

**RECUPERACION Y AUTOMATIZACION DEL EQUIPO
PARA PRUEBAS UNIAXIALES Y TRIAXIALES SOBRE
SUELOS Y ROCAS NO CONSOLIDADAS SOILTEST T
500 A.**

**LUIS GONZALO ROZO MARTINEZ
EMERSON ANDRES CACERES CONTRERAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2.010

**RECUPERACION Y AUTOMATIZACION DEL EQUIPO
PARA PRUEBAS UNIAXIALES Y TRIAXIALES SOBRE
SUELOS Y ROCAS NO CONSOLIDADAS SOILTEST T
500 A.**

**LUIS GONZALO ROZO MARTINEZ
EMERSON ANDRES CACERES CONTRERAS**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
CARLOS BORRAS PINILLA
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2.010

DEDICATORIA

A Dios,

A mi esposa, con todo mi amor,

A mis padres,

A mis amigos.

AGRADECIMIENTOS

Al señor Jesucristo, por ser tan especial conmigo.

A Carlos Borrás, ingeniero mecánico, director del proyecto y amigo, por su respaldo, confianza y colaboración oportuna, al grupo de investigación DICBOT por su apoyo.

A mi amada esposa, que siempre la llevo en mi corazón y siempre será mi consentida.

A mis padres y familiares.

A todos mis amigos.

Emerson Andrés Cáceres Contreras.

DEDICATORIA

A Dios, por estar siempre conmigo acompañándome en cada peldaño de mi vida.

A mi papa Gonzalo Rozo, por su contribución a mi formación profesional y personal.

A mi mama Nelly Martínez, por el esfuerzo y dedicación a sus hijos.

A la Lilo y la Pupi por ser hermanas y amigas.

Al grupo de investigación DICBOT por su apoyo.

Luis Gonzalo Rozo Martínez.

AGRADECIMIENTOS.

Al ingeniero Carlos Borrás por toda la ayuda brindada.

Al grupo de investigación en estabilidad de pozo de la Universidad Industrial de Santander y al grupo de investigación DICBOT por su apoyo.

A la escuela de ingeniería civil de la Universidad Industrial de Santander por creer en este proyecto.

A mis padres y amigos.

Luis Gonzalo Rozo Martínez.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEORICO PRUEBAS UNIAXIALES Y TRIAXIALES	3
1.1. TEORIA PARA ENSAYOS UNIAXIALES	3
1.2. TEORIA PARA ENSAYOS TRIAXIALES	7
2. REDISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES	19
2.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO	19
2.1.1 ESTADO INICIAL DEL EQUIPO	19
2.2 SISTEMA MECANICO	25
2.3 ANALISIS ESTRUCTURAL	26
2.4 SISTEMA HIDRAULICO	31
3. AUTOMATIZACIÓN	33
3.1 SELECCIÓN DE SENSORES	36
3.2 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS	45
4. PROGRAMACIÓN EN LABVIEW	47
4.1 LABVIEW	47
4.2 PROGRAMA DE REALIZACION DE PRUEBAS Y ADQUISICION DE DATOS.	48
4.3 DIAGRAMA DE FLUJO.	53
5. MONTAJE Y PRUEBAS DE CALIBRACION	56
5.1 SENSORES DE PRESION	56
5.2 VARIADOR DE FRECUENCIAS	59
5.2.1 CALCULO DE LA VELOCIDAD DEL VASTAGO	60
5.2.2 PROGRAMACION DEL VARIADOR	61
5.3 PRUEBAS DE CALIBRACION	68
5.3.1 PRUEBA DE CALIBRACION EN LA TOMA DE MEDIDAS	69

5.3.2 PRUEBAS UNIAXIALES	72
5.3.3 PRUEBA TRIAXIAL	78
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
7. BIBLIOGRAFIA	83
8. ANEXOS	84

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Celda para el ensayo triaxial	9
Figura 2. Mecanismo para carga axial	19
Figura 3. Anillo de carga	20
Figura 4. Manejo hidráulico del equipo	24
Figura 5. Partes operativas del equipo	25
Figura 6. Dibujo en solid edge	27
Figura 7. Fuerzas simuladas en el equipo	28
Figura 8. Deformaciones obtenidas	30
Figura 9. Esfuerzo Elástico principal obtenido	30
Figura 10. Esfuerzo principal	30
Figura 11. Circuito Hidráulico	32
Figura 12. Sistema de control	35
Figura 13. Celda de carga tipo S (tomado de catalogo de LEXUS)	39
Figura 14. Indicador de solo peso LEXUS	40
Figura 15. Variador de frecuencia Micro-Master 420	40
Figura 16. Electrovalvula seleccionada	43
Figura 17. conexiones de la electrovalvula	44
Figura 18. Tarjeta de adquisición de datos	46
Figura 19. Esquema de instrumentación	46
Figura 20. Panel frontal y diagrama de bloque	47
Figura 21. DAQ assistant	49
Figura 22. Operaciones matemáticas para los sensores	49
Figura 23. Salidas digitales	50
Figura 24. Ciclo While Loop	51
Figura 25. Interfaz del usuario	51
Figura 26. Diagrama del sensor de presión.	57
Figura 27. Montaje hidráulico en el banco de pruebas	57

Figura 28. Curva de calibración del sensor de presión 1	58
Figura 29. Elementos de arranque instalados	59
Figura 30. Sistema de transmisión	60
Figura 31. Variador con el indicador BOP instalado	61
Figura 32. Diagrama de bloques del variador	62
Figura 33. Distribución de los bornes de conexión	63
Figura 34. Conexiones de bornes de control	63
Figura 35. Plano del circuito electrónico	65
Figura 36. Interruptores de ajuste de zona	66
Figura 37. Calibración de la celda de carga	69
Figura 38. Prueba realizada sobre los cauchos en la MTS	70
Figura 39. Pruebas de calibración en el equipo Soiltest.	70
Figura 40. Pruebas sobre el espécimen de 10cm de alto	71
Figura 41. Pruebas sobre el espécimen de 6cm de alto	71
Figura 42. Muestras del Km 5 vía a Girón	72
Figura 43. Elementos para la preparación de muestras	73
Figura 44. Muestra a través del tamiz	73
Figura 45. Mezcla de agua y muestra de suelo	74
Figura 46. Consolidación de la muestra	74
Figura 47. Extractor de probetas	74
Figura 48. Probetas preparadas para el ensayo	75
Figura 49. Montaje de la probeta	75
Figura 50. Probetas falladas	75
Figura 51. Llenado de las líneas y el tanque de presión	78
Figura 52. Recubrimiento y montaje de la probeta	78
Figura 53. Adecuación y confinamiento en la cámara	79
Figura 54. Finalización del ensayo y despresurización de la cámara	79

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Propiedades del material.	28
Tabla 2. Resultados obtenidos de Ansys.	29
Tabla 3. Características del sensor de presión.	38
Tabla 4. Datos de calibración del sensor de presión 1.	58
Tabla 5. Tabla de fallos y alarmas del variador	68

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Planos del equipo	80
Anexo B. Manual del Usuario	82

RESUMEN

TÍTULO:

RECUPERACION Y AUTOMATIZACION DEL EQUIPO PARA PRUEBAS UNIAXIALES Y TRIAXIALES SOBRE SUELOS Y ROCAS NO CONSOLIDADAS SOILTEST T 500 A.*

AUTORES:

Luis Gonzalo Rozo Martínez.

Emerson Andrés Cáceres Contreras. **

PALABRAS CLAVES:

Automatización, prueba triaxial, prueba uniaxial, labview.

DESCRIPCIÓN:

El objetivo de este proyecto es dotar a la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, de un equipo para la realización de pruebas uniaxiales y triaxiales sobre suelos.

El equipo Soiltest T500A está ubicado en el laboratorio de suelos de la Universidad Industrial de Santander; su estado es obsoleto y desde esta condición se inicia el trabajo de grado realizando un estudio sobre los requisitos del equipo, las pruebas que realiza, la capacidad máxima de funcionamiento y principios de funcionamiento, El estudio se hará basado en la norma ASTM D 2850 que se titula "METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA EL MODULO ELASTICO DE ESPECIMENES DE NUCLEOS DE ROCA INTACTA EN COMPRESION UNIAXIAL" e incluye la traducción de esta norma. Luego se seleccionan los componentes necesarios para la puesta en marcha del equipo, teniendo en cuenta la actualización a realizar en el equipo. Posteriormente se realiza la selección de sensores a partir de los requisitos de diseño y la selección del sistema de adquisición de datos, teniendo en cuenta que se desarrolla un software en la plataforma LabView 7.0, además se describe la programación del software para realizar las pruebas triaxiales y finalmente se efectúan las pruebas en el equipo para la comprobación del funcionamiento.

SUMMARY

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Carlos Borrás.

TITLE:

RECOVERY AND AUTOMATION EQUIPMENT FOR TESTS ON Uniaxial and triaxial soil and rock DO NOT CONSOLIDATED *

AUTHORS:

Luis Gonzalo Rozo Martínez.

Emerson Andrés Cáceres Contreras. **

KEY WORDS:

Automation, test triaxial, test uniaxial, labview.

DESCRIPTION:

The objective of this project is to provide to the school of Civil Engineering of the Industrial University of Santander, of equipment for the accomplishment of tests uniaxiales and triaxiales on soils.

The equipment Soiltest T500A is located in the laboratory of soils of the Industrial University of Santander; his condition is obsolete and from this condition the work of degree begins realizing a study on the requirements of the equipment, the tests that it realizes, the maximum capacity of functioning and beginning of functioning, The study will become based on the norm ASTM D 2850 that there is entitled " METHOD OF STANDARD TEST FOR ESPECIMENES's ELASTIC MODULE OF CORES OF INTACT ROCK IN COMPRESSION UNIAXIAL " and includes the translation of this norm. Then the components necessary for the putting are selected in march of the equipment, having in it counts the update to realizing in the equipment. Later the selection of sensors is realized from the requirements of design and the selection of the system of acquisition of information, bearing in mind that develops a software in the platform LabView 7.0, in addition the programming of the software is described to realize the tests triaxiales and finally the tests are effected in the equipment for the checking of the functioning.

* Degree Work.

** Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Carlos Borrás.

INTRODUCCIÓN

La finalidad de un ensayo triaxial sobre rocas y suelos es determinar las propiedades mecánicas como el modulo de Young, el UCS (ultimate compressive strength), la cohesión, la resistencia a la tensión y el ángulo de fricción interna, de tal manera que este ensayo es sumamente importante para el estudio de resistencia de suelos y geomecánica de rocas. Un ensayo triaxial proporciona puntos de calibración de modelos geomecánica para aumentar la certidumbre dentro de tales modelos.

La realización de los ensayos triaxiales demanda tiempo suficiente, disponibilidad de personal y la capacidad de controlar los parámetros del ensayo para obtener resultados confiables y así contribuir a los estudios de geotecnia y geomecánica.

Por las razones anteriores, desarrollamos la presente tesis de grado, titulada **“Recuperación y automatización del equipo para pruebas uniaxiales y triaxiales sobre suelos y rocas no consolidadas Soiltest T 500 A”**. Este equipo permite la realización de pruebas triaxiales de manera confiable y controlada, dando la capacidad al operario de realizar pruebas de manera optima, rápida y eficaz, para aumentar los productos del laboratorio de mecánica de suelos de la universidad y proporcionar una herramienta académica de gran utilidad para los profesionales de la institución.

El capítulo 1 tiene como fin presentar las normas que se siguen para realizar pruebas triaxiales y uniaxiales, con el fin de clarificar los requisitos del equipo y permitir concepción del diseño de manera que los elementos seleccionados sean los adecuados para cumplir con la norma y garantizar buenos resultados.

En el capítulo 2, se presentan las condiciones iniciales del equipo, sus elementos iniciales, el análisis de los sistemas que conforman el equipo y el

método de recuperación que se le aplica a cada sistema, además se presenta el estudio de los procesos y las mejoras necesarias para la posterior automatización.

El capítulo 3 muestra la selección de los sensores y la instrumentación que permite el control del equipo, luego se realiza la elección del sistema de adquisición de datos para ser utilizados en la entrega de resultados.

En el capítulo 4 muestra la programación realizada en la plataforma LabView 7.0, entregando un software especializado para el control y adquisición de datos del equipo Soiltest T 500 A.

Finalmente, el capítulo 5 describe pruebas efectuadas en el equipo Soiltest.

