de prueba.



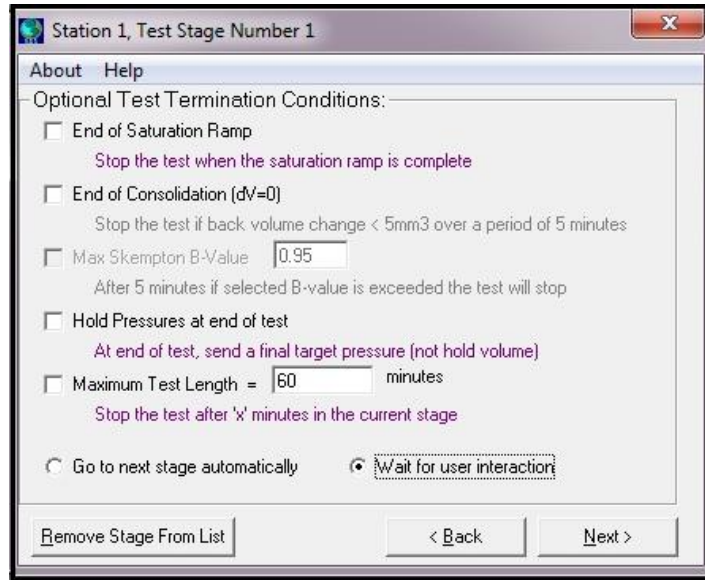
- 19) La ventana contiene una lista desplegable con los tipos de prueba, dar clic sobre rampa de saturación “Saturation Ramp”, esta función nos permite controlar la contrapresión y la presión de cámara al mismo tiempo. En la pestaña “Sat Ramp” se visualiza una tabla con los valores actuales de presión “Current” medidos por los transductores y valores de presión a los cuales se va a llevar la muestra en la etapa de saturación “Target”. Nota: Ingresar en la casilla objetivo “Target” los valores requeridos de presiones para la etapa y en la casilla “Time to reach target” la duración en minutos que considere para alcanzar las presiones solicitadas. Hacer clic en siguiente “Next”.

**Figura 108.** Parámetros para realizar la etapa de saturación.



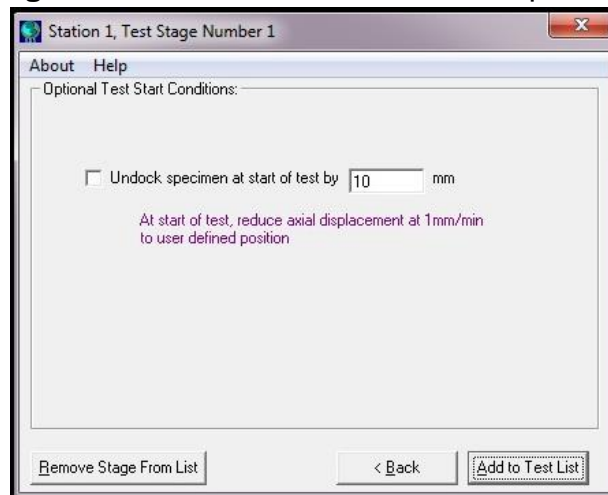
- 20) Esta ventana contiene las condiciones de terminación de la etapa. Deshabilitar todas las opciones y señalar esperar interacción por el usuario “Wait for user interaction”, esto con el fin de hacer la prueba manual, de lo contrario ingresar los datos solicitados. Hacer clic en “Next”.

**Figura 109.** Condiciones de terminación de la etapa.



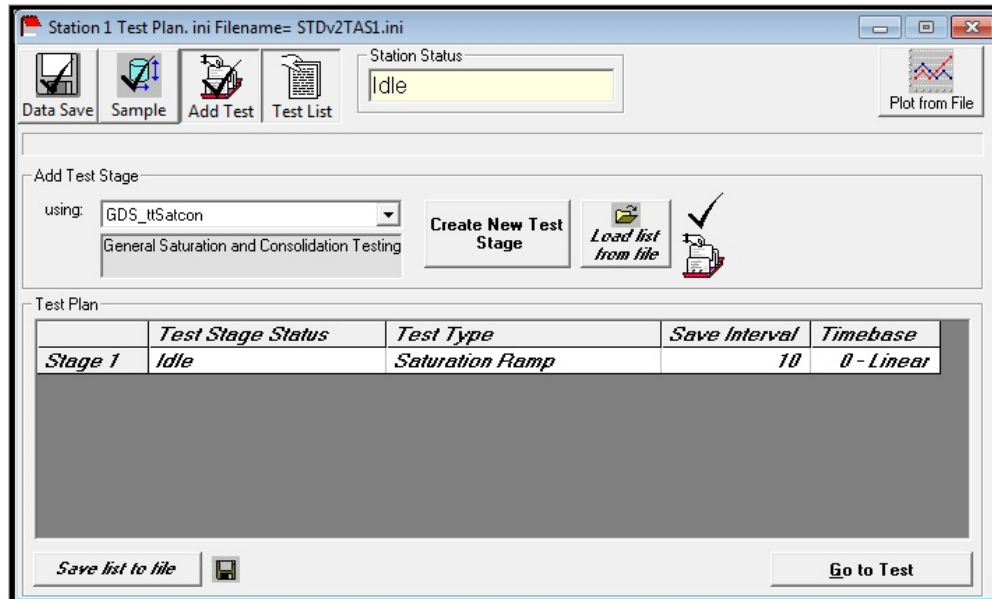
- 21) La ventana muestra una opción de inicio de prueba. Deshabilitar la casilla “undock specimen a start of test by” (esta función se utiliza para bajar la muestra si es requerido), y hacer clic en añadir a lista de prueba “Add to test list”.

**Figura 110.** Condiciones de inicio de prueba.



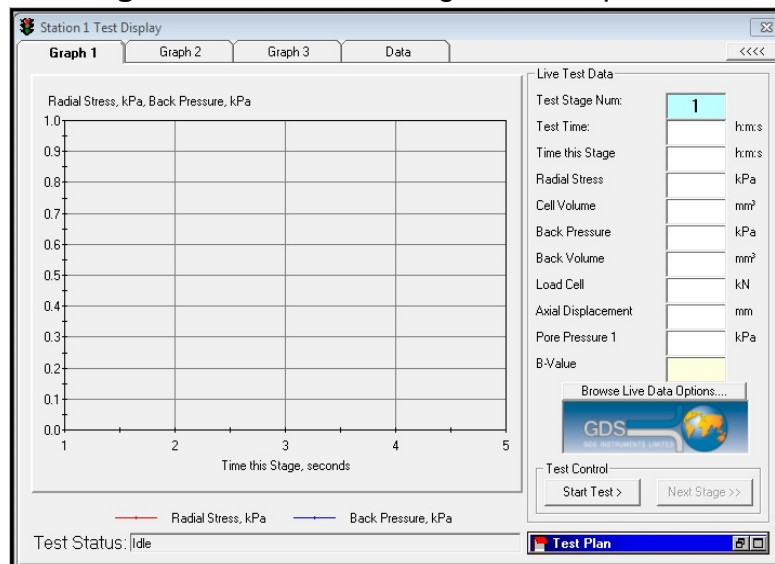
- 22) Se habilita el botón lista de prueba “Test List”, dar clic sobre él y a continuación aparece la tabla plan de prueba “Test Plan” la cual contiene un recuadro con la información principal de la primera etapa del ensayo creada. Dar clic en ir a prueba “Go to Test”.

**Figura 111.** Cuadro de lista de la etapa de saturación.



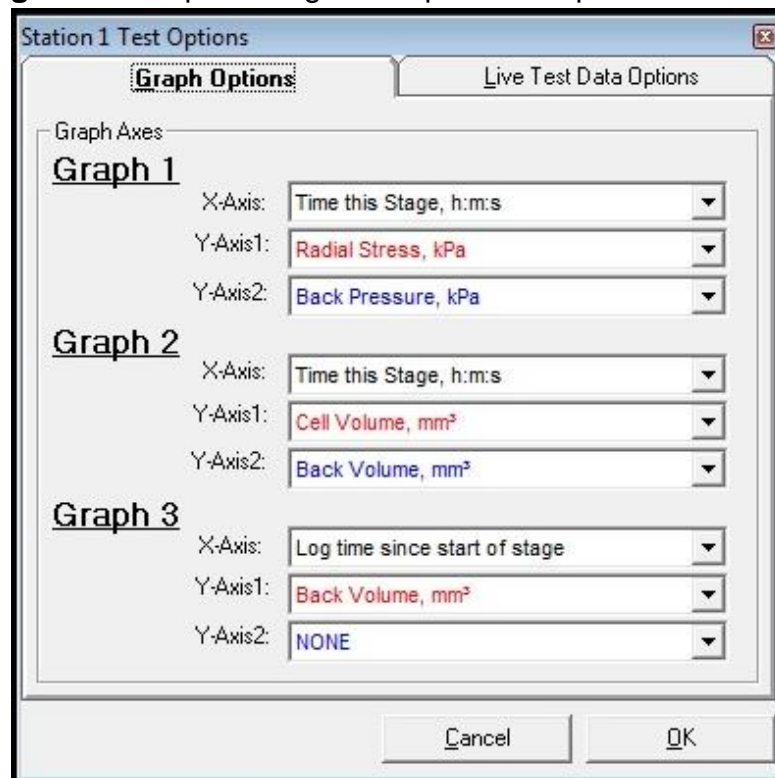
- 23) Seleccionar los parámetros que se necesiten graficar haciendo doble clic izquierdo en el área gráfica.

**Figura 112.** Ventana de gráficos de prueba.



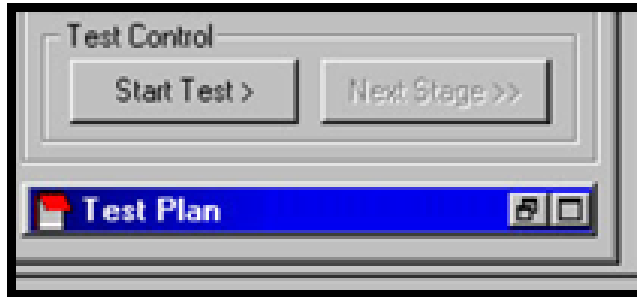
- 24) Aparece la ventana de opciones de prueba y en la pestaña opciones graficas “Graph Options” seleccionar para el **grafico 1** X-Axis: Tiempo de esta etapa “Time this Stage”, en el eje Y-Axis1: Esfuerzo radial “Radial Stress” [KPa], en el eje Y-Axis2: contrapresión “Back Pressure” [KPa] y para el **grafico 2** X-Axis: Tiempo de esta etapa “Time this Stage”, en el eje Y-Axis1: Volumen de cámara “Cell volume” [mm<sup>3</sup>], en el eje Y-Axis2: Contravolumen “Back volume” [mm<sup>3</sup>]. Hacer clic en OK.