CAPITULO 1
MARCO TEORICO PRUEBAS UNAXIALES Y TRIAXIALES NORMA ASTM
2850

1.1 ENSAYO UNIAXIAL

- **Selección del espécimen**

El espécimen se selecciona de los núcleos, para representar un promedio válido del tipo de roca en consideración. Esto se puede lograr a través de observaciones visuales de constituyentes minerales, tamaños de grano y forma, separaciones y defectos tales como poros y fisuras, o por otros métodos como mediciones de velocidades ultrasónicas.

- **Condiciones de humedad del espécimen de prueba**

La condición de humedad del espécimen al momento de la prueba puede tener un efecto significativo sobre la información de la roca. La práctica dicta que las pruebas de laboratorio se hagan con los especímenes representativos de condiciones de campo. Así, se sigue que la condición de humedad del campo del espécimen debería preservarse hasta el momento de la prueba. Por otro lado pueden existir pruebas particulares donde los requerimientos de humedad puedan llegar a ser nulos. En cualquier caso el contenido de humedad de la probeta debe ser adaptado a las condiciones deseadas.

- **Determinación de algunas variables a través de la prueba triaxial**

Para materiales isotrópicos, la relación entre el módulo de cizalla, total módulo de Young y la relación Poisson son:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (1)$$

$$K = \frac{E}{3(1 + \nu)} \quad (2)$$

Donde:

G=Modulo de cizalla

K=modulo total

E=modulo de Young

V=Modulo de Poisson

La aplicabilidad o el uso de estas variables disminuyen considerablemente si la roca presenta propiedades anisotrópicas. Debido a esto es necesario determinar el grado de anisotropía de la muestra. Sin embargo el cálculo de estos parámetros por el uso de las ecuaciones mencionadas anteriormente resulta un cálculo aproximado que se puede tener en cuenta en caso de no ser posible la obtención del grado de anisotropía del material al que se la va a realizar el estudio.

Las constantes elásticas son usadas para calcular la tensión y la deformación de una estructura rocosa.

Hay que tener en cuenta que las propiedades de deformación y las fuerzas de los núcleos de roca medidos en laboratorios, por este tipo de prueba para nuestro caso, usualmente no reflejan las propiedades in situ a gran escala, debido a que estos últimos están sujetos a condiciones muchas mas condiciones de esfuerzos, producidos por fallas, uniones, planos de debilidad, entre otros. Por lo que, los valores obtenidos en laboratorio para especímenes intactos deben ser empleados con criterios apropiados para su respectiva aplicación en la ingeniería.

- **Calculo de deformación**

$$e_a = \Delta L / L \quad (3)$$

L = Longitud calibrada axial original sin deformar

ΔL = cambio en la longitud axial media

- **Determinación del esfuerzo axial**

El esfuerzo axial puede determinarse de datos obtenidos por medidores de esfuerzos eléctricos, compresómetros, transformadores diferenciales variables lineales (LVDTs), u otros mecanismos adaptables como tomando las medidas de deformaciones axiales y aplicando la ecuación correspondiente y posteriormente hacer el cálculo para el esfuerzo axial, esto si no se cuenta con los aparatos anteriormente mencionados.

- **Calculo compresión lateral**

$$e_L = \Delta D / D \quad (4)$$

Donde:

D = Diámetro original no deformado

ΔD = Cambio en diámetro (positivo para incremento en diámetro)

Muchos de los transductores circunferenciales miden el cambio en la longitud de cuerda y no el cambio en la longitud de arco (circunferencia). La relación no lineal geoméricamente entre el cambio en la longitud de cuerda y el cambio en diámetro debe usarse para obtener valores exactos de compresión lateral.

- **Recomendaciones para la aplicación de la norma ASTM 2850**

Las tensiones y compresiones tensiles se usan como positivas en esto. Una aplicación consistente de una convención de signo de compresión positivo puede emplearse si se desea. La convención de signo adoptada necesita establecerse explícitamente en el reporte. Las formulas dadas son para tensiones y compresiones de ingeniería. Las tensiones y compresiones verdaderas pueden usarse si se desea.

Si la deformación registrada durante la prueba incluye la deformación del aparato, debe hacerse una calibración adaptable para la deformación del aparato. Esto puede lograrse insertando dentro del aparato un cilindro de acero que tenga propiedades elásticas conocidas y observando diferencias en deformación entre el ensamblaje y el cilindro de acero en todo el rango de carga. La deformación del aparato se sustrae entonces de la deformación total a cada incremento de carga para arribar a una deformación de espécimen de la cual se calcula la compresión axial del espécimen. La exactitud de esta corrección debería verificarse midiendo la deformación elástica de un cilindro de material que tienen propiedades elásticas conocidas (otro diferente del acero) y comparando las deformaciones medidas y calculadas.

- **Instrumentos**

Unidad de carga

La unidad de carga debe tener la suficiente capacidad para colocar carga a una r ata de acuerdo a las especificaciones establecidas en el apartado 9.5 de la norma ASTM para ensayos uniaxiales. La unidad de carga debe ser equipada con un transductor de desplazamiento que pueda ser usado para avanzar el ariete de cargado a una rata específica. El sistema de

accionamiento de esta unidad puede ser mecánico o hidráulico dependiendo de la facilidad de fabricación o de obtención de los implementos usados para este tipo de unidades.

Platinas

Se usan dos platinas de acero para transmitir la carga axial a los extremos del espécimen. Estas tendrán una dureza mínima de 58 HRC. Una de las platinas deberá ser esféricamente asentada y la otra una platina plana rígida. El diámetro de la platina será al menos tan grande como el del espécimen, pero no excederá el diámetro del espécimen por más de 1.5 mm.

1.2 ENSAYO TRIAXIAL

1.2.1 Generalidades

Las pruebas de compresión triaxial son, en la actualidad, las más usadas en cualquier laboratorio para determinar las características de Esfuerzo-Deformación y resistencia de los suelos. Estas son pruebas en las que se pueden variar los esfuerzos en tres direcciones ortogonales (una axial y dos radiales) sobre una probeta, haciendo mediciones sobre sus propiedades mecánicas. Las probetas son, en su mayoría, cilíndricas y están sujetas a presiones laterales de un líquido del cual se protegen con una membrana impermeable. El agua de la cámara puede adquirir la presión deseada por la acción de un compresor comunicado. La carga axial se transmite a la probeta por medio de un vástago que atraviesa la base superior de la cámara. Como la presión lateral que se ejerce sobre el espécimen es hidrostática los esfuerzos laterales son iguales, en las bases de la probeta actuara, junto con la presión del agua, el efecto transmitido por el vástago a la cámara desde el exterior.

1.2.2 Características del equipo

Los equipos utilizados para ensayos están compuestos, generalmente, de una estructura en la que se coloca la cámara de compresión triaxial (celda de confinamiento), se tiene un tubo de confinamiento con agua y aire presurizado desde el cual se inyecta agua a presión regulada dentro de la cámara. Se cuenta con reguladores de presión y manómetros. La deformación se mide en un indicador de alturas. Para su operación se requiere una línea de suministro de aire comprimido o en su defecto de un compresor con su tanque de almacenamiento. Los componentes del equipo enumerados son:

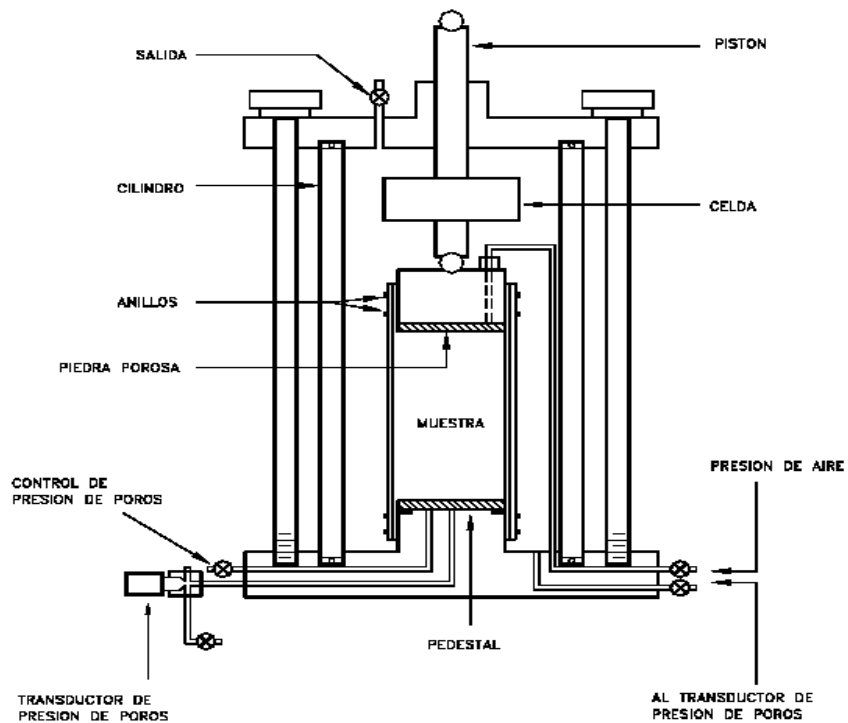
- Marco triaxial para ensayar probetas de 2.54cm de diámetro 9.3cm de altura.
- Molde para compactar probetas.
- Punzón compactador.
- Micrómetro con soporte.
- Torno de labrado para preparación de probetas.
- Extractor de muestras.
- Compresor de aire.

La cámara de compresión triaxial está constituida por:

- Tapa y base de aluminio.
- Tuerca para purga.
- Dos sellos de goma.
- Tubo de Lucita.
- Tres varillas sujetadoras para tapa y base.
- Vástago de aplicación de la carga axial.
- Soporte para inmovilizar el vástago transmisor.

- Soporte del comparador de carátula.
- Válvula de alimentación de agua.
- Comparador de carátula.

Figura1. Celda para el ensayo triaxial (tomado de ocw.uis.edu.co/educommons/ingenieria-civil/estabilidad-de-taludes/clase-3/3_Esfuerzo_y_resistencia_al_cortante.pdf)



1.2.3 Objetivo del ensayo triaxial

Su finalidad es obtener parámetros del suelo y la relación esfuerzo-deformación a través de la determinación del esfuerzo cortante. Es un ensayo complejo, pero la información que entrega es la más representativa del esfuerzo cortante que sufre una masa al ser cargada.

Consiste en colocar una muestra cilíndrica dentro de una membrana de caucho o goma, que se introduce en una cámara especial y se le aplica una presión igual en todo sentido y dirección. Alcanzado ese estado de equilibrio, se aumenta la presión normal o axial (S_1), sin modificar la presión lateral aplicada (S_3), hasta que se produzca la falla.

Realizando por lo menos tres pruebas, con presiones laterales diferentes, en un grafico se dibujan los círculos Mohr que representan los esfuerzos de falla de cada muestra y trazando una tangente o envolvente a estos, se determinan los parámetros f y c que son números usados en los cálculos posteriores. Dependiendo del tipo de suelo y las condiciones en que este trabajara, las alternativas para realizar el ensayo serán consolidados no drenado (CU), no consolidado no drenado (UU) o consolidado drenado (CD).

1.2.4 Método sin medición de presión de poros

➤ **Equipo necesario.**

- Máquina de compresión, provista de un sistema de lectura de cargas y deformaciones de 0,01mm. de precisión.
- Cámara triaxial. Equipo compuesto de un pistón, un tubo de cristal o cámara de presión y conexiones para producir en la muestra presión, saturación o drenaje por medio de válvulas de paso.
- Membrana de caucho o goma.
- Un moldeador de muestra o expansor de membrana.
- Bomba de vacío y fuente de presión
- Herramientas y accesorios. Recipientes plásticos, cuchillo de moldeo, placas base, piedras porosa, espátula, compactador de muestras y cronometro.

1.2.5 Procedimiento para muestra remoldeada.

Para la preparación de la muestra se acopla la placa base inferior a la base de la cámara triaxial y monta la membrana de caucho, utilizando para sellar la unión, bandas de caucho o sellos de aro. Dentro de la membrana, se coloca la piedra porosa inferior y se instala el moldeador de muestra alrededor de la membrana. Si es posible, utilizar un expansor de membrana en lugar del moldeador para hacer más fácil el proceso.

Se deposita cuidadosamente la arena dentro de la membrana, utilizando un compactador, para mantener la forma y la densidad de la muestra. Una vez alcanzada la altura de la probeta, se coloca la piedra porosa y la placa base superior, enrollando hacia esta última la parte de membrana que queda fuera del molde, sellándola de la misma forma que en la parte inferior. Con un pequeño nivel, se debe verificar que la placa base superior se encuentre totalmente horizontal.