**Figura 113.** Opciones gráficas para la etapa de saturación.



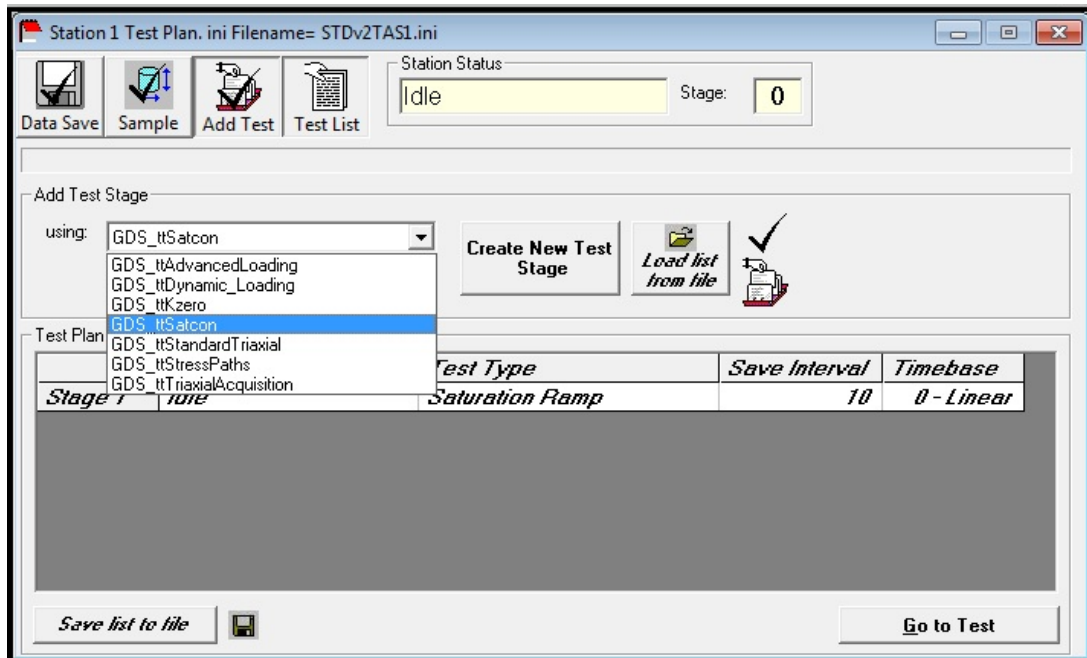
- 25) Dar clic sobre el botón iniciar etapa “Start Stage”, se observa que el programa comienza a recopilar datos y a generar los gráficos en línea. Se espera hasta que culmine el tiempo de prueba definido y dar clic en el botón detener la etapa “Pause Test”.
- 26) Realizar el chequeo del valor B-Skempton “B-Check” para comprobar que el grado de saturación es el adecuado antes de pasar a la etapa de consolidación. Hacer clic en el botón plan de prueba (Test Plan) para volver a la ventana agregar lista (Add Test).

Figura 114. Panel de control.



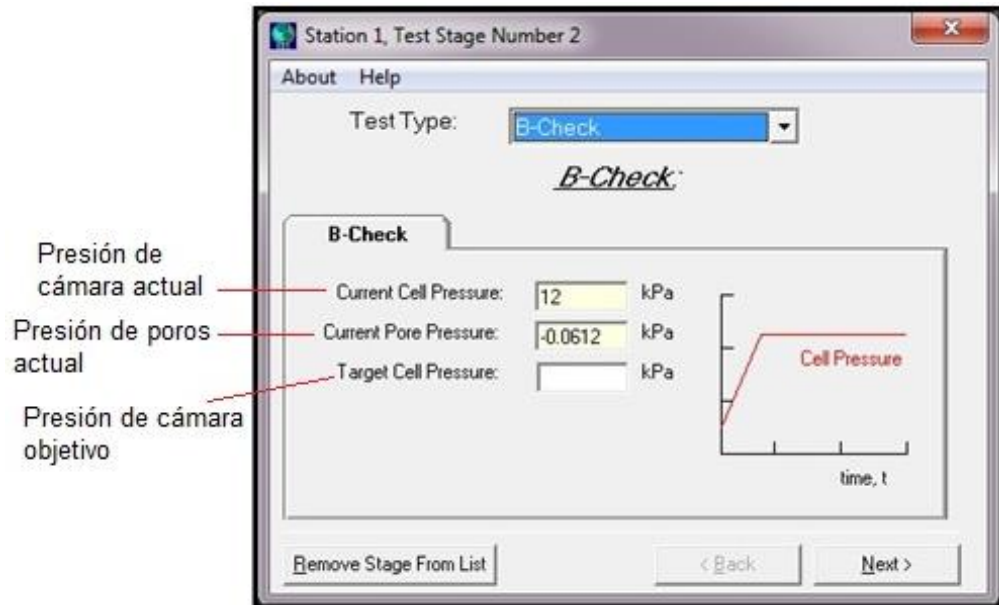
- 27) Seleccionar GDS\_ ttSatcon, luego hacer clic en crear nueva etapa de prueba "Créate New Test Stage".

Figura 115. Crear nueva etapa de prueba.



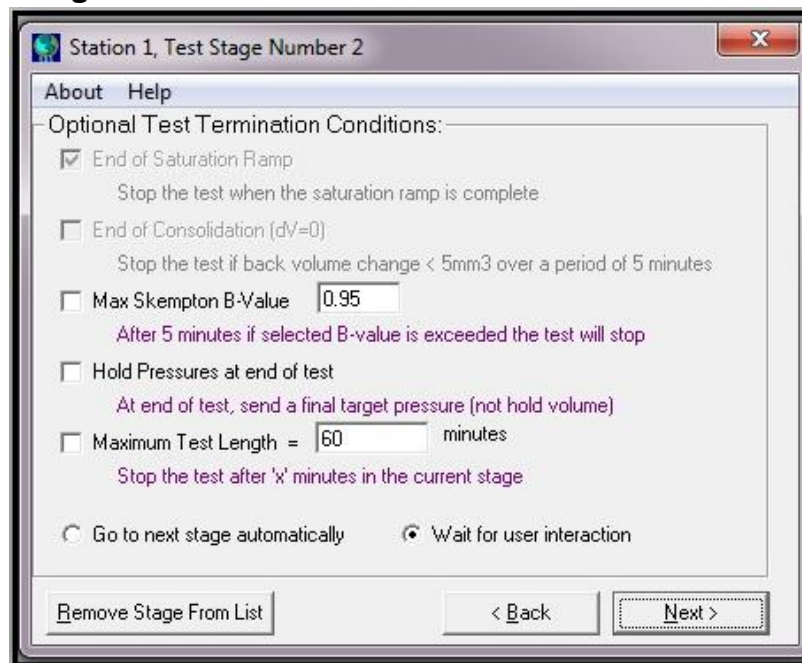
- 28) A continuación en la lista desplegable seleccionar el tipo de prueba B-Check, ingresar en la casilla presión de cámara objetivo "Target Cell Pressure" la presión a la cual se va a incrementar la presión de cámara. Hacer clic en siguiente "Next". Nota: Los valores actuales de presión de cámara y contrapresión alcanzados en la etapa de saturación son visibles en esta ventana.

Figura 116. Parámetros para realizar la comprobación del valor B.



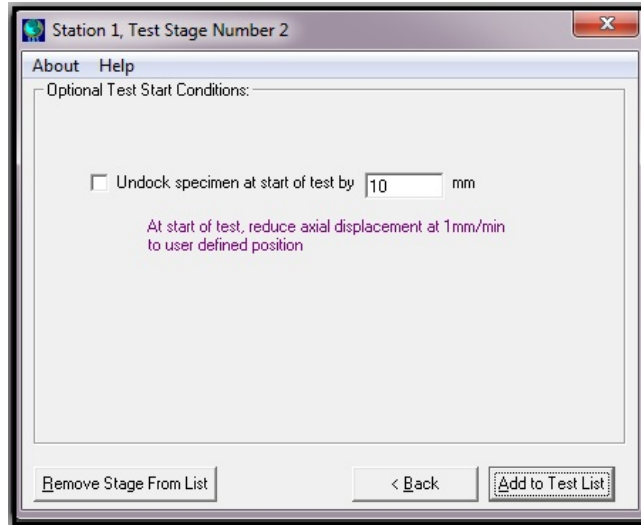
- 29) Aparece una ventana que contiene las condiciones de terminación de una etapa. Deshabilitar todas las opciones y señalar esperar interacción por el usuario "Wait for user interaction", esto con el fin de hacer la prueba manual o de lo contrario ingresar los datos solicitados. Hacer clic en "Next".

Figura 117. Condiciones de terminación del valor B.



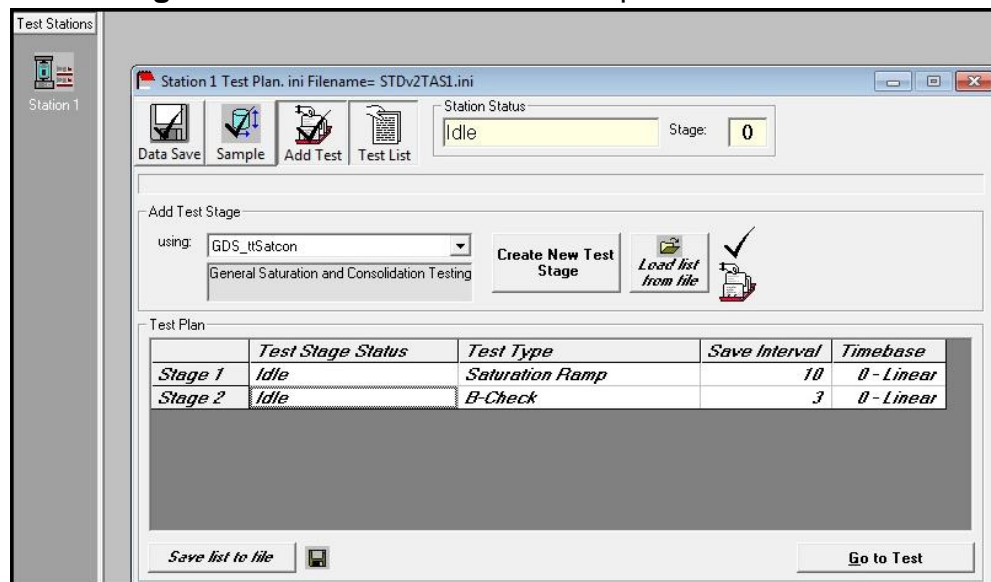
- 30) La siguiente ventana muestra la opción de inicio de prueba. Deshabilitar la casilla “undock specimen a start of test by” y hacer clic en añadir a lista de prueba “Add to test list”.

**Figura 118.** Condiciones de iniciar la etapa del valor B.



- 31) Se crea la segunda etapa en el plan de prueba B-check “Stage 2”, hacer clic sobre la casilla guardar intervalo “Save Interval” y digitar un intervalo de 3 segundos para tener información gráfica más detallada. Dar clic en ir a prueba “Go to Test”.

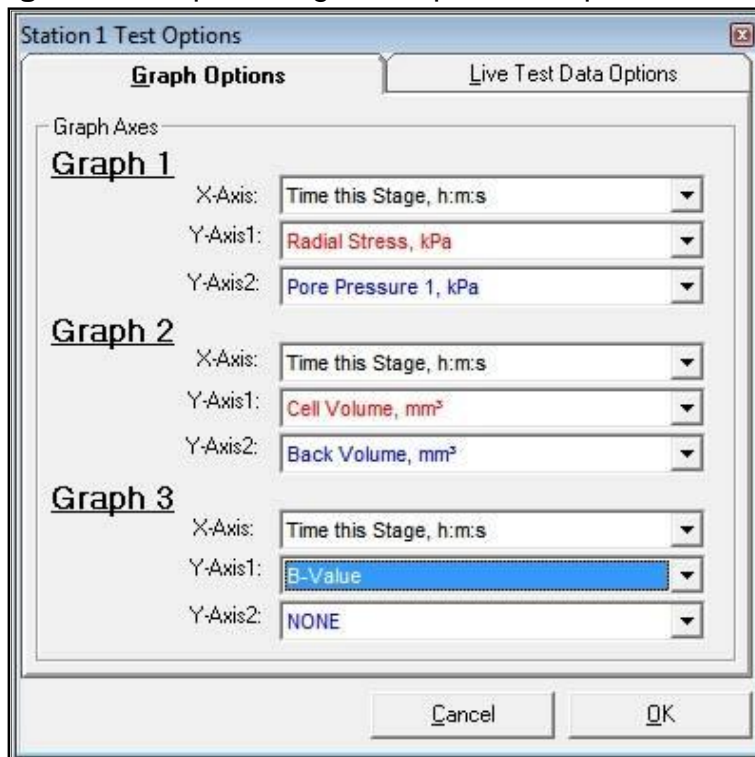
**Figura 119.** Cuadro de lista con la prueba del valor B.



La presión de cámara comienza a incrementar, note que el único controlador que se activa es el de la presión de cámara, el controlador de contrapresión no va a tener ningún cambio de volumen. Esto debido a que se aumenta la presión de confinamiento y se quiere analizar qué tanto de ese esfuerzo que se está aplicando a la muestra se transmite a la presión de poros dentro de ella.

- 32) Seleccionar los parámetros que se necesiten graficar haciendo doble clic izquierdo en el área gráfica.
- 33) Aparece una ventana de opciones de prueba y en la pestaña opciones graficas “Graph Options” seleccionar para el **grafico 1** X-Axis: Tiempo de esta etapa “Time this Stage”, en el eje Y-Axis1: Esfuerzo radial “Radial Stress” [KPa], en el eje Y-Axis2: Presión de poros “Pore Pressure” [KPa], para el **grafico 2** X-Axis: Tiempo de esta etapa “Time this Stage”, en el eje Y-Axis1: Volumen de cámara “Cell volume” [mm<sup>3</sup>], en el eje Y-Axis2: Contravolumen “Back volume” [mm<sup>3</sup>] y para el **grafico 3** X-Axis: Tiempo de esta etapa “Time this Stage”, en el eje Y-Axis1: Valor B “B-Value”, en el eje Y-Axis2: Ninguno “NONE”. Hacer clic en OK.

**Figura 120.** Opciones gráficas para la etapa del valor B.



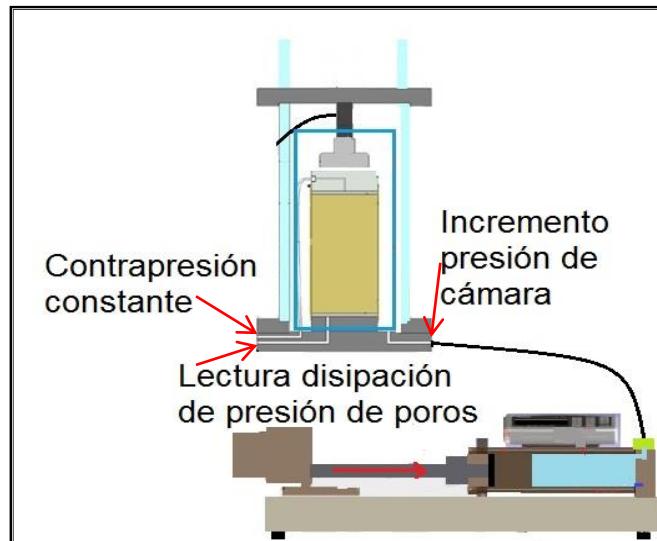
- 34) Hacer clic sobre el botón iniciar etapa “Start Stage”, se observa que el programa comienza a recopilar datos y a generar los gráficos en línea. Se espera hasta que el incremento de la presión de cámara sea el definido y hacer clic en el botón detener la etapa “Pause Test”.
- 35) Para observar como cambió el valor de B desde que comenzó esta etapa hacer clic derecho en el área del grafico 3 y dar clic en graficar desde que empezó este paso “Plot from Start of Stage”.
- 36) Observar el grafico 3 para ver el valor de B (en la figura 120 se puede observar que se determinó el grafico 3 para obtener los datos del valor B).

El valor de B debe ser mayor a 0.95 según la norma, cuando esto suceda se dice que la muestra está saturada, de lo contrario hacer clic en el botón plan de prueba “Test Plan” para volver a la ventana agregar lista “Add Test” y repetir el procedimiento desde el paso número 18 hasta que el valor de B sea el esperado.

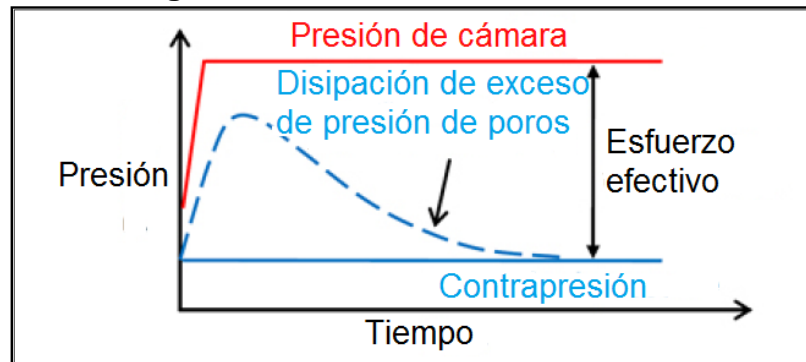
## 5. CONSOLIDACIÓN

La etapa de consolidación se lleva a cabo mediante el aumento de la presión de cámara mientras automáticamente el controlador mantiene una contrapresión constante (a menudo igual a la presión de poro alcanzado durante el B-check saturación final), hasta que la diferencia entre la presión de cámara y la contrapresión sea igual al esfuerzo de consolidación efectivo requerido para la prueba como se muestra en la figura 122. Este proceso se continúa hasta que el cambio de volumen  $\Delta V$  de la muestra ya no sea significativo, y al menos el 95% de la presión de poros en exceso se ha disipado<sup>23</sup>.

**Figura 121.** Mecanismo de consolidación.



**Figura 122.** Consolidación de muestra.



<sup>23</sup> REES, SEEN. Op. cit, p.3. [Traducido por Autores].

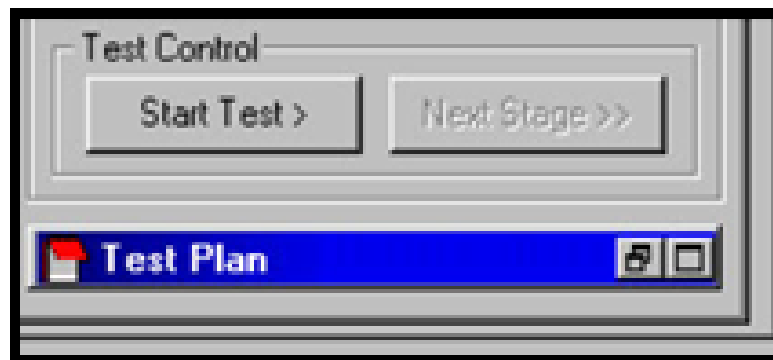
Los datos de consolidación se irán registrando para determinar cuándo se complete el proceso y para estimar la velocidad adecuada de deformación de corte que se usará.

Se graficará el cambio de volumen a partir de los datos obtenidos del controlador de contrapresión contra el logaritmo del tiempo (Método de Casagrande para calcular  $t_{50}$ ) o contra la raíz cuadrada del tiempo (Método de Taylor para calcular  $t_{90}$ )<sup>24</sup>.

### 5.1 PASOS PARA REALIZAR LA ETAPA DE CONSOLIDACIÓN UTILIZANDO EL SOFTWARE GDSLAB

- 1) Una vez está saturada la muestra dar clic en el botón plan de prueba “Test Plan”.

**Figura 123.** Panel de control.

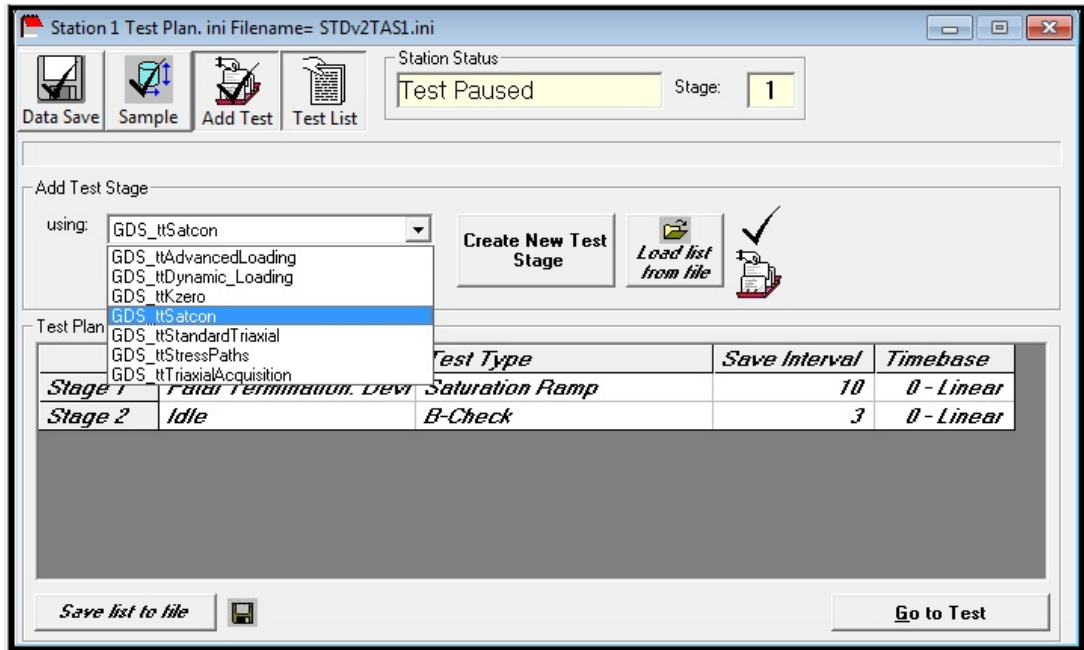


- 2) Seleccionar GDS\_ ttSatcon, luego hacer clic en crear nueva etapa de prueba “Créate New Test Stage”.