Se realizan las conexiones de las placas base a la base de la cámara triaxial y se aplica un vacío de 200 a 250 mm/Hg a la muestra. Se retira el molde o el expansor de membrana y se examina que la membrana de caucho no presente filtraciones, de lo contrario tendrá que prepararse una nueva muestra. Finalmente, se determinan 4 medidas de altura de la probeta, separadas aproximadamente cada 90 grados y lecturas de diámetro en la parte superior, media e inferior.

1.2.6 Aplicación de presiones

Se coloca el tubo de cristal sobre la base de la cámara triaxial, logrando un sello completamente hermético y se la lleva a la máquina de compresión haciendo un ligero contacto entre la barra de carga de la máquina y el pistón de carga de la cámara.

Posteriormente se aplica una presión de confinamiento (S3) predeterminada, por medio de aire comprimido, abriendo luego la válvula de salida o drenaje para verificar que no exista presión de aire (que indicaría que existen filtraciones en la muestra por lo que se tendría que volver a iniciar).

Ante el contacto entre el pistón de la cámara y la barra de carga al aplicar S3, el lector de carga habrá registrado cierta medición, por lo que deberá llevarse a cero.

Se ajusta el lector de deformación, se determina la velocidad de carga de la maquina (0,5 a 12,5 mm/min.) y se enciende, tomando simultáneamente las lecturas de deformación, tiempo y carga, en las siguientes divisiones del lector de deformación: 5, 15, 25, 50 y de aquí en adelante cada 50 o 100 divisiones hasta que suceda uno de los siguientes casos:

- La carga aplicada disminuye
- La carga aplicada se mantiene constante por 4 lecturas
- La deformación sobrepasa el 20% de la deformación unitaria previamente calculada. Luego que falle la muestra, apagar la maquina soltar la presión del quipo y remover la muestra, para realizar dos a tres ensayos adicionales, con diferente presión (S3).

1.2.7 Cálculos y gráficos (ver anexo c)

Obtener densidad, humedad y grado de saturación de la muestra a ensayar.
Calcular la altura inicial (Lo) de la probeta, como la medida aritmética de las lecturas realizadas.

Calcular el diámetro (D) de la probeta.

$$D = (d_i + 2 * d_m + d_s) / 4 [cm] \quad (5)$$

Donde: d_i = diámetro inferior (cm.)

d_m = diámetro medio (cm.)

ds = diámetro superior (cm.)

Calcular el área A y el volumen V de la probeta

$$A = p * (D / 2) [cm^2] \quad (6)$$

$$V = A * L_0 [cm^3] \quad (7)$$

Calcular la deformación unitaria (e) para cada aplicación de carga, mediante la presión:

$$e = \Delta L / L_0 \quad (8)$$

Calcular el área recorrida (Ac) para cada aplicación de carga, mediante la expresión:

$$A_c = A / (1 - e) [cm^2] \quad (9)$$

Calcular el esfuerzo desviador (Sc) para cada unidad de área mediante la expresión:

$$S_c = P / A_c [kg / cm^2] \quad (10)$$

Donde: P= carga aplicada.

Graficar la deformación unitaria ($e * 10^{-2}$) contra el esfuerzo desviador para cada presión de confinamiento.

Dibujar los círculos de Mohr para todos los ensayos sobre un mismo grafico y trazar una tangente o envolvente a estos. Obtener los parámetros f y c del suelo, midiendo la pendiente de la tangente, que corresponderá al ángulo de fricción interna (f) y el intercepto con la ordenada, que corresponderá a la cohesión (c) (ver anexo c).

1.2.8 Cálculos según diagramas.

Para cada ensayo calcular el valor de p y q, mediante las siguientes expresiones (ver anexo c):

$$p = (S_1 + S_3)/2 \quad q = (S_1 - S_3)/2 \quad (11)$$

El procedimiento consisten dibujar los puntos (p,q) siendo p la abscisa. Luego unir los puntos con una línea suave (llamada trayectoria de esfuerzos o línea suave K), medir la pendiente (a) y determinar intercepto con la ordenada (a).

Aplicando principios trigonométricos, se obtiene (ver anexo c):

$$\text{Para } f: \quad \text{sen } f = \tan a \quad (12)$$

$$\text{Y para } c: \quad c = a/\cos f$$

Compara los valores obtenidos (f y c) por medio del grafico de diagrama p-q, con los determinados por el método normal.

1.2.9 Método con medición de presión de poros.

A través de este método, el que requiere de un equipo adicional medidor de presiones intersticiales que se conecta a la cámara triaxial, es posible obtener los parámetros de esfuerzo efectivos (f y c) de suelos parcialmente saturados, ya que generalmente cualquier ensayo cortante, está referido en términos de esfuerzo total, o sea, incluye tanto los esfuerzo intragranulares como los intersticiales y como es sabido, el esfuerzo cortante dentro de una masa de suelo a la que se le aplica una carga, solo lo asume el esqueleto granular, ya que el agua no puede asumir esfuerzos apreciables de corte a menos que se encuentre congelada (ver anexo c).

1.2.10 Ensayo Consolidado drenado

“El ensayo se realiza lentamente para permitir el drenaje del agua dentro de la muestra e impedir que se puedan generar presiones de poros.

Los ensayos drenados son generalmente, preferidos para ensayos rutinarios

(Geotechnical Engineering Office, 1979), debido a la facilidad de su ejecución y son los más utilizados para el análisis de laderas y taludes.

La velocidad de ensayo debe ser tal, que las fluctuaciones en la presión de poros sean despreciables y en cualquier caso no superiores al 5% de la presión efectiva de confinamiento.

1.2.11 Ensayo Consolidado no drenado, con medición de presión de poros

Se permite el drenaje durante la aplicación del esfuerzo de confinamiento colocándolo lentamente, pero se impide durante la aplicación del esfuerzo desviador.

Los ensayos no drenados deben realizarse a una rata que no exceda una deformación unitaria del 2% por hora, con el objeto de lograr una ecualización completa de la presión de poros a través de la muestra.

Se le emplea para simular el caso de desembalse rápido de una represa o la colocación rápida de un terraplén sobre un talud.

1.2.12 Ensayo No consolidado - No drenado o ensayo rápido

No se permite el drenaje durante la aplicación de la presión de confinamiento y el esfuerzo desviador. Este ensayo se le utiliza para modelar, el caso de un terraplén o una carga colocada muy rápidamente sobre un manto de arcilla saturada, de muy baja permeabilidad.

De acuerdo al tipo de ensayo se obtiene un valor diferente de ángulo de fricción.”¹

¹http://ocw.uis.edu.co/educommons/ingenieria-civil/estabilidad-de-taludes/clase-3/3_Esfuerzo_y_resistencia_al_cortante.pdf.

En general, el ensayo consolidado drenado presenta ángulos de fricción mayores, mientras el ensayo No consolidado - No drenado da los valores mínimos de ϕ . (Winterkorn y Fang – 1991).

En la interpretación de resultados de ensayos Triaxiales debe tenerse en cuenta las siguientes fuentes de error:

- Las muestras tienden a deformarse como un barril, lo cual conduce a sobreestimación de la resistencia al cortante.
- En el proceso de saturación, la muestra tiende a alterarse por cambio de volumen, lo cual puede determinar una pérdida de resistencia.
- Variables del ensayo Triaxial

Los resultados que pueden ser obtenidos del ensayo Triaxial dependen del tipo de ensayo y del equipo disponible y se pueden obtener los siguientes resultados:

- La envolvente de falla con el ángulo de fricción y la cohesión pico.
- La respuesta de presión de poros al corte (Ensayos no drenado).
- La respuesta de cambio de volumen al corte (ensayo drenado).
- Módulos tangente y secante inicial o los correspondientes de descarga y recarga.
- Las características de consolidación.
- La permeabilidad a diferentes presiones de confinamiento.

➤ **Tamaño de la muestra**

Para ensayar suelos residuales, el diámetro de la muestra no debe ser menor de 76 mm., debido a que diámetros menores no se consideran representativos para tener en cuenta los efectos de escala, relacionados con las fisuras y juntas en el suelo.

Adicionalmente, el diámetro no debe ser menor de 8 veces el tamaño máximo de la partícula. La relación largo – diámetro no debe ser menor de 2 a 1.

➤ **Consolidación antes del Corte**

La muestra es consolidada o no consolidada, de acuerdo al tipo de ensayo que se realice.

En suelos saturados (arcillas y limos) para una serie de ensayos a la misma profundidad, la resistencia a la compresión para ensayos no consolidados no drenados se encontró que es independiente de la presión de la celda, con excepción de las arcillas fracturadas.

➤ **Algunas causas de error en el ensayo Triaxial**

Fell (1987) indica una serie de errores comunes que se cometen en el manejo del ensayo Triaxial:

➤ **Ensayo a un nivel muy alto de esfuerzos**

La envolvente del círculo de Mohr tiene una forma curva y si se trabaja con niveles altos de esfuerzos se puede sobreestimar la resistencia para el caso real de esfuerzos menores; por ejemplo, para esfuerzos de confinamiento entre 100 y 400 kPa, las resistencias se pueden sobreestimar hasta en un 300 %. Por lo tanto, es importante que el ensayo Triaxial se realice al nivel de esfuerzos de confinamiento reales en el talud analizado.

➤ **Saturación incompleta**

Comúnmente, las muestras inalteradas no son ensayadas con saturación total debido a que por gravedad es difícil obtener la saturación. El resultado

es un aumento en el valor de la resistencia de laboratorio, comparativamente con la resistencia real en campo, para el caso saturado.

➤ **Ensayo a una rata muy alta de deformación**

Las ratas altas de deformación no permiten disipar la presión de poros en el ensayo consolidado drenado.²

² Respuesta Volumétrica Lineal De La Roca Porosa Saturada, Bajo El Incremento De Carga Hidrostática En Una Celda De Carga Triaxial. paper.

CAPITULO 2

REDISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES MECANICOS, HIDRAULICOS Y ESTRUCTURALES.

Este capítulo muestra el principio de funcionamiento del equipo de laboratorio para ensayos triaxiales y uniaxiales sobre suelos y rocas no consolidadas Soiltest T 500 A, perteneciente a la escuela de ingeniería civil. La descripción y rediseño realizado a los sistemas mecánicos, eléctricos e hidráulicos.

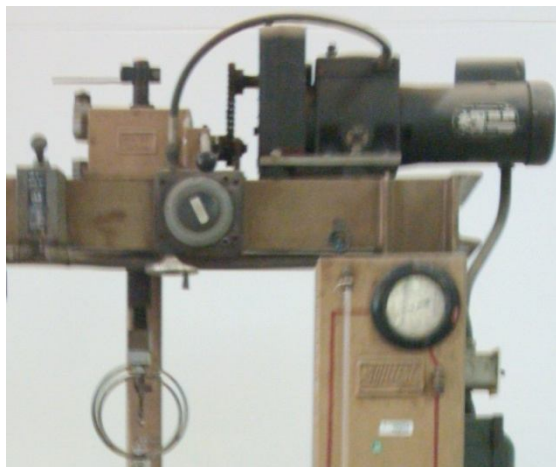
2.1. FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.

2.1.1 Estado inicial del equipo.

Antes de mencionar el estado inicial del equipo es necesario hacer una descripción de sus componentes y de su funcionamiento.

Para generar la carga axial del equipo se utilizaba un moto-reductor, un variador de velocidad planetario, una transmisión mecánica por cadena y finalmente un tornillo de potencia que era el encargado de hacer contacto con un anillo de carga y este con la probeta a la cual se realiza la práctica de laboratorio como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Mecanismo para carga axial.



La presión de confinamiento era dada al equipo utilizando presión de gas en un acumulador, la presurización se hace en el acumulador hasta el valor deseado; Se recomienda sin embargo un acumulador especial en el sistema. Las mediciones de deformación y carga se tomaban respectivamente por medio de un comparador de carátula y un anillo de carga como se muestra en la figura 3.

Figura 3. Anillo de carga, fuente del autor.



Con estos componentes el equipo funciona de una manera manual como se describe a continuación:

Este procedimiento fue diseñado por los autores basados en las normas técnicas, las líneas hidráulicas y válvulas encontradas en el equipo.

- **Procedimiento Operativo.**

Aplicando este procedimiento exclusivamente al equipo de ensayo triaxial Soiltest T 500 A se describe el funcionamiento de la maquina y el proceso que debe realizar el operario.

El equipo requiere de unas operaciones previas antes de iniciar con el procedimiento.

- Identificar las zonas del equipo (ver figura 5)

- Instalar el compresor en la boquilla correspondiente. (Ver figura 4).
- Verifique que en la instalación del compresor no queden fugas.
- Verifique que la válvula 1 (ver figura 5) este cerrada, si no es así debe cerrarse.
- Verifique la instalación del manómetro1. (Ver figura5).