---

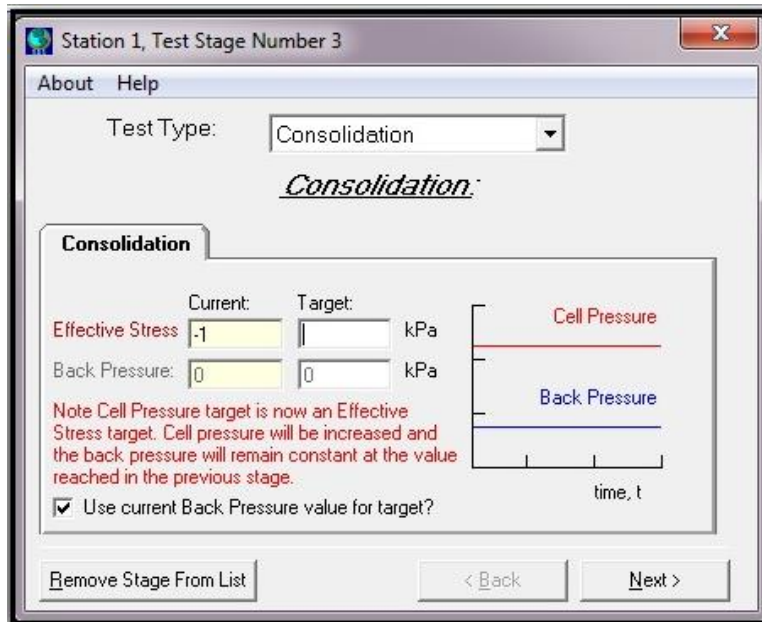
<sup>24</sup> INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Parámetros de resistencia del suelo mediante compresión triaxial. I.N.V.E-07. Bogotá DC, 2007. 17 p.

Figura 124. Crear nueva etapa de prueba.



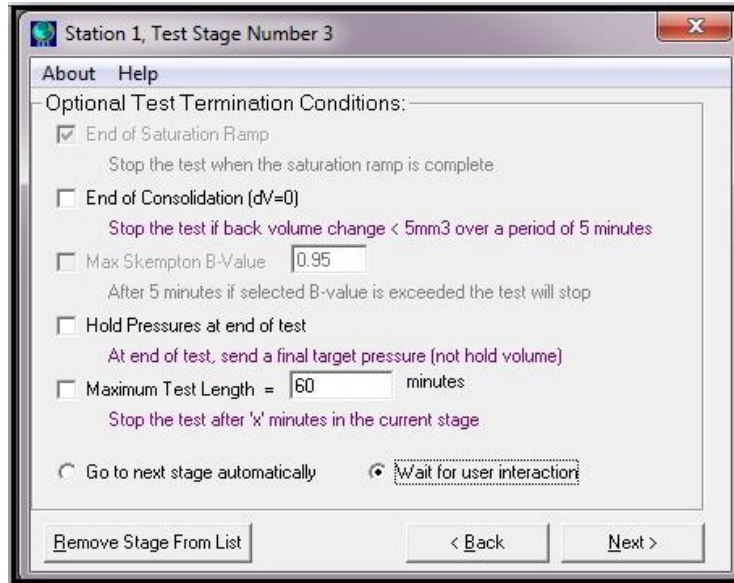
- 3) De la lista desplegable seleccionar el tipo de prueba "Consolidation", señalar la casilla usar el valor actual de contrapresión "Use current Back Pressure Value for target" e ingresar en la casilla objetivo "Target" el valor del esfuerzo efectivo al cual se someterá la muestra. Hacer clic en siguiente "Next".

Figura 125. Parámetros para realizar la consolidación.



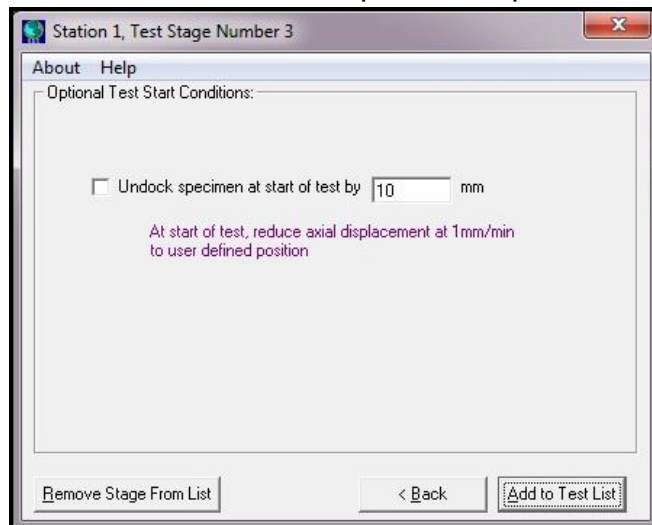
- 4) Esta ventana contiene las condiciones de terminación de una etapa. Deshabilitar todas las opciones y señalar esperar interacción por el usuario “Wait for user interaction”, esto con el fin de hacer la prueba manual. Hacer clic en “Next”.

**Figura 126.** Condiciones de terminación de la consolidación.



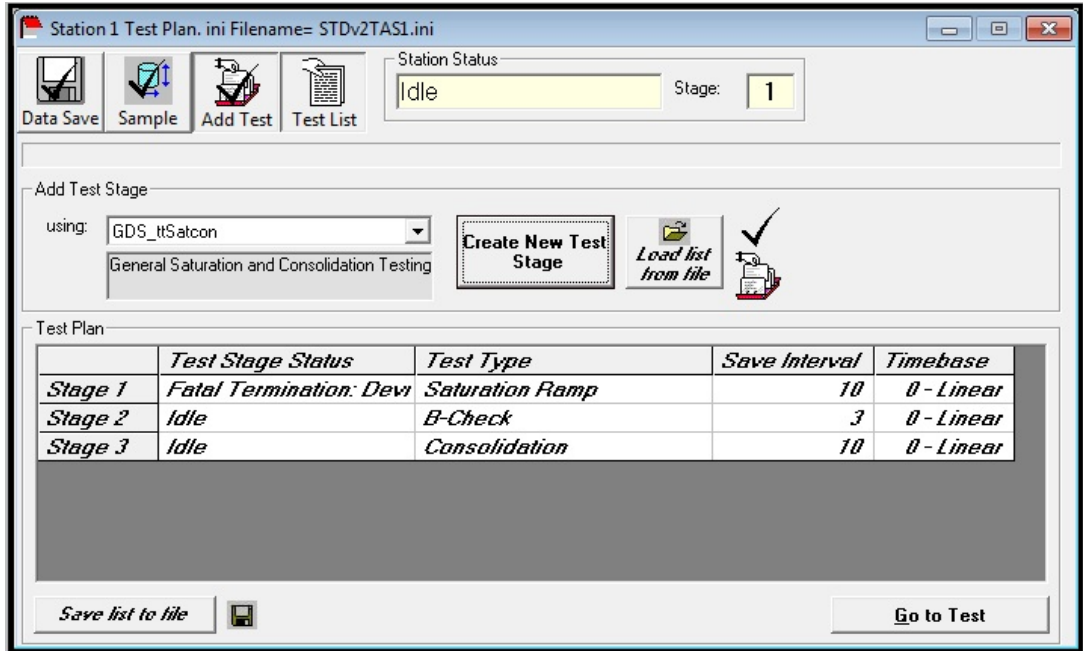
- 5) La siguiente ventana muestra la opción de inicio de prueba. Deshabilitar la casilla “undock specimen a start of test by” y dar clic en añadir a lista de prueba “Add to test list”.

**Figura 127.** Condiciones de inicio para la etapa de consolidación.



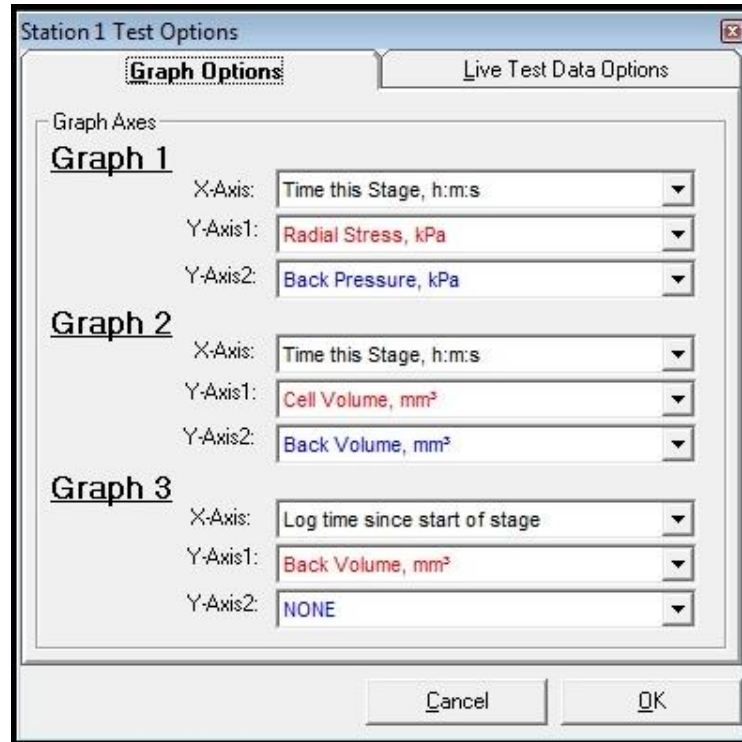
- 6) Se crea la tercera etapa en el plan de prueba consolidación “Consolidation” “Stage 3”. Dar clic en ir a prueba “Go to Test”.

**Figura 128.** Cuadro de lista con la prueba de consolidación.



- 7) Seleccionar los parámetros que se necesitan graficar haciendo doble clic izquierdo en el área gráfica.
- 8) Aparece una ventana de opciones de prueba y en la pestaña opciones graficas “Graph Options” seleccionar para el **grafico 1** X-Axis: Tiempo de esta etapa “Time this Stage”, en el eje Y-Axis1: Esfuerzo radial “Radial Stress” [KPa], en el eje Y-Axis2: Contrapresión “Back Pressure” [KPa], para el **grafico 2** X-Axis: Tiempo de esta etapa “Time this Stage”, en el eje Y-Axis1: Volumen de cámara “Cell volume” [mm3], en el eje Y-Axis2: Contravolumen “Back volume” [mm3] y para el **grafico 3** X-Axis: Logaritmo del tiempo desde que empezó la prueba “Log Time this Stage”, en el eje Y-Axis1: Contravolumen “Back Volumen”, en el eje Y-Axis2: Ninguno “NONE”. Hacer clic en OK.

Figura 129. Opciones gráficas para la etapa de consolidación.



- 9) Hacer clic sobre el botón iniciar etapa (Start Stage), se observa que el programa comienza a recopilar datos y a generar los gráficos en línea. En tanto que el esfuerzo de confinamiento va aumentando, el controlador de contrapresión se encarga de mantener la presión constante obtenida durante saturación. En la mayoría de casos eso significa que la muestra expelle agua que es absorbida por el controlador de contrapresión y así es que el sistema calcula el cambio de volumen de la muestra. Una vez se llegue al punto en donde no haya un cambio de volumen significativo y al menos el 95% de la presión de poros en exceso se ha disipado, se asume que el esfuerzo efectivo ya se encuentra en los granos y no en el agua y que la muestra está en condiciones de campo y lista para llevar a la etapa de falla. Hacer clic en el botón detener prueba (Pause Test).

## 6. CORTE DE LA MUESTRA

La etapa de corte consiste en aplicar una fuerza axial o una deformación axial a una velocidad constante en dirección hacia arriba (compresión). Esta velocidad, junto con la condición de drenaje de la muestra, depende del tipo de prueba triaxial que se realiza, en este caso la prueba triaxial consolidada no drenada (CU) requiere de una velocidad de carga axial lo suficientemente lenta para permitir la medición adecuada de las presiones de exceso de poros, evitando una sobrecarga de la presión del controlador.

La respuesta de la muestra durante la etapa de carga se monitorea normalmente mediante el gráfico del esfuerzo desviador ( $q$ ) o la relación de tensiones efectivas ( $\sigma'1 / \sigma'3$ ) contra la deformación axial ( $\epsilon_a$ ).

La etapa se continúa hasta que se ha alcanzado un criterio de rotura especificada, lo cual puede incluir la identificación del máximo esfuerzo desviador, la relación del máximo esfuerzo principal efectivo, la observación del esfuerzo constante, el exceso de presión de poros, valores de cambio de volumen, o simplemente un valor específico de la deformación axial alcanzada. Este valor de deformación está entre el 10 y 20% y depende del tipo de suelo.

Antes de someter la muestra a corte verificar que las llaves de los controladores estén abiertas, debido a que el software ejecuta automáticamente el tipo de drenaje de acuerdo al ensayo<sup>25</sup>.

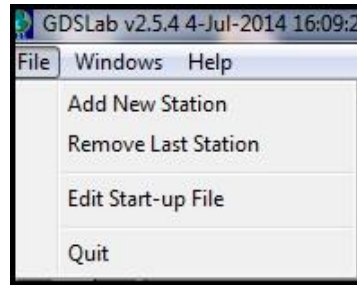
### 6.1. PASOS PARA REALIZAR LA ETAPA DE CORTE DE LA MUESTRA UTILIZANDO EL SOFTWARE GDSLAB

- 1) Crear una nueva estación, para ello hacer clic en archivo “File” y luego clic en agregar nueva estación “Add new Station”.

---

<sup>25</sup> REES, SEEN. Op. cit, p.4. [Traducido por Autores].

**Figura 130.** Barra de menú.



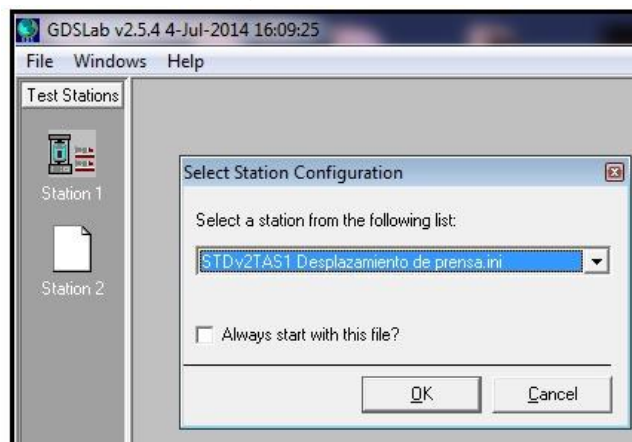
- 2) Hacer clic en la una nueva estación “icono en blanco”, seguidamente dar clic en crear estación “Create Station”.

**Figura 131.** Crear estación para corte.



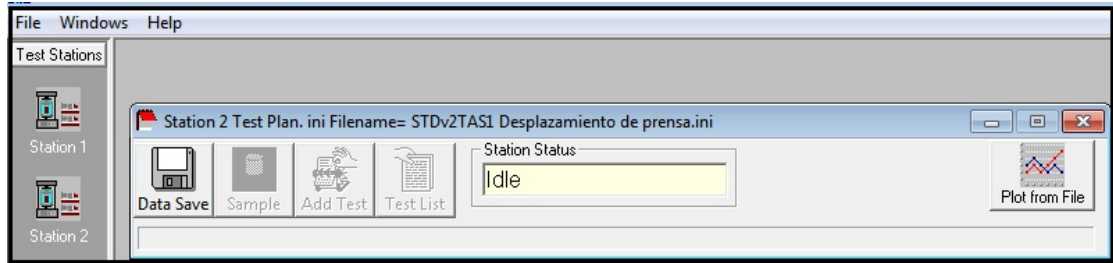
- 3) Aparece la ventana de configuración de estación y de la lista desplegable seleccionar STDv2TAS1 Desplazamiento de prensa.ini, luego hacer clic en OK.

**Figura 132.** Configuración de estación de corte.



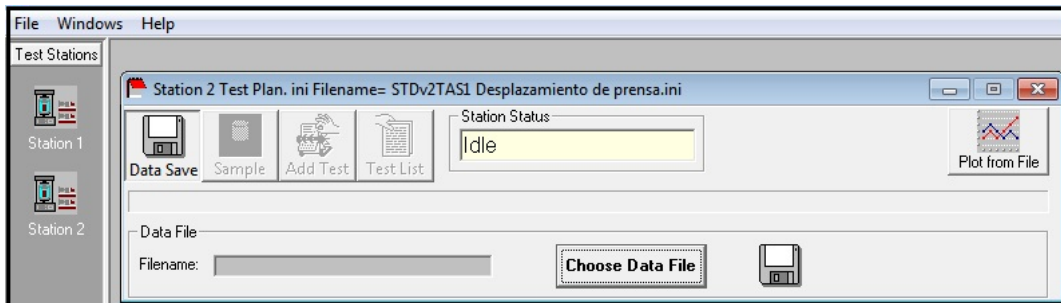
- 4) Una vez que la configuración de la estación ha sido completada se muestra la ventana plan de prueba estación 2 “Test Plan”.

**Figura 133.** Plan de prueba de corte.



- 5) Para seleccionar un archivo de datos dar clic en el botón guardar datos “Data Save”, a continuación se muestra la estructura del archivo “Data File”. Dar clic en el botón elegir archivo de datos “Choose Data file”.

**Figura 134.** Selección archivo de datos de corte.



- 6) Seleccionar directorio único y hacer clic en siguiente “Next”.

**Figura 135.** Archivo de datos de único directorio.



7) La ventana que se muestra a continuación le solicita información de los datos a guardar de la siguiente manera:

a) Formato de almacenamiento de datos “Data Saving Format”

En esta lista desplegable seleccionar la opción Standard GDSLAB [\*.gds].

b) Tipo de almacenamiento de datos “Data Saving Type”

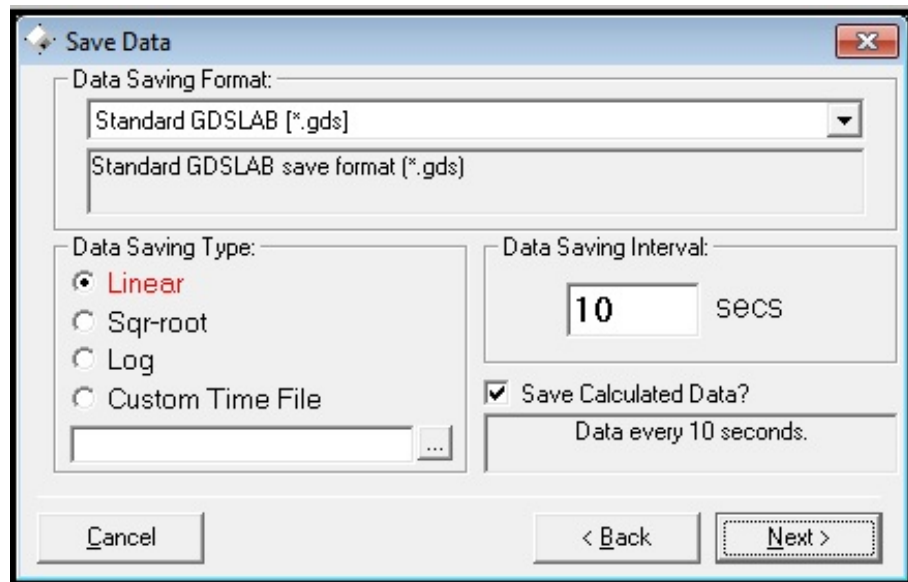
Seleccionar la opción Lineal “Linear” la cual guarda datos cada x segundos.

El intervalo de tiempo se puede cambiar usando el cuadro de la derecha titulado intervalo de datos guardado “Data Saving Interval”, para esta etapa se recomienda un intervalo de tiempo de 10 segundos.

c) Guardar datos calculados? “Save Calculated Data”

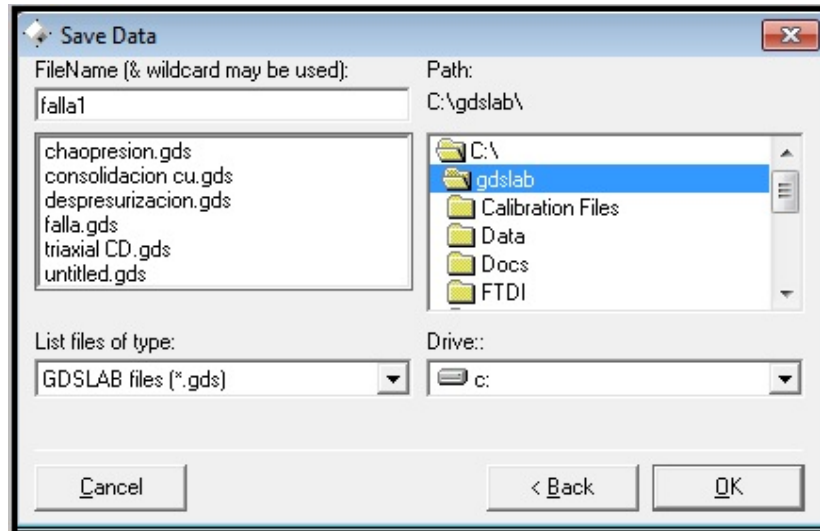
Seleccionar esta casilla para guardar los datos calculados en el archivo de GDSLAB. Finalmente clic en siguiente “Next”.

**Figura 136.** Formato de datos de corte a guardar.



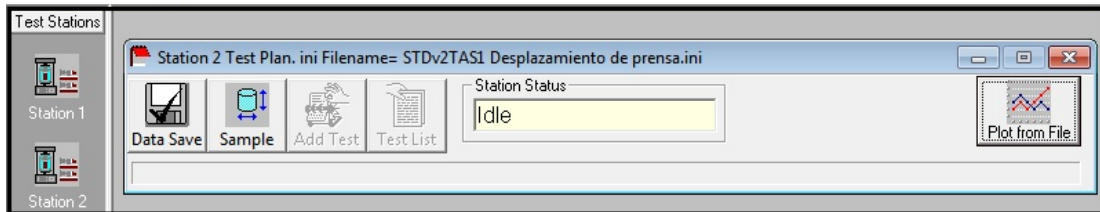
8) En la ventana guardar datos “Save Data” ingresar el nombre del archivo que se desee y la carpeta de destino. Hacer clic en OK.