Encienda el compresor y verifique permanentemente la presión que marca el manómetro 1, el compresor estará encendido hasta que se llegué a la presión de confinamiento requerida.

El método que se va a seguir en este protocolo de prueba es plantear lo que se pretende hacer y cómo se operaría el equipo para lograrlo.

1. Llenar las líneas de los pedestales y presión de poro.

Para llenar las líneas de los pedestales y presión de poro se mantiene cerrada la válvula 1 y se abre la válvula 2 (ver figura 4) esta se mantendrá abierta hasta que empiece a salir el fluido de trabajo por el pedestal inferior esto indicará que las líneas están llenas.

2. En la cámara triaxial se montan las piedras porosas y la muestra sobre los pedestales.

Se sella la muestra con una membrana que la aislará del fluido de confinamiento; como la muestra es de rocas no consolidadas se necesitará aplicar un vacío parcial, este deberá ser aplicado por una línea del equipo que llegué directamente a la muestra.

Se conectará una bomba de vacío en la boquilla 2 (ver figura 4) se abre la válvula 3 y se aplicará el vacío parcial que indique la norma, este vacío se

controla mediante vacuo metro (ver figura 5), cuando el vacuo metro marque el vacío requerido cierre la válvula 3.

3. Se abre la línea de alta presión que viene del compresor, esta se controla por un manómetro, el flujo de aire llega al tanque presurizado y de allí sale agua a la cámara de confinamiento.

De esta manera se llena la cámara de confinamiento cuidando no llenarla toda, si no, hasta dejar 0.64 cm sin agua en la parte superior, esto por seguridad y para presurizar y despresurizar cuando sea necesario la cámara.

Para hacer esto se abre la válvula 1 y se verifica que la válvula 4 (ver figura 4) que es la válvula de drenaje esté cerrada, si este procedimiento se realiza correctamente empezará a salir fluido por el orificio de llenado de la cámara de confinamiento, la válvula 1 se mantendrá abierta hasta dejar 0.64 cm sin fluido en la parte superior de la cámara en ese momento se deberá cerrar.

4. Se baja el pistón a tope con los pedestales de la muestra y se ponen las unidades de medición de deformación y fuerza a cero.

Para ello se le da ON al interruptor que se encuentra en la zona de control eléctrico, mediante el regulador de velocidad se normaliza la velocidad de aplicación de carga y de descenso del vástago, para empezar a descender el vástago de carga (Tornillo de potencia) se gira la palanca de descenso hacia la derecha, cuando el vástago de carga llegue al eje de la tapa de la cámara de confinamiento este se detendrá poniendo en la posición central la palanca de descenso (ver figura 5).

5. Se abre la línea del compresor nuevamente y se aplica una presión pequeña (0.25 Kg/cm^2) sobre la cámara de confinamiento, aquí no se permite el drenaje de la muestra por lo cual la manguera que sale del pedestal superior se encuentra cerrada.

Nuevamente se abre la válvula 1, siempre verificando que la válvula 4 se encuentre cerrada, mediante el manómetro 2 (ver figura 4) se controla que la presión de 0.25 Kg/cm^2 sea la aplicada, cuando esto suceda se cerrara la válvula 1.

En este momento se mide el coeficiente de Skeptom.

6. Si es necesario saturar la muestra, se quita la presión de 0.25 Kg/cm^2 que había en la cámara y por el pedestal inferior se permite la entrada de agua a la probeta, luego se confina hasta 0.3 Kg/cm^2 y se permite el drenaje de muestra.

Para quitar la presión de la cámara de confinamiento se abre una válvula neumática en la tapa superior de esta, para saturar la probeta se abre la válvula 2, este proceso durará hasta que se empiece a notar fluido de trabajo en la manguera de drenaje de la probeta, esto si es por precolación si la saturación es por contrapresión se va abriendo a la vez la válvula 1 y la 2 hasta que no salga aire de la muestra por el drenaje solo fluido de trabajo, controlando las presiones en el manómetro 2 y en el de presión de poro.

7. Se repite el proceso 5 y 6 sucesivamente hasta que el coeficiente de Skeptom este 0.8 y 1.
8. Para consolidar la muestra se aplica presión de confinamiento hasta la presión a la cual se va a fallar la probeta abriendo la válvula 1 y manteniendo cerrada la válvula 4.

9. Finalmente se verifican las unidades de medición de carga y deformación, y se procede a fallar la muestra, tomando lecturas de carga y presión de poro cada 1% de deformación de la muestra, en esta parte de la prueba no se permite el drenaje de la muestra.

Para fallar la muestra se gira nuevamente la palanca de descenso hacia a derecha y se toman los datos, en el momento que falle la probeta se gira la palanca hacia el centro.

10. Para desmontar el equipo gire la palanca de descenso hacia la izquierda, así el vástago de carga se levantará, luego despresurice el acumulador abriendo una válvula neumática que se encuentra en la parte superior del mismo; cuando esto se realice abra la válvula 4 y espere que el fluido salga todo de la cámara, cuando este proceso termine puede desmontar la cámara y la muestra.

Figura 4. Manejo hidráulico del equipo, fuente del autor.

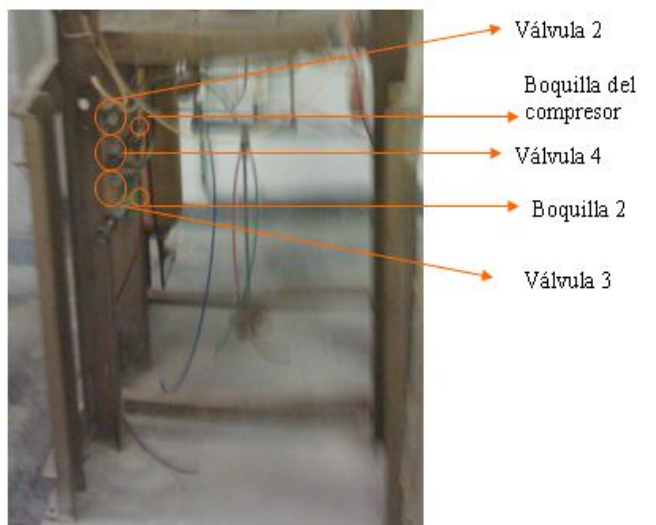
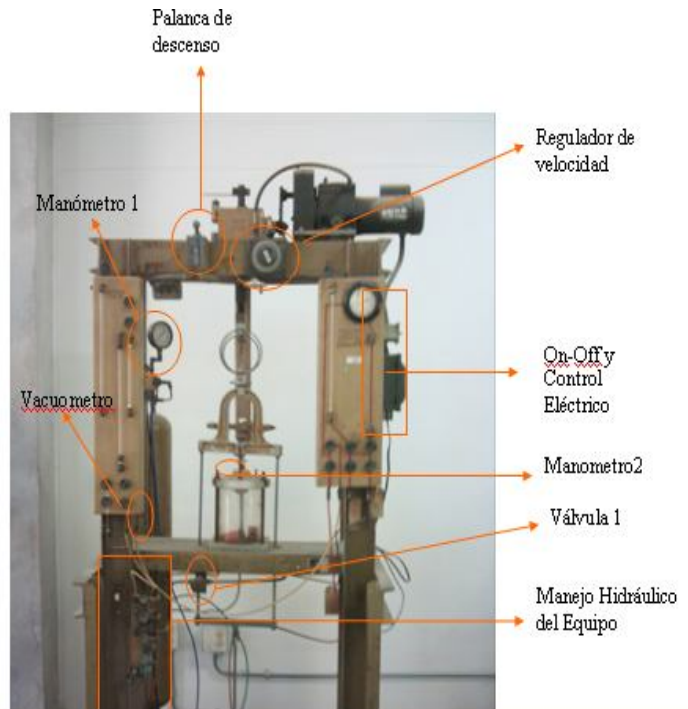


Figura 5. Partes operativas del equipo.



2.2. SISTEMA MECANICO.

Regulación de los valores de velocidad en la pruebas según las normas ASTM 2850 2156.

La norma dice acerca de la rata de aplicación de carga:

“Se ajusta el lector de deformación, se determina la velocidad de carga de la maquina (0,5 a 12,5 mm/min) y se enciende, tomando simultáneamente las lecturas de deformación, tiempo y carga, en las siguientes divisiones del lector de deformación: 5, 15, 25, 50 y de aquí en adelante cada 50 o 100 divisiones hasta que suceda uno de los siguientes casos”.

Si se observa el dato de rata de aplicación de carga que nos recomienda la norma, se aprecia que es una velocidad baja, lo que es de esperarse pues el ensayo triaxial es pseudo-estático.

- **Aplicación al equipo Soiltest T 500 A.**

El equipo consta de una transmisión mecánica de potencia con una relación de 1:1 por medio de cadenas; luego se convierte el sentido rotacional por medio de una transmisión de engranajes cónicos y finalmente el giro se transforma en desplazamiento longitudinal a través de un tornillo de potencia el cual aplica la el esfuerzo a la probeta.

De la configuración descrita anteriormente se puede analizar que la velocidad que entrega el motor es transformada a velocidad lineal y de allí se deriva la rata de aplicación de carga; por eso es necesario controlar la salida de velocidad del motor, esto para lograr la fuerza requerida a una velocidad específica según la norma.

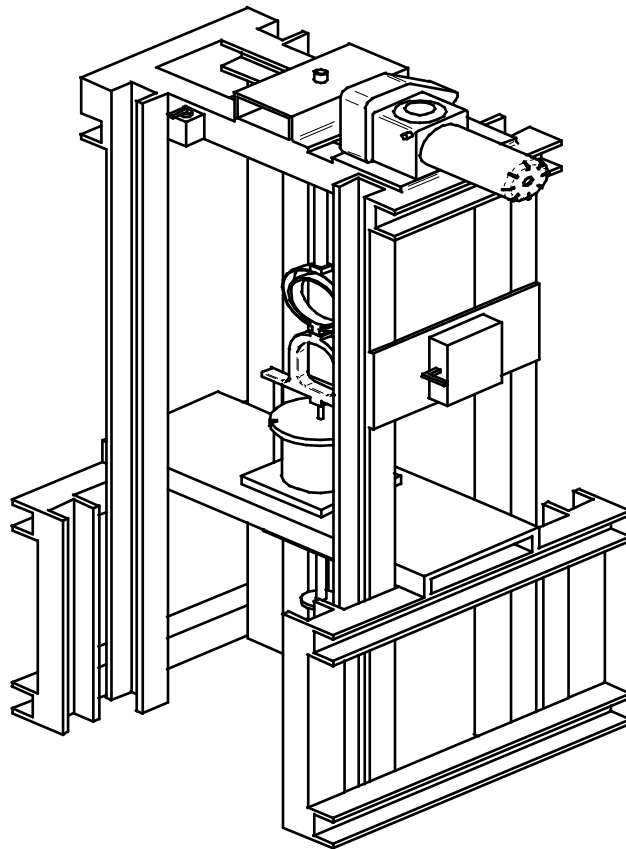
2.3 ANALISIS ESTRUCTURAL DEL EQUIPO.

Para la ejecución del proyecto y el desarrollo de los objetivos planteados en este proyecto de grado se desarrolló un estudio estructural a el equipo de pruebas uniaxiales y triaxiales soiltest T 500 A; este estudio fue desarrollado mediante los software SOLID WORKS y ANSYS, el desarrollo de la simulación se hizo de la siguiente manera:

- **DIBUJO DEL EQUIPO MEDIANTE SOLID WORKS.**

Mediante la utilización del software solid works se dibujó el equipo como primera etapa para la simulación de cargas y presiones en ANSYS donde se determinaran las capacidades que soportara el equipo.

Figura 6. Dibujo en solid edge.



- **SIMULACION EN ANSYS.**

Desarrollado el dibujo en solid edge , el siguiente paso fue la simulación de cargas y presiones en ANSYS esto se hizo de la siguiente manera.

- Se seleccionó el material, el numero de y elementos en el cual se trabajó la simulación de cargas en la estructura del equipo para Soiltest T 500 A,

Tabla 1, Propiedades del material, Tomada de Ansys.

Name	Material	Nonlinear Material Effects	Bounding Box(m)	Mass (kg)	Volume (m ³)	Nodes	Elements
"estructura abajo.par"	"Structural Steel"	Yes	0.9, 0.82, 2.09	545.89	6.95×10 ⁻²	11788	5372

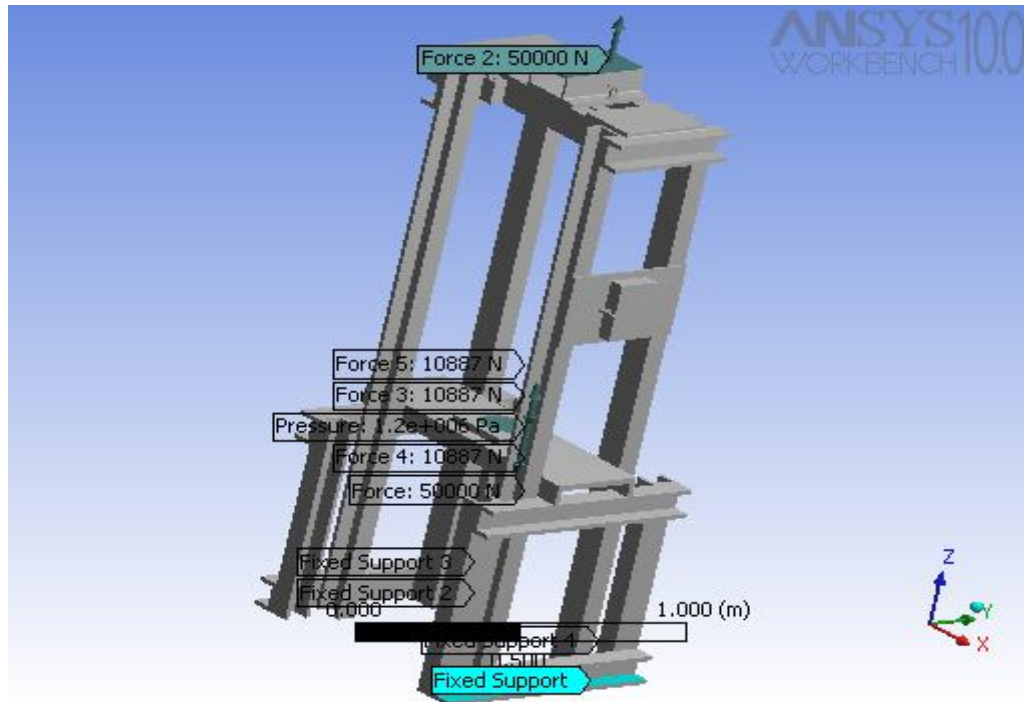
Name	Value
Compressive Ultimate Strength	0.0 Pa
Compressive Yield Strength	2.5×10 ⁸ Pa
Density	7,850.0 kg/m ³
Poisson's Ratio	0.3
Tensile Yield Strength	2.5×10 ⁸ Pa
Tensile Ultimate Strength	4.6×10 ⁸ Pa
Young's Modulus	2.0×10 ¹¹ Pa
Thermal Expansion	1.2×10 ⁻⁵ 1/°C
Specific Heat	434.0 J/kg·°C
Thermal Conductivity	60.5 W/m·°C
Relative Permeability	10,000.0
Resistivity	1.7×10 ⁻⁷ Ohm·m

- Se aplicaron las cargas simuladas en la estructura de la maquina, las cuales se describen la siguiente tabla y se muestran en la figura 7.

Figura 7. Fuerzas simuladas en el equipo.

Name	Type	Magnitude	Vector	Reaction Force	Reaction Force Vector	Reaction Moment	Reaction Moment Vector
"Force"	Surface Force	50,000.0 N	[0.0 N x, 0.0 N y, -50,000.0 N z]	N/A	N/A	N/A	N/A
"Force 2"	Surface Force	50,000.0 N	[0.0 N x, 0.0 N y, 50,000.0 N z]	N/A	N/A	N/A	N/A
"Pressure"	Pressure	1.2×10 ⁶ Pa	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
"Force 3"	Surface Force	10,887.0 N	[0.0 N x, 0.0 N y, 10,887.0 N z]	N/A	N/A	N/A	N/A
"Force 4"	Surface Force	10,887.0 N	[0.0 N x, 0.0 N y, 10,887.0 N z]	N/A	N/A	N/A	N/A

"Force 5"	Surface Force	10,887.0 N	[0.0 N x, 0.0 N y, 10,887.0 N z]	N/A	N/A	N/A	N/A
-----------	---------------	------------	----------------------------------	-----	-----	-----	-----



- Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes figuras 8,9 y 10 y la tabla 2.

Tabla 2, resultados obtenidos, Tomado de reporte generado por Ansis.

Name	Figure	Scope	Minimum	Maximum	Minimum Occurs On	Maximum Occurs On	Alert Criteria
"Total Deformation"	A1.6	"Model"	0.0 m	4.33×10^{-4} m	estructura abajo.par	estructura abajo.par	None
"Maximum Principal Elastic Strain"	A1.7	"Model"	-1.48×10^{-7} m/m	4.58×10^{-4} m/m	estructura abajo.par	estructura abajo.par	None
"Maximum Principal Stress"	A1.8	"Model"	-3.66×10^6 Pa	1.05×10^8 Pa	estructura abajo.par	estructura abajo.par	None

Figura 8. Deformaciones obtenidas, tomado de Ansys.

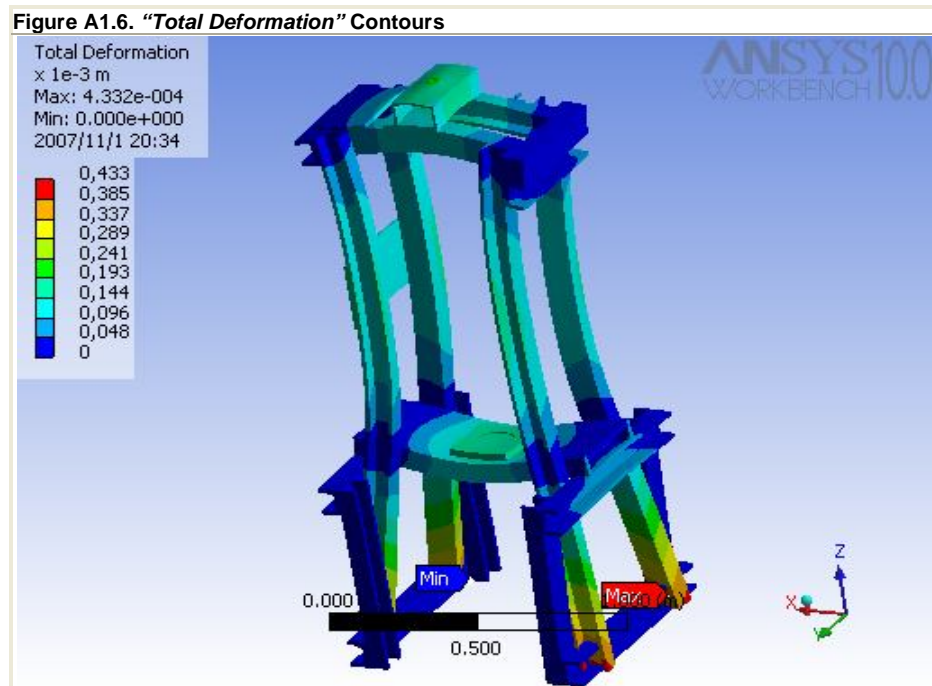


Figura 9 y 10 Esfuerzo Elástico principal y máximo obtenido (tomado de Ansys)

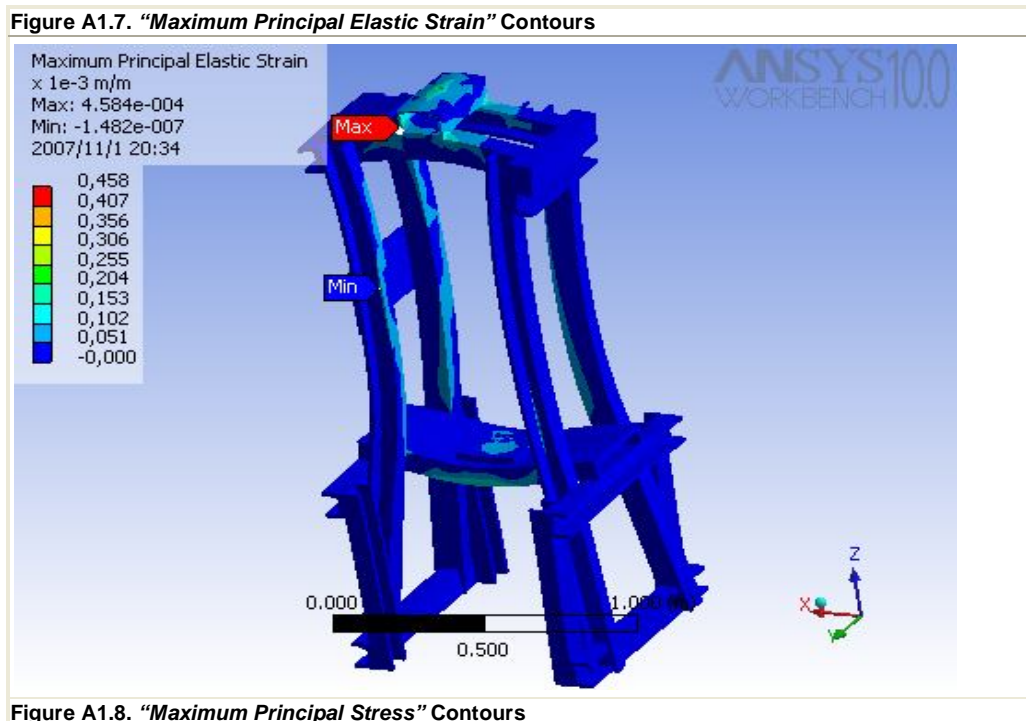
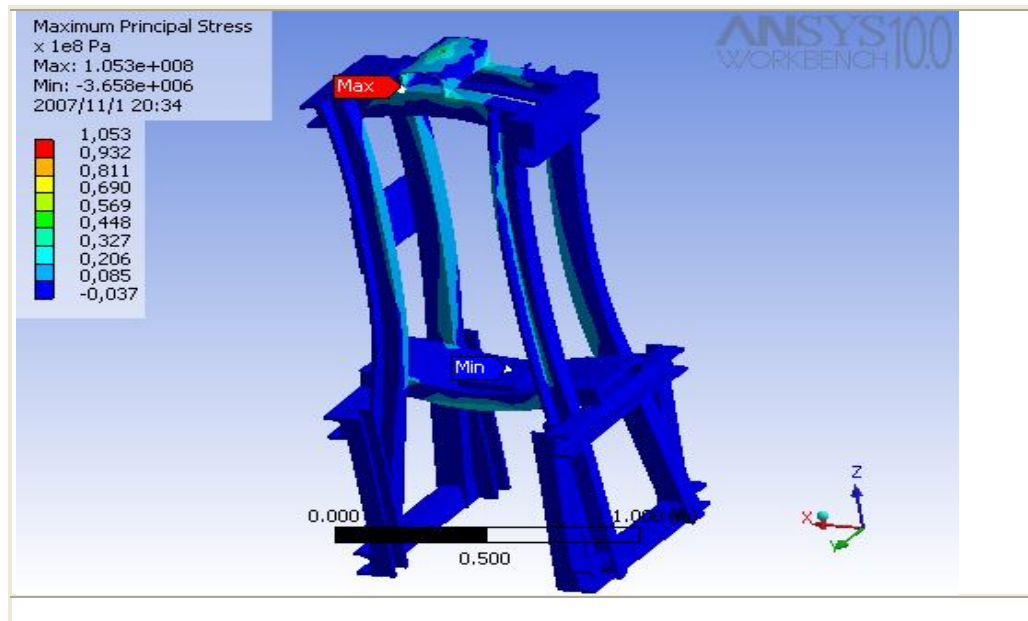


Figure A1.8. "Maximum Principal Stress" Contours



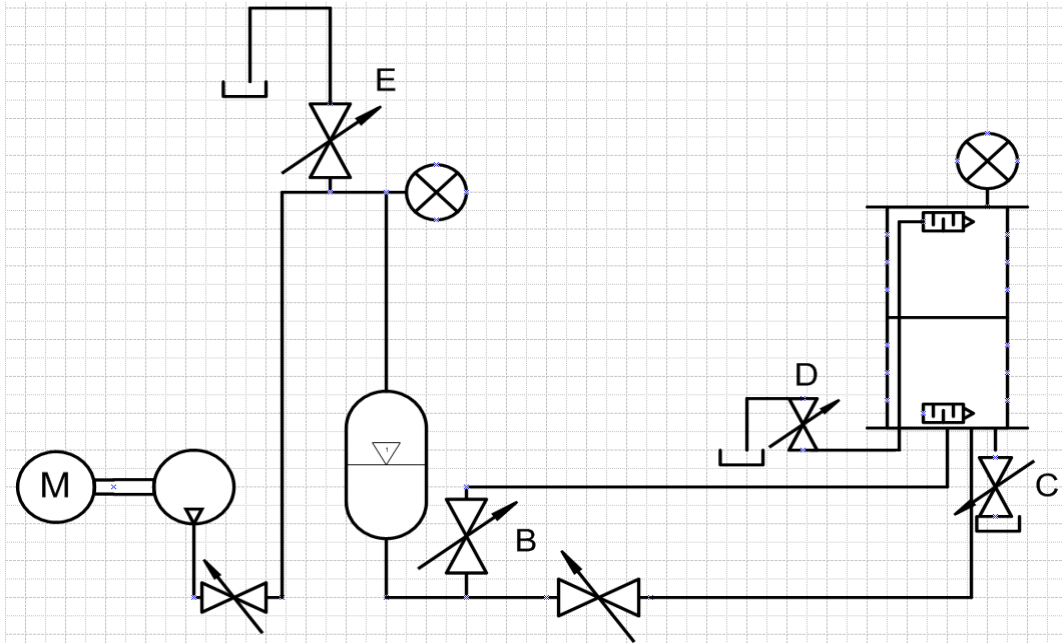
De estos resultados obtenidos mediante el análisis de ANSIS es importante concluir que las cargas críticas para las cuales se ensayó el equipo no alteran el funcionamiento de las pruebas reales que se desarrollaran en el mismo, concluyendo de esta manera que las capacidades simuladas cubren a cabalidad los requisitos para ensayar muestras de suelos y rocas no consolidadas.