**Figura 137.** Nombre de archivo para prueba de corte.



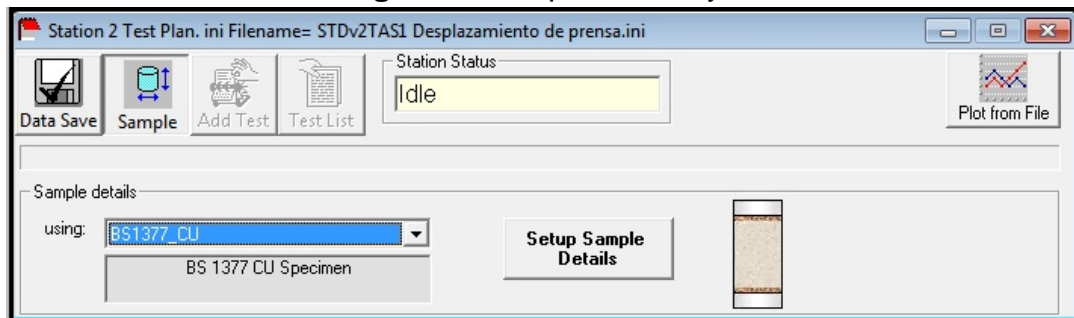
9) Se habilita la pestaña de la muestra, dar clic en el icono muestra “Sample”.

**Figura 138.** Pestaña de la muestra para el corte.



10) Se revela la página de detalles de la muestra “Sample details”, seleccionar la norma estándar Británica BS1377\_CU. Para entrar en detalles de la muestra hacer clic sobre el botón configuración de detalles de la muestra “Setup Sample Details”.

**Figura 139.** Tipo de ensayo.



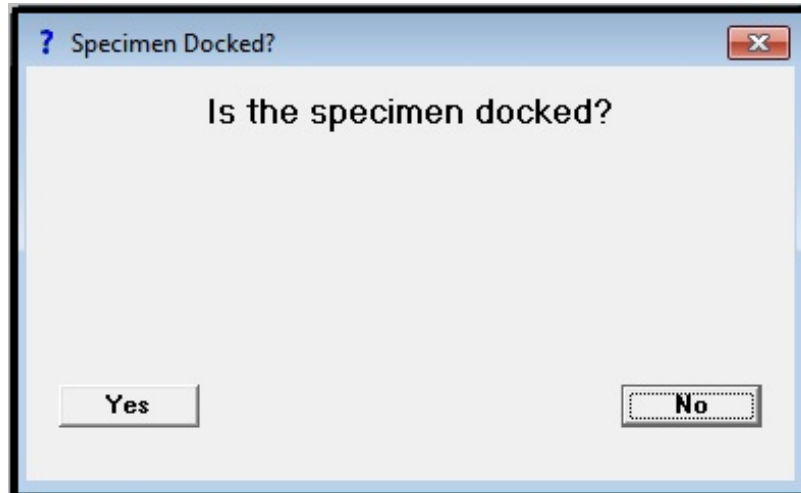
- 11) Inicialmente aparece un cuadro de diálogo preguntando “¿Es la primera prueba en una nueva muestra?”. Clic en si “Yes”.

**Figura 140.** Cuadro de diálogo primera prueba de corte.



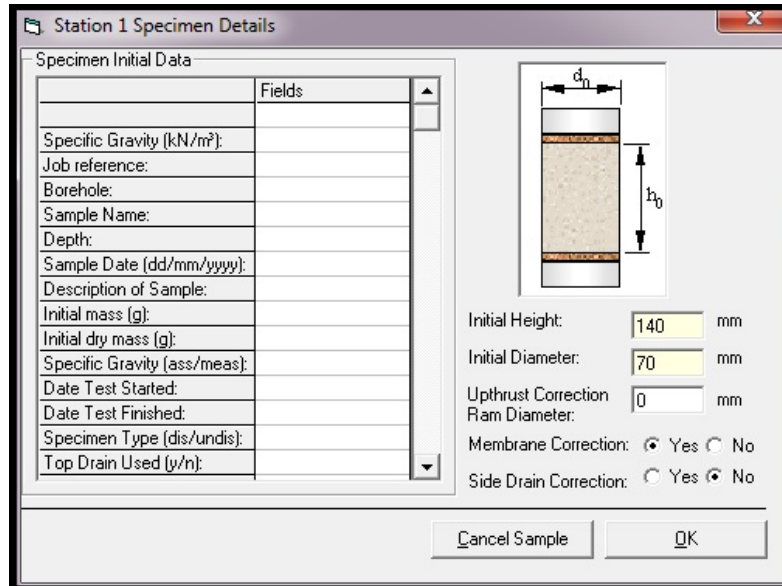
- 12) Siguiendo a esto se muestra un cuadro de diálogo preguntando: “¿Está en contacto la muestra la muestra con el pistón de carga?”. Hacer clic en la opción No.

**Figura 141.** Cuadro de diálogo de contacto de la muestra en etapa de corte.



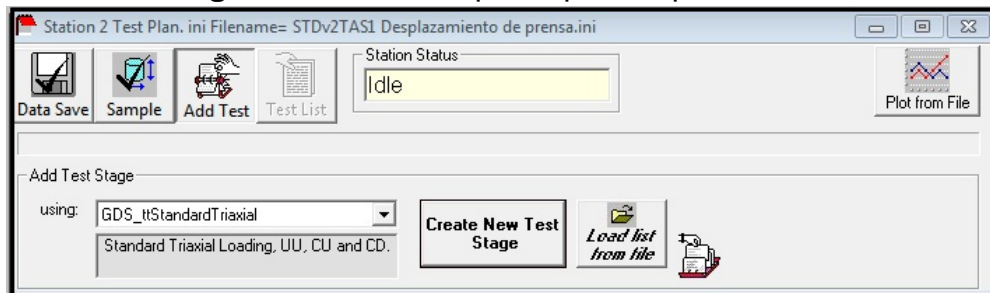
- 13) Ahora se genera una ventana donde los detalles iniciales de la muestra se pueden ingresar “Diámetro y Altura”. Dar Clic en OK.

Figura 142. Detalles de la muestra.



- 14) Se habilita el botón de añadir prueba “Add Test”, hacer clic sobre él y se muestra la página desplegable añadir etapa de prueba “Add Test Stage” y en la lista desplegable escoger el módulo GDS\_ttStandardTriaxial. Hacer clic en el botón crear nueva etapa de prueba “Create New Test Stage”.

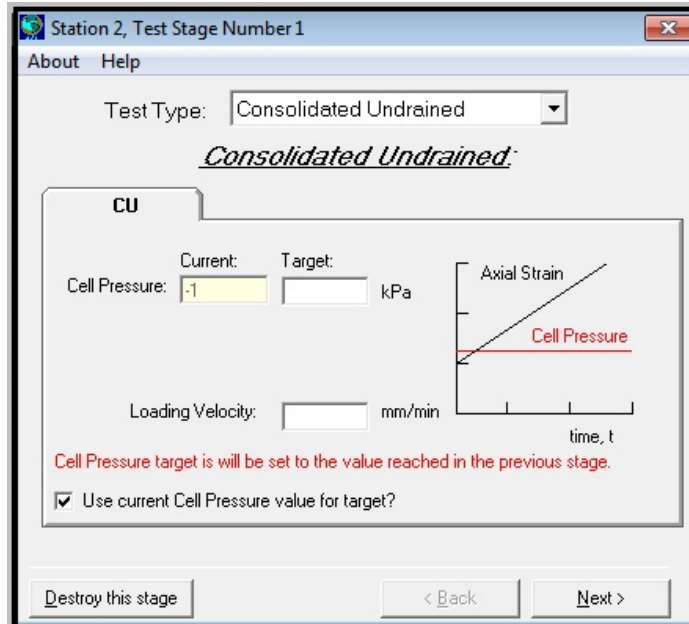
Figura 143. Añadir tipo de prueba para corte.



- 15) Aparece una nueva ventana que contiene una lista desplegable con los tipos de prueba, dar clic sobre consolidado no drenado “Consolidated Undrained”. En la página “CU” se visualiza una casilla con el valor actual de presión de cámara “Current” medido por el transductor; para mantener constante la presión de cámara durante la etapa seleccionamos la casilla usar valor actual de presión de cámara por objetivo “Use current Cell Pressure value for target?”. En la casilla velocidad de carga “Loading Velocity” ingresar el valor

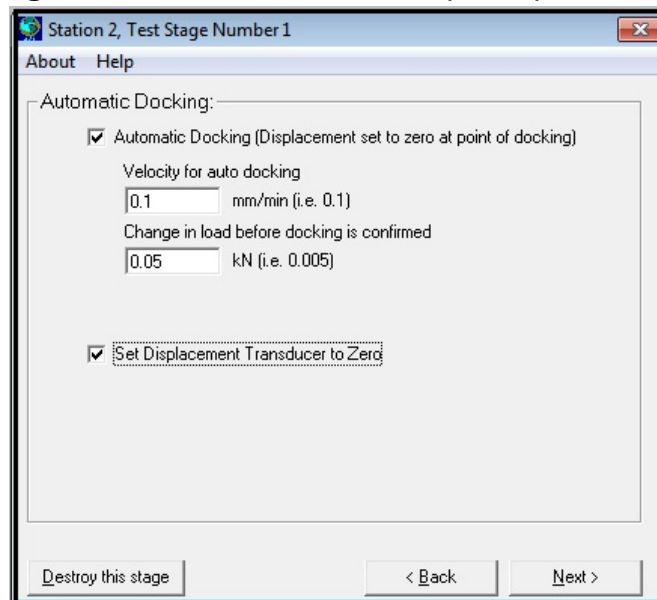
de velocidad deseado al cual se quiere fallar la muestra. Hacer clic en siguiente "Next".

**Figura 144.** Parámetros para realizar la etapa de corte.



16) A continuación aparece una ventana que contiene las condiciones de la función de acoplado automático de una etapa.