2.4 SISTEMA HIDRAULICO.

Para desarrollar la prueba se requiere un circuito hidráulico que permita el flujo y control del fluido (glicerina), el equipo presentaba un circuito hidráulico destruido con control de presión manual por estrangulamiento de unas válvulas de perilla, el estado del circuito era obsoleto y no funcional.

Con el estudio de la prueba y conocimiento de los requerimientos hidráulicos para el desarrollo de esta se diseño un nuevo circuito que se muestra en la figura 11.

Figura 11. Circuito Hidráulico.



En el circuito se muestra la manera de presurizar la celda principal donde se ubica la probeta de ensayo.

A un tanque donde se almacena glicerina se aplica presión neumática por medio de un compresor, esta presión se transmite al fluido y mediante un control por computador se mantiene el rango de presión requerida; para lograr la presión de poro que se refiere a la presión interna de la probeta de ensayo se utiliza un depósito de agua con una cabeza de altura de 1 m, que se controla también desde el computador, esta presión no es necesaria para todos los ensayos de la maquina.

3. AUTOMATIZACIÓN

3.1 Generalidades

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos. Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

1. *Parte de Mando:* suele ser un autómata programable (tecnología programada), aunque hasta hace poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada). En un sistema de fabricación automatizado el autómata programable está en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado.
2. *Parte Operativa:* es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los actuadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los captadores como fotodiodos, finales de carrera.

3.1.1 Sensores

Como las personas necesitan de los sentidos para percibir, lo que ocurre en su entorno, los sistemas automatizados precisan de los sensores para adquirir información de la variación de ciertas magnitudes físicas del sistema y del estado físico de sus componentes.

Los dispositivos encargados de convertir las magnitudes físicas en magnitudes eléctricas se denominan sensores y se pueden clasificar en función del tipo de señal que transmiten en:

- Sensores todo o nada: Suministran una señal binaria claramente diferenciados. Los finales de carrera son sensores de este tipo.
- Sensores numéricos: Transmiten valores numéricos en forma de combinaciones binarias. Los encoders son sensores de este tipo.
- Sensores analógicos: Suministran una señal continua que es fiel reflejo de la variación de la magnitud física medida.

3.1.2 Actuadores y Pre-actuadores

El actuador es el elemento final de control que, en respuesta a la señal de mando que recibe, actúa sobre la variable o elemento final del proceso. Un actuador transforma la energía de salida del automatismo en otra útil para el entorno industrial de trabajo. Los actuadores pueden ser clasificados en eléctricos, neumáticos e hidráulicos. Los actuadores más utilizados en la industria son: Cilindros, motores de corriente alterna, motores de corriente continua. Los actuadores son gobernados por la parte de mando, sin embargo, pueden estar bajo el control directo de la misma o bien requerir algún pre-accionamiento para amplificar la señal de mando. Esta pre-amplificación se traduce en establecer o interrumpir la circulación de energía desde la fuente al actuador. Los pre-actuadores disponen de una parte de mando o de control, que se encarga de conmutar la conexión eléctrica, hidráulica o neumática entre los cables o conductores del circuito de potencia.

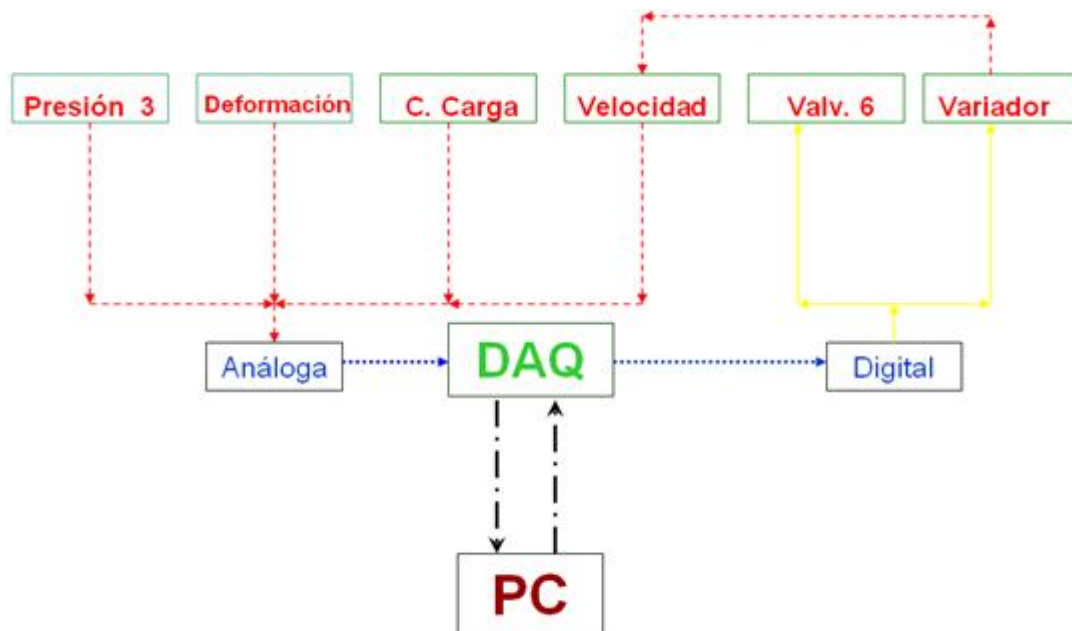
3.2 Sistema de control

El sistema de control para el equipo para pruebas triaxiales Soiltest T 500 A debe manejar tres mediciones de presión, una medición de deformación, una

medición de carga aplicada y una medición de velocidad; puesto que estas son las variables que se deben controlar para cumplir con la norma que rige el ensayo.

Dentro del análisis que se realiza para llevar a cabo el control de dichas variables se considera el diagrama de bloques de la figura que muestra las mediciones análogas adquiridas por el sistema de adquisición de datos, controladas por el computador y este a su vez enviando señales de control a los actuadores que serían el variador y las electroválvulas, teniendo en cuenta que existirían unos relés como pre-actuadores de las electroválvulas y el variador. En resumen, las mediciones del entorno (sensores de presión, carga, deformación y velocidad) llegarían de manera análoga al DAQ y este las enviaría al computador; el computador procesaría las señales y enviaría las señales de control, de forma digital, para responder a las necesidades del sistema manejando el motor, a través del variador de frecuencias, y las electroválvulas del sistema hidráulico.

Figura 12. Sistema de control.



3.2.1 Definición de los elementos del sistema de control

Teniendo en cuenta la automatización del equipo para pruebas triaxiales SOILTEST T-500 A se define que para su sistema de control son necesarios los siguientes elementos (ver figura 12):

- Sensores: tres sensores de presión, un sensor de velocidad, un sensor de carga, un sensor extensiométrico
- Actuadores: cinco electro válvulas.
- Adquisición de datos: un sistema de adquisición de datos (DAQ).
- Controlador: un computador.

3.3 Selección de los sensores

3.3.1 Conceptos básicos

Entre las características técnicas de un sensor se destacan las siguientes:

- *Rango de medida*: dominio en la magnitud medida en el que puede aplicarse el sensor.
- *Exactitud*: es el error de medida máximo esperado.
- *Desviación de cero*: valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, habitualmente se establece otro punto de referencia para definir la desviación del cero.
- *Linealidad*.
- *Sensibilidad*: relación entre la variación de la magnitud de salida y la variación de la magnitud de entrada.
- *Resolución*: mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse a la salida.
- *Tiempo de respuesta*: puede ser un tiempo fijo o depender de cuánto varíe la magnitud a medir. Depende de la capacidad del sistema para seguir las variaciones de la magnitud de entrada.

- *Errores:* son otras magnitudes, aparte de la medida como magnitud de entrada, que influyen en la variable de salida. Por ejemplo, pueden ser condiciones ambientales, como la humedad, la temperatura u otras como el envejecimiento (oxidación, desgaste) del sensor.
- *Precisión:* error esperado al repetir varias veces la misma medida.

3.3.2 Sensor de presión

El sensor de presión debe cumplir con los requisitos que se han planteado en el proyecto de llevar la presión de confinamiento hasta 6.9 Bar (100 psi).

Se realiza la selección de los sensores de presión basada en los siguientes requisitos:

1. Presión máxima de confinamiento : 6.9 Bar (100 psi)
2. Fluido de confinamiento: glicerina y aire.

Para cumplir con dichas especificaciones se ha seleccionado un sensor del fabricante SIEMENS referencia SITRANS P Z (ver figura XX), con las siguientes características.

Los transmisores de presión relativa de la serie Z permiten medir la presión de gases, líquidos y vapores corrosivos y no corrosivos. La célula de medida dispone de compensación de temperatura.

Tabla 3. Características del sensor de presión (tomado de catalogo de sensores de presión de SIEMENS)

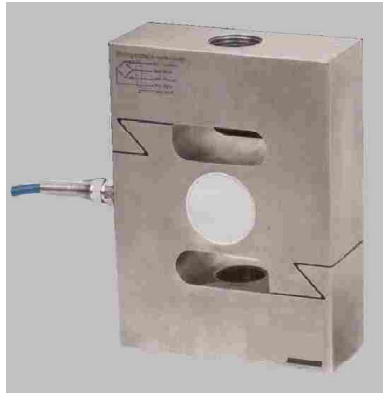
Datos técnicos	
Transmisores de presión SITRANS P, serie Z para presión relativa	
Funcionamiento	
Principio de medida	galga extensométrica de película fina
Entrada	
Magnitud de medida	Presión relativa
Rango de medida	0 ... 16 bar g (0 ... 232 psi g) o 0 ... 25 bar g (0 ... 363 psi g)
Salida	
Señal de salida de corriente	4 ... 20 mA
Precisión de medida	
según EN 60770-1	
Desviación de medida (a 25 °C ó 77 °F, desviación de característica, histéresis y repetibilidad incluidas)	0,5% del fondo, típico
Tiempo de ajuste T ₉₉	< 0,1 s
Deriva a largo plazo	
• Inicio de medida	0,3% del fondo/año, típico
• Alcance de medida	0,3% del fondo/año, típico
Influencia de la temperatura ambiente	
• Inicio de medida	0,3%/10 K del valor de fin de escala, característico
• Alcance de medida	0,3%/10 K del valor de fin de escala, característico
Condiciones de aplicación	
Condiciones del fluido a medir	
• Temperatura del fluido a medir	-30 ... +120 °C (-22 ... +248 °F)
Clase de protección EN 60529	IP65
Condiciones ambiente	
• Temperatura ambiente	-25 ... +85 °C (-13 ... +185 °F)
• Temperatura de almacenamiento	-50 ... +100 °C (-58 ... +212 °F)

3.3.3 Sensor de carga

El elemento deformable tipo S es un caso particular de las geometrías del tipo ranura agujero circular. Cuando este elemento es sometido a cargas en direcciones X e Y, presenta dos zonas de alta deformación perfectamente definidas cuando se miden estas deformaciones se puede conocer la fuerza que se le ha aplicado. Después de revisar la amplia gama de celdas de carga y transductores de fuerza que se encuentran en el mercado se ha decidido por una celda de carga tipo S marca LEXUS pues sus características técnicas y valor se adaptan a las necesidades del proyecto, teniendo en

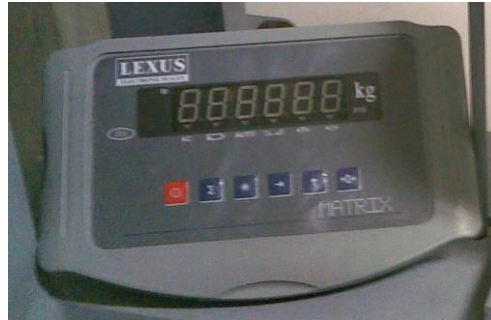
cuenta que cumple con la capacidad máxima de carga, resolución, sensibilidad y tipo de salida (ver figura13).

Figura13. Celda de carga tipo S (tomado de catalogo de LEXUS)



Por el tipo de salida que entrega esta celda de carga es necesario realizar un tratamiento de señal y para ello también se realizó la selección de un amplificador de señal (puente wheaston) tipo RM4220, es un amplificador que cumple la función de acondicionar la señal que entrega la celda de carga y la convierte en una señal admisible para el computador enviándola por el puerto serial RS 232. Además el indicador de solo peso (acondicionador de la señal de la celda de carga), permite la visualización más clara del peso registrado por la celda de carga, dichos indicadores son utilizados comúnmente en equipos similares (ver figura 14).

Figura 14. Indicador de solo peso LEXUS, fuente del autor.



3.3.4 Sensor de velocidad

Para tomar la medida de velocidad de descenso del tornillo de potencia que aplica la carga a la probeta, se ha decidido seleccionar un variador de frecuencias que permita el control y a su vez la medición de dicha velocidad. El variador de frecuencias seleccionado es del fabricante SIEMENS y su referencia es Micro-Master 420 (ver figura 15).

Figura 15. Variador de frecuencia Micro-Master 420(tomado de manual de instrucciones de MM420 SIEMENS)



La función del variador de frecuencia es cambiar la frecuencia de la corriente de entrada al motor y así cambiar la velocidad del mismo, esto se realiza de manera controlada a través de la salida análoga del variador que permite medir conocer la velocidad del motor con una regla de tres:

$$30rpm \rightarrow 60Hz$$

$$0rpm \rightarrow 0Hz$$

30 rpm es la salida del motor después de la reducción y teóricamente es la velocidad del motor a una frecuencia de 60Hz, después de esto se calcula la velocidad del tornillo de potencia dependiendo de las rpm del motor, de la transmisión de cadena, de la transmisión de engranajes cónicos y del paso del tornillo. Para finalmente programar el variador de manera cumpla con la velocidad de aplicación de carga en la prueba que es de 0,5 a 12,5 mm/min. La programación del variador y su posterior montaje se describe en el capítulo 5 de este libro de proyecto de grado.

El variador seleccionado para la aplicación que se exige en el equipo ofrece varias opciones, como:

- Entradas análogas para entrar orden del sistema de adquisición.
- Salida análoga para el control de la velocidad.
- Baja velocidad rango entre (0,5 a 12,5 mm/min).
- Potencia compatible con el motor de la aplicación.

3.3.5 Sensor de deformación

El sensor de deformación de medir con una resolución de 0,01mm. Para cumplir tal objetivo se ha decidido seleccionar un comparador de caratula de mar MITUTOYO con salida serial RS 232 o tipo USB hacia el computador.

3.4 Selección de los actuadores.

3.4.1 Principios de funcionamiento de una electroválvula

Las electroválvulas son elementos que se componen de un cuerpo de válvula encargado de realizar la acción de comunicar una sección o línea y un solenoide encargado de traducir una señal eléctrica en movimiento del carrete que comunica las líneas.

Una definición clásica de electroválvula es: “Una *electroválvula* es un dispositivo diseñado para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto como puede ser una tubería”³.

Las electroválvulas pueden ser de dos tipos desde el punto de vista de no excitación, es decir, cuando no hay señal eléctrica, pueden ser normalmente abiertas (NO) o normalmente cerradas (NC), además se diseñan de manera que un resorte las posiciona en su condición normal.

Hay electroválvulas que en lugar de abrir y cerrar lo que hacen es conmutar la entrada entre dos salidas a estas se les denomina electroválvulas de varias vías y varias posiciones, y son utilizadas para comunicar diferentes secciones de un circuito hidráulico o para accionar cilindros.

En otro tipo de electroválvula el solenoide no controla la válvula directamente sino que el solenoide controla una válvula piloto secundaria y la energía para la actuación de la válvula principal la suministra la presión del propio fluido, este tipo de electroválvulas se utilizan para controlar líneas de alta potencia (alto caudal y/o alta presión).

- **Requisitos de selección de las electroválvulas**

Las electroválvulas se seleccionaron bajo algunos parámetros de diseño pre-establecidos por las necesidades del equipo para pruebas triaxiales:

- Caudal de 1 gpm.
- Presión máxima de 150 psi.
- Fluido de confinamiento (agua, aire, aceite mineral o glicerina).
- Solenoide de 24VDC.
- Rosca de tipo ¼”.

Teniendo en cuenta dichos requerimientos la referencia de electroválvulas seleccionadas es EV310B 1.5-3.5BNC de la marca Danfoss (ver figura 16).

³ <http://es.wikipedia.org/wiki/Electroválvula>

Figura 16. Electrovalvula seleccionada (tomado del catalogo de Danfoss).



La ubicación de las electroválvulas se encuentra especificada en el circuito hidráulico diseñado para el equipo (ver capítulo 2).

- **Características de las electroválvulas Danfoss.**

La EV310B abarca una gran variedad de válvulas de solenoide de 3/2 vías de activación directa para uso universal.

La EV310B es un programa de válvulas realmente robustas y de alto rendimiento que pueden utilizarse en todo tipo de condiciones de trabajo adversas.

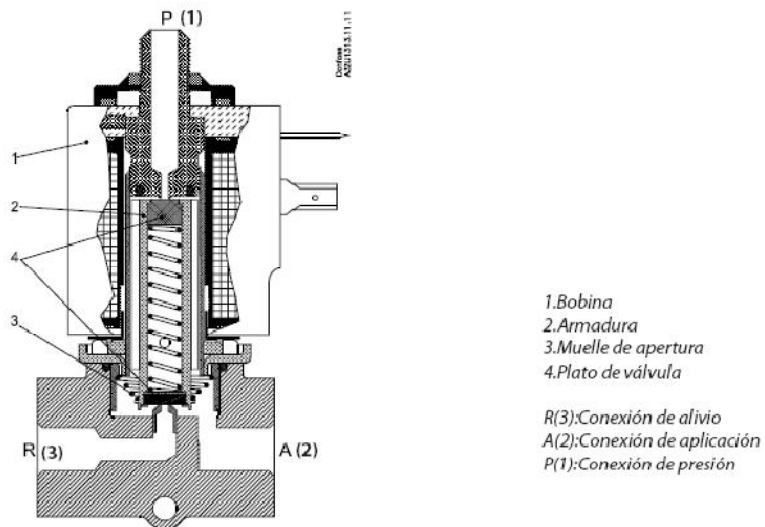
Las bobinas de tipo clip-on no pueden utilizarse en el programa EV310B.

- 3/2 vías
- Accionamiento directo
- DN 1,5 – DN 3,5
- Cuerpo de la válvula de latón
- Conexiones de rosca (G 1/8 a G 3/8 pulgadas) o con bridas (32x32 mm)

- Versiones NC (normalmente cerrado) y NO (normalmente abierto)
- Versiones con apertura manual⁴
- Válvulas muy robustas para aplicaciones industriales, como control
- Para agua, aceite, aire comprimido y fluidos neutros similares
- Valor Kv hasta 0.40 m³/h
- Presión diferencial: Hasta 20 bar
- Viscosidad: Hasta 50 cSt
- Temperatura ambiente: Hasta +40°C
- Protección de la bobina: Hasta IP 65
- Conexiones: G 1/8, G 1/4 y G 3/8

Los puertos de conexión se encuentran especificados en la figura 17.

Figura 17. conexiones de la electroválvula (tomado de catalogo de Danfoss).



⁴http://www.danfoss.com/Spain/Products/Categories/Categories.htm?segment=IP&category=http://es.ic.danfoss.com/ra/Products/ProductCatalogue.asp%3fNavigation%3dHideOnAllPages%26Footer%3dHideonallpages%26Division%3dIC%26HL%3d3%26HLID%3d4%26AppID%3d{58f566e7-d07f-4f8c-a8a1-1a1ea67a5617}%26dyn_lang%3dES

3.4.2 Selección del sistema de adquisición de datos (DAQ)

El DAQ hardware actúa como interfaz entre el computador y el mundo exterior. Funciona principalmente como un dispositivo que digitaliza las señales analógicas de modo que el ordenador puede interpretarlas.

- **Parámetros de selección del DAQ**

Teniendo en cuenta el estudio que se ha realizado en el equipo para pruebas triaxiales Soiltest T 500 A, se necesitan recibir y controlar señales de los siguientes elementos:

- tres sensores de presión.
- Una salida análoga del variador de frecuencia.
- cinco electro-.válvulas.
- tres entradas digitales del variador de frecuencia (cambio de velocidades).

Algunos son señales de salida y otros son señales de entrada, recopilando las necesidades se tendrían:

- 8 entradas análogas (sensores de presión y variador de frecuencia)
- 8 salidas digitales (5 electro válvula, variador de frecuencia).

La celda de carga y el comparador de caratula no se incluyen en estas señales pues ellos van conectados directamente al computador por el puerto RS 232 y vía USB respectivamente.

Teniendo en cuenta los parámetros de selección del DAQ para el equipo Soiltest T500A, se ha elegido una tarjeta de adquisición de datos tipo USB referencia NI USB 6212 que cumple con los requisitos.

Las características de la tarjeta de adquisición de datos son:

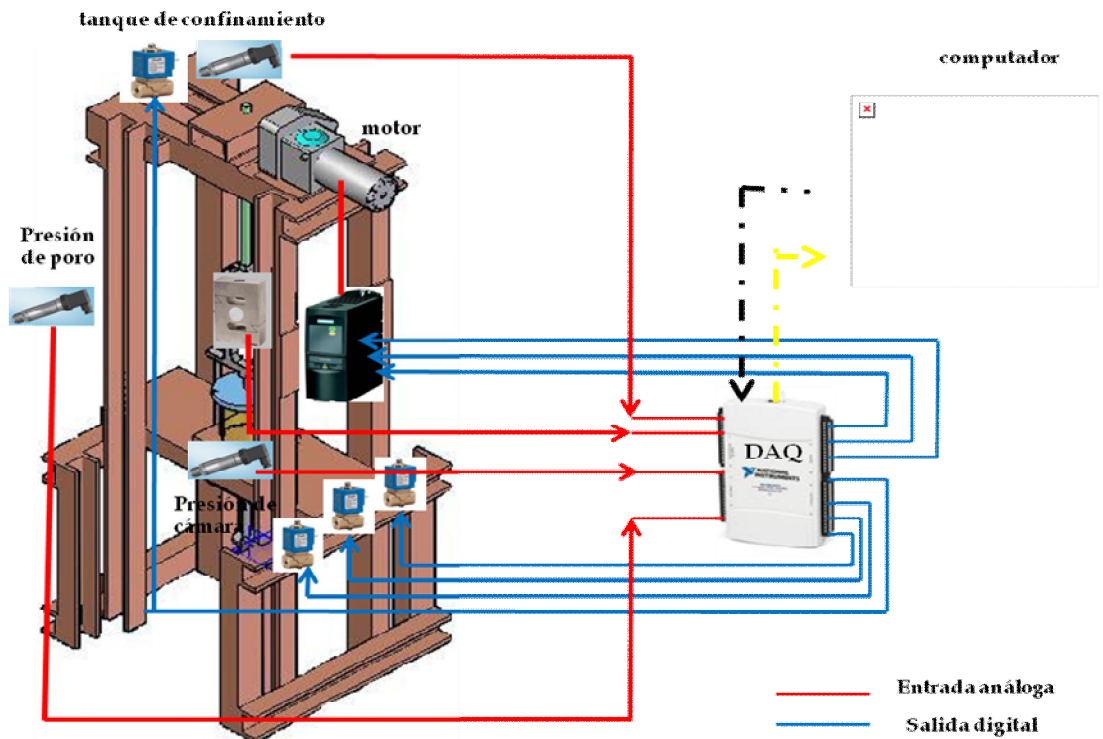
- 16 entradas analógicas (16 bits, 400ks/s).
- 2 salidas analógicas (16 bits, 250ks/s).
- 32 E/S digitales.