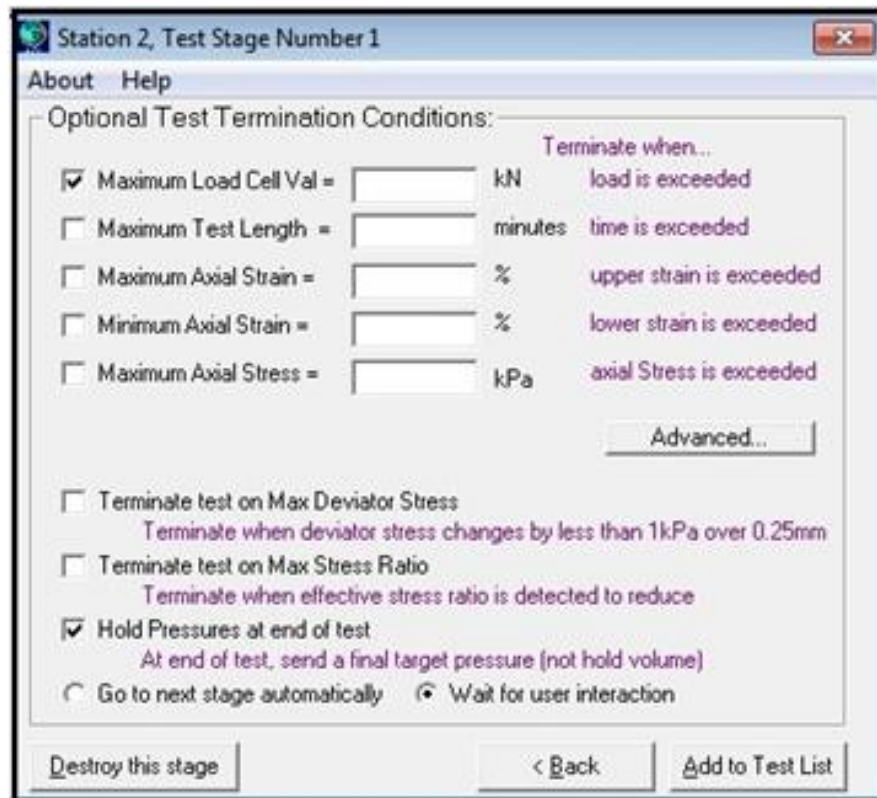
**Figura 145** Condiciones de acoplado para corte.



Habilitar la casilla “Automatic Docking” para que al momento de completarse el acoplado la medida del transductor de desplazamiento sea cero. Ingresar el valor de velocidad de acoplado automático y el valor de carga para confirmar el acoplado. Seleccionar la opción poner en cero el desplazamiento del transductor. Hacer clic en siguiente “Next”.

- 17) En la ventana siguiente aparecen opciones de las condiciones de terminación del ensayo.

**Figura 146.** Condiciones de terminación de la etapa de corte.

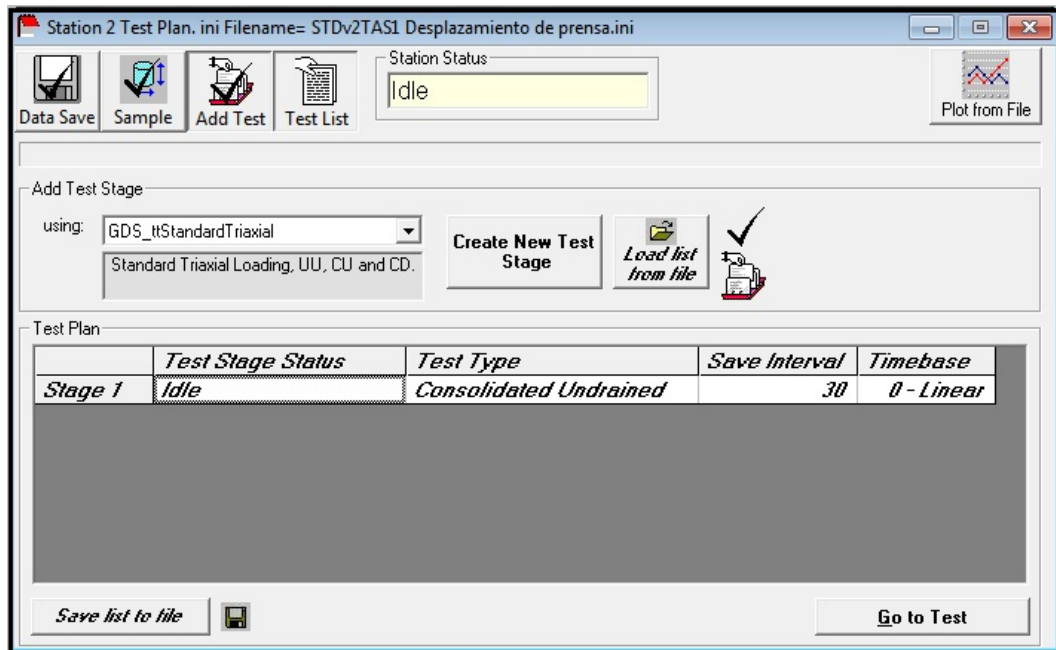


La ventana contiene suficientes opciones para llevar a cabo cualquier criterio de falla, en el caso de la falla por deformación axial ingresaremos los siguientes datos:

- a) Señalar la primera casilla e ingresar el valor máximo de la celda de carga (4.9 kN).

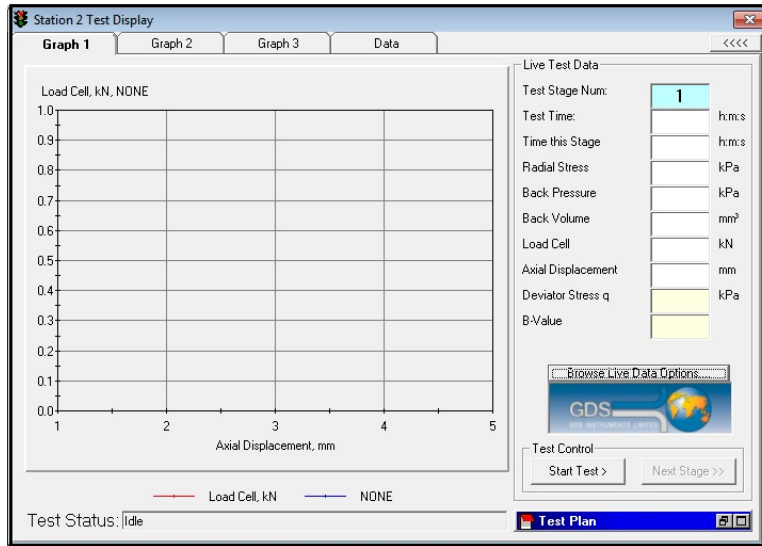
- b) Seleccionar la segunda casilla e ingresar el tiempo de duración de la etapa en minutos.
  - c) Seleccionar y digitar la máxima deformación axial (%).
  - d) Seleccionar la casilla mantener presión hasta final del ensayo “Hold Pressure at end of test”.
  - e) Seleccionar esperar interacción por el usuario “Wait for user interaction”, esto con el fin de hacer la prueba manual. Luego hacer clic en añadir a la lista de prueba “Add to Test List”.
- 18) A continuación se habilita el botón lista de prueba “Test List”, dar clic sobre él y muestra la página plan de prueba “Test Plan” el cual contiene un recuadro con la principal información de la etapa de ensayo creada. Dar clic en ir al ensayo “Go to Test”.

**Figura 147.** Cuadro de lista con la prueba de corte.



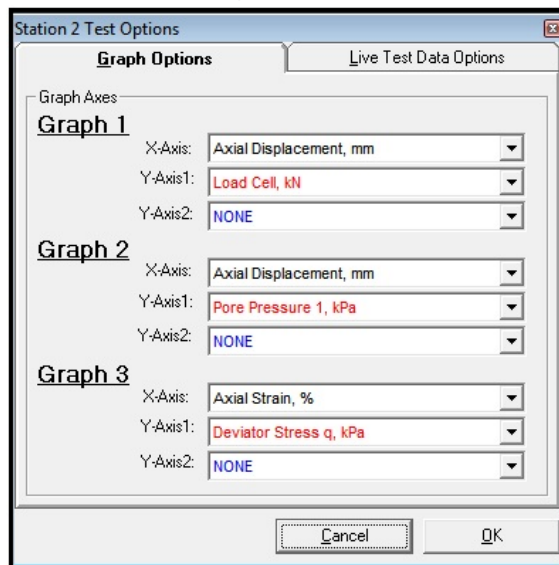
- 19) Seleccionar los parámetros que se necesiten graficar haciendo doble clic izquierdo en el área gráfica.

**Figura 148.** Ventana de gráficos de la prueba de corte.



- 20) Aparece una ventana de opciones de prueba y en la pestaña opciones graficas “Graph Options”)seleccionar para el **grafico 1** X-Axis: Desplazamiento axial “Axial Displacement” [mm], en el eje Y-Axis1: Celda de carga “Load Cell” [KN] en el eje Y-Axis2: Ninguno “NONE”. Para el **gráfico 2** X-Axis: Desplazamiento axial “Axial Displacement” [mm], en el eje Y-Axis1: Presión de poros “Pore Pressure” [KPa], en el eje Y-Axis2 Ninguno “NONE”. Para el **gráfico 3** X-Axis: Deformación axial “Axial Strain” [%], para el eje Y-Axis 1: Esfuerzo desviador “Deviator Stress q” [KPa]. Hacer clic en OK.

**Figura 149.** Opciones gráficas para la etapa de corte.



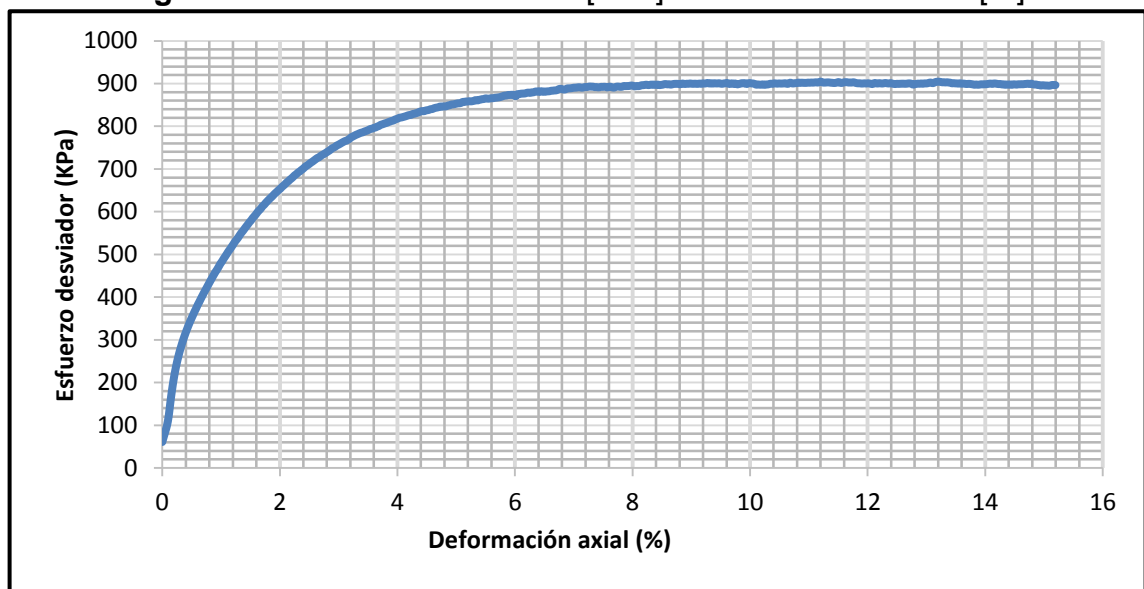
- 21) Luego hacer clic sobre el botón iniciar etapa “Start Stage”, se observa que el programa comienza a recopilar los datos y a generar los gráficos en línea. Esperamos hasta que culmine el tiempo de prueba definido y la etapa de corte se haya alcanzado. Dar clic en el botón detener la etapa “Pause Test”.
- 22) Al terminar cada etapa, GDSLAB brinda al usuario la opción de guardar y exportar los datos recopilados durante el ensayo en formato Excel como a continuación:
- a) Desde la opción de abrir de Excel, buscar la ruta donde se guardaron las etapas de prueba, ejemplo: Disco (c), GDSLAB, luego habilitar todos los archivos y seleccionar el nombre de la etapa que se desee exportar y a continuación abrir.
  - b) En la siguiente ventana seleccionar la opción delimitados y a continuación clic en siguiente.
  - c) En la sección de separadores, seleccionar tabulación y coma. A continuación clic en finalizar y se obtienen todos los datos.
- 23) Una vez se termine un ensayo se procede a desmontar todo el equipo, para ello se retira la presión a la que llegó cada controlador, se hace vaciado de la cámara triaxial y finalmente se limpian todos los equipos.

## 7. RESULTADOS

Este capítulo presenta los resultados obtenidos durante el ensayo de compresión triaxial consolidado no drenado (CU) a una muestra de suelo granular. Los datos de los resultados del ensayo se presentan en el anexo A.

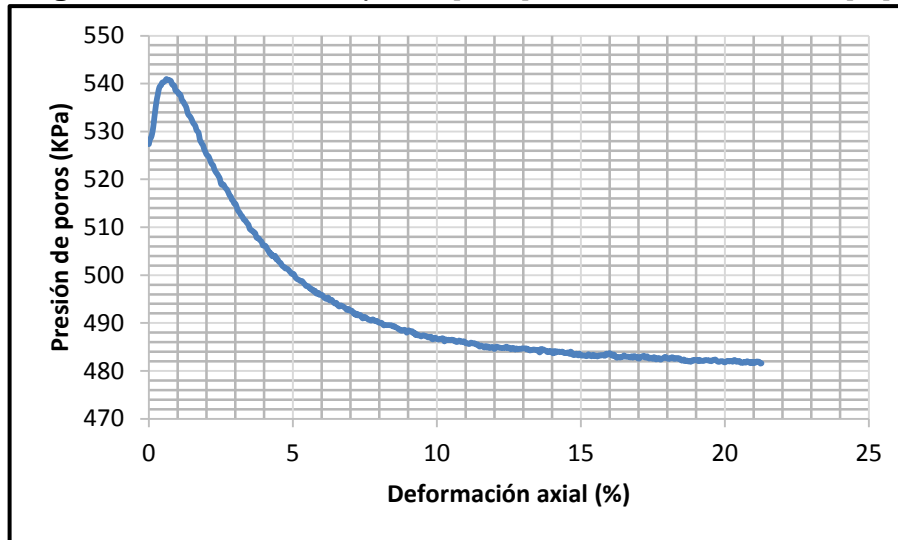
A continuación se presenta el análisis de los resultados para determinar el comportamiento y el parámetro de resistencia del suelo en la etapa de falla.

**Figura 150.** Esfuerzo desviador [KPa] vs Deformación axial [%].



La figura 150 evidencia un comportamiento típico de una arena suelta que experimenta un aumento de la resistencia a cortante al incrementarse la deformación, el tipo de falla que se presenta en el suelo es plástica, con esfuerzo desviador creciente hasta un valor máximo de 904,49 [KPa] alcanzado al 9,6 [%] de la deformación axial de la muestra en un tiempo de 4,8 horas.

**Figura 151.** Presión de poros [KPa] vs Deformación axial [%].



En el caso del ensayo CU en la fase de corte, la válvula de drenaje permanece cerrada. En consecuencia como la muestra se encuentra saturada, se presenta impedimento de que el agua entre o salga de la muestra, es decir, el volumen de la misma permanece constante durante toda la fase de corte ( $\Delta V = 0$ )<sup>26</sup>

En estas condiciones en la figura 151 se observa que para pequeñas deformaciones el suelo ensayado presenta un aumento de la presión de poros del 15% del esfuerzo efectivo debido a la tendencia de disminución del volumen (contracción), seguido de un decremento subsecuente de la presión de poros ocasionado por un aumento del volumen cuando se le somete a corte (dilatancia).

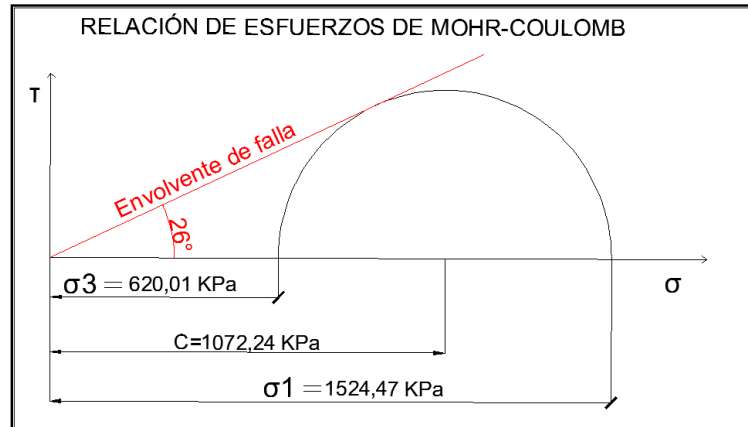
La dilatancia es una característica de los suelos granulares que tiene una influencia significativa en la respuesta volumétrica de suelos granulares sometido a carga tangencial o desviadora<sup>27</sup>.

<sup>26</sup> FERNANDEZ ALCANTARA, Op. cit, Cap 2. p. 27

<sup>27</sup> *Ibíd.*, p. 14.

En la Mecánica de suelos se utiliza la teoría de fallo de Mohr-Coulomb para describir la rotura y la resistencia de los suelos. Los círculos de Mohr se construyen con las tensiones principales en el momento del fallo. La envolvente de fallo de Mohr se obtiene como la tangente común a esos círculos<sup>28</sup>. En este caso, por ser un suelo granular sólo se necesita un parámetro para representar la resistencia del suelo: el ángulo de rozamiento interno  $\phi$ .

**Figura 152.** Relación de esfuerzos de Mohr-Coulomb.



Cálculo del ángulo de fricción interno  $\phi$  teniendo en cuenta las siguientes ecuaciones de Mohr-Coulomb:

$$R = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad C = \frac{\sigma_3 + \sigma_1}{2}$$

$\sigma_3$  = Esfuerzo de confinamiento

$\sigma_1$  = Esfuerzo de confinamiento + Esfuerzo desviador

Para el caso del ensayo los esfuerzos principales totales son:

$$\sigma_3 = 620 \text{ [KPa]} \quad R = 452,246 \text{ [KPa]} \quad C = 1072,246 \text{ [KPa]}$$

$$\sigma_1 = 620 \text{ [KPa]} + 904,492 \text{ [KPa]}$$

Trazando la envolvente de falla en el diagrama de relación de esfuerzos en la figura 152, el ángulo de fricción interno del suelo obtenido es  $\phi = 26$  grados.

<sup>28</sup> FERNANDEZ ALCANTARA, Op. cit, Cap 2. p. 16

## 8. CONCLUSIONES

A partir de la realización de este manual se pudo corroborar que el equipo GDSTAS está funcionando correctamente; no obstante el software presenta algunos errores ocasionales en las lecturas o en el inicio de una prueba que pueden estar asociados a incompatibilidades en algún proceso, el cual puede ser solucionado iniciando de nuevo la etapa o reiniciando el software.

GDSLAB está programado para llevar a cabo pruebas de forma manual o automática, en este trabajo el ensayo se realizó de forma manual con el fin de brindar experiencia en la maniobrabilidad del equipo y comprensión de cada etapa del ensayo.

En el ensayo triaxial consolidado no drenado (CU) llevado a cabo en laboratorio para realizar este manual se obtuvo un ángulo de fricción  $\phi = 26^\circ$  siendo un valor razonable según la teoría de mecánica de suelos para una arena fina suelta.

Entre las ventajas más relevantes del sistema GDSTAS durante la realización de este trabajo, se pudo apreciar la sencilla interacción y configuración del equipo, la reducción del tiempo en el laboratorio y la fácil supervisión de los datos recopilados durante la ejecución de una etapa gracias a la presentación de gráficos en tiempo real.

## BIBLIOGRAFÍA

FERNANDEZ ALCÁNTARA, Javier. Estudio numérico del comportamiento de suelos saturados mediante el modelo de plasticidad cam-clay. {En línea}. Trabajo de grado Ingeniero Industrial. Sevilla: Universidad de Sevilla. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, 2006. Cap 2. 7-28 p. disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4244>.

GDS INSTRUMENTS. GDSTAS\_Handbook. Triaxial Automated System. London Road, Hook, Hampshire, RG27 9GR. (25 Sep, 2006).

----- . GDS LF50 50KN Load Frame v2 Handbook. London Road. Hook, Hampshire, RG27 9GR. (25 Sep, 2006).

----- . GDS Estándar Controller/Smart Keypad Firmware Revision STDDPCv2. London Road, Hook, Hampshire. RG27 9GR. (25 Sep, 2006). 3–15 p.

----- . GDS 8 Channel Serial Data Acquisition Pad Handbook. London Road. Hook, Hampshire, RG27 9GR. (25 Sep, 2006).

----- . GDS Laboratory Users Handbook GDSLAB v2.5.4. London Road, Hook, Hampshire, RG27 9GR. (25 Sep, 2006).

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Parámetros de resistencia del suelo mediante compresión triaxial. I.N.V.E-07. Bogotá DC, 2007. 1-28 p.

REES, SEEN. Parte 1: Introducción al ensayo triaxial. Dr. especialista en Geotecnia de GDS instrument. 2013. p 1-4.

## ANEXOS

### ANEXO A RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO TRIAXIAL

<b><i>ENSAYO TRIAXIAL</i></b>			
TIPO DE ENSAYO: Consolidado no drenado (CU)			
TIPO DE MUESTRA: Alterada			
CONDICIONES DEL ESPECIMEN			
Condiciones Iniciales			
Altura	140	[mm]	
Diámetro	70	[mm]	
Área	3848,36	[mm <sup>2</sup> ]	
Condiciones Después de Saturación			
Presión de cámara	550	[KPa]	
Contrapresión	530	[KPa]	
$\Delta\sigma_3$	20	[KPa]	
$\Delta U$	19	[KPa]	
Parámetro B	0,95	[%]	
Condiciones Después de Consolidación			
Presión de cámara	620	[KPa]	
Contrapresión	530	[KPa]	
Esfuerzo de consolidación efectivo		90	[KPa]
Etapa de Falla			
Presión de cámara inicial	620	[KPa]	
Presión de poros inicial	527	[KPa]	
Velocidad de falla	0,077	mm/min	
Esfuerzo desviador máximo	904,492	[KPa]	
Deformación axial	9,6	[%]	
Tiempo Falla	4,8	[hr]	
Ángulo de fricción interno	26	[°]	