- 2 contadores de 32 bits.
- Energizada por bus USB.

Figura 18. Tarjeta de adquisición de datos (tomado de www.ni.com).



Figura 19. Esquema de instrumentación.



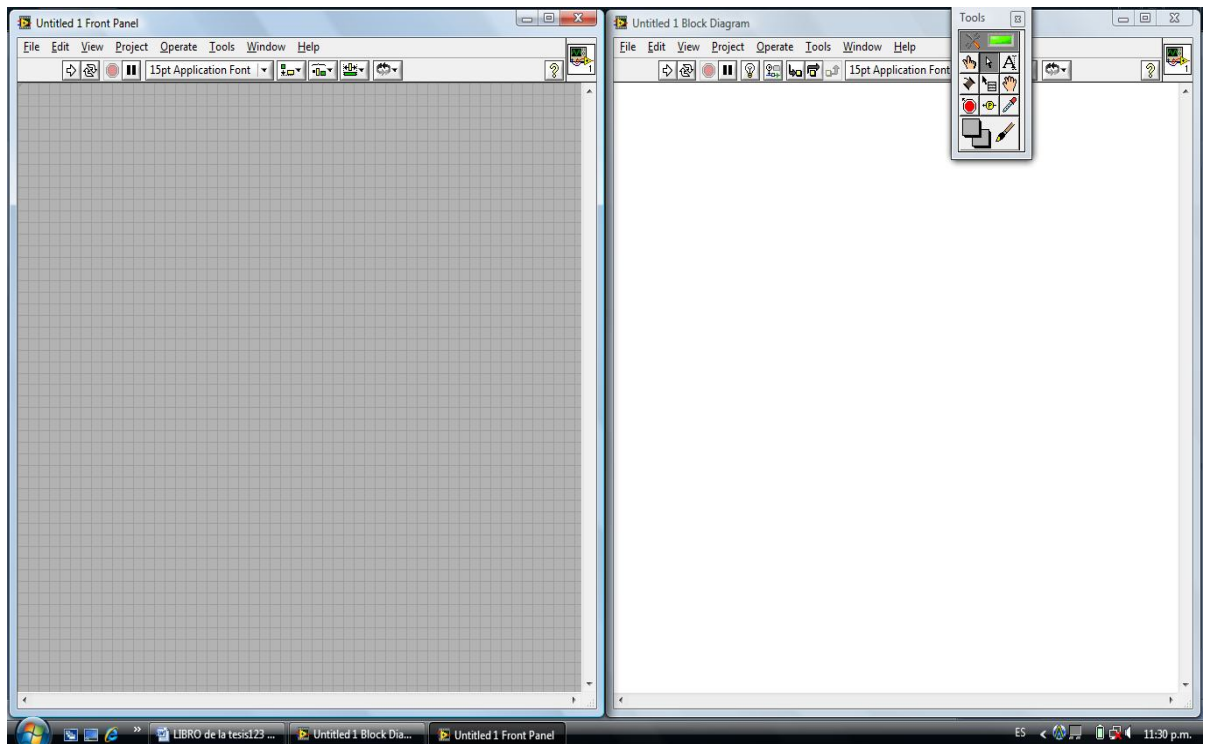
4. DESARROLLO DEL SOFTWARE EN LABVIEW.

4.1 Generalidades LABVIEW.

Labview es un software desarrollado para realizar eventos de control y adquisición.

Labview maneja una programación grafica con conexiones entre sus tareas de tipo hilo; maneja también dos entornos uno denominado panel frontal que es la interfaz grafica con la cual va a interactuar el operario o usuario de un programa desarrollado en este software. El otro entorno que tiene labview es un entorno denominado diagrama de bloque en el cual el diseñador del programa desarrolla la secuencia lógica y los controles de los eventos ya sea de adquisición o de control para cada aplicación.

Figura 20. Panel frontal y diagrama de bloque, tomado de labview.



4.2 Programa de realización de pruebas y adquisición de datos.

Para la aplicación de este proyecto titulado recuperación y automatización de un equipo para ensayos uniaxiales y triaxiales soiltest T 500 A, se desarrolló un software que contiene eventos de control y adquisición de datos, estos eventos se describen a continuación:

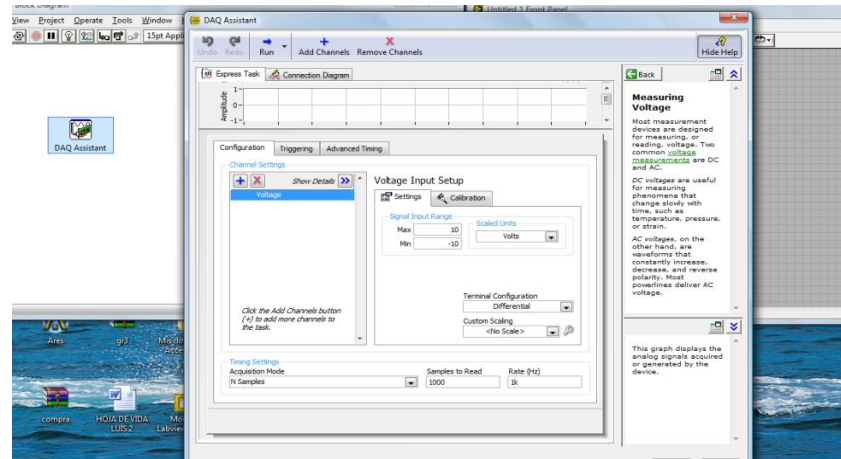
- Adquisición de entradas analógicas correspondientes a las presiones en la línea de aire, presión de poro y presión en la cámara.
- Verificación y revisión de el dato de lectura real de los sensores de presión con el dato que el operario desee que este en el equipo.
- Salidas digitales para activación de electroválvulas y control de presiones en el equipo.
- Salidas digitales según mando del operario para activar tres tipos de velocidades en la prueba.
- Acumulación de datos y muestreo de graficas de las variables de la pruebas.
- Paro de la prueba desde el programa y mando manual o automático según el operario.

Estos son los eventos que desarrolla el equipo para cumplir con uno de los objetivos propuestos en el proyecto de grado y se desarrolló de la siguiente manera:

- En el diagrama de bloque de labview se selecciona un elemento conocido como DAQ assistant este permite adquirir o sacar señales,

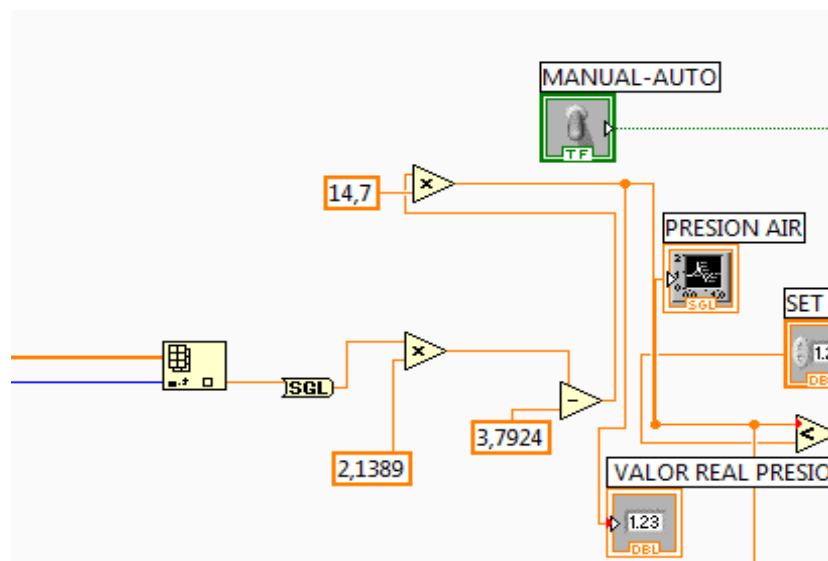
en este proyecto se usa para adquirir inicialmente las señales analógicas que generan los sensores de presión.

Figura 21. DAQ assistant, tomado de labview.



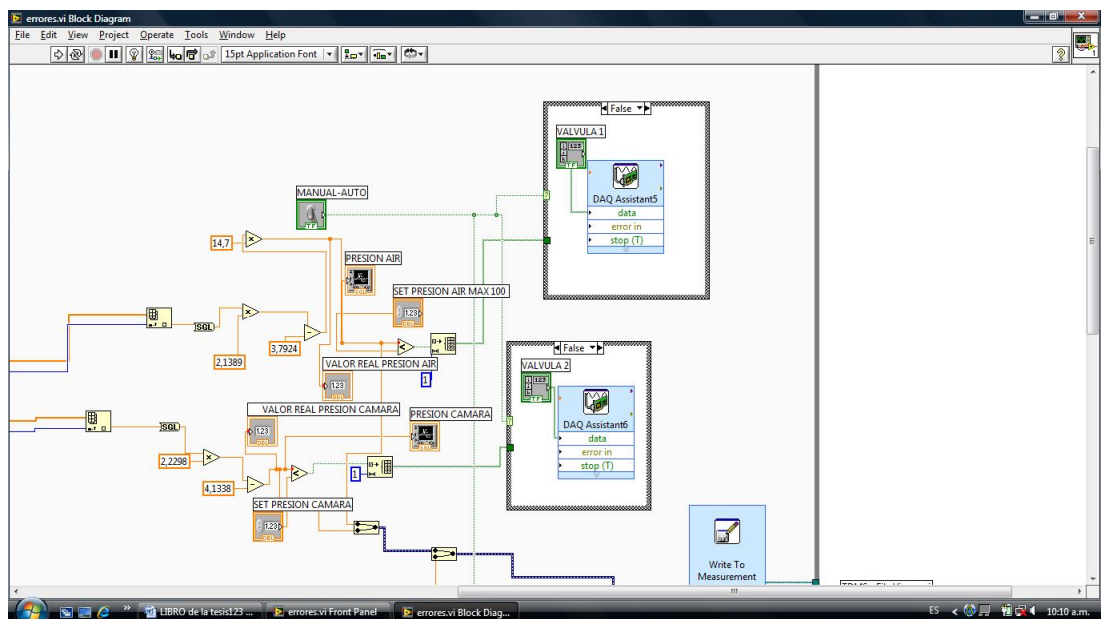
- Posterior a esto se procesan y almacenan estos datos de entradas de voltajes para sacar datos de presión mediante operaciones matemáticas adquiridas de la calibración de los sensores.

Figura 22. Operaciones matemáticas para los sensores y comparación con el valor del operario, tomado de labview.



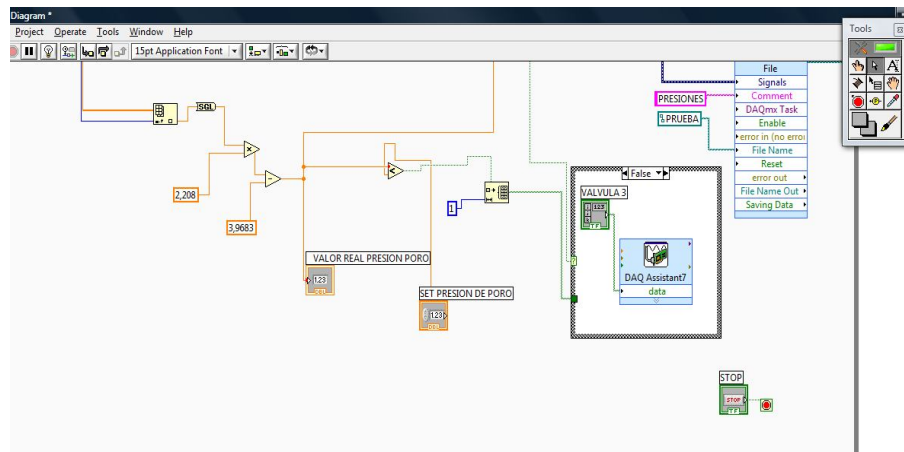
- El dato de presión obtenido se compara con el dato introducido por el operario en el panel frontal.
- Si el dato de presión real resulta mayor al dato de presión que el operario introduce se generará una señal falsa o 0 y no se abrirá ninguna válvula; pero si la presión real es mucho menor que la presión que introdujo el operario se generará una señal de verdadero o 1.
- Con la señal de 1 o 0 se selecciona un DAQ assistant que generará salidas digitales dependiendo de la orden que le llegue 1 o 0.

Figura 23. Salidas digitales, tomada de labview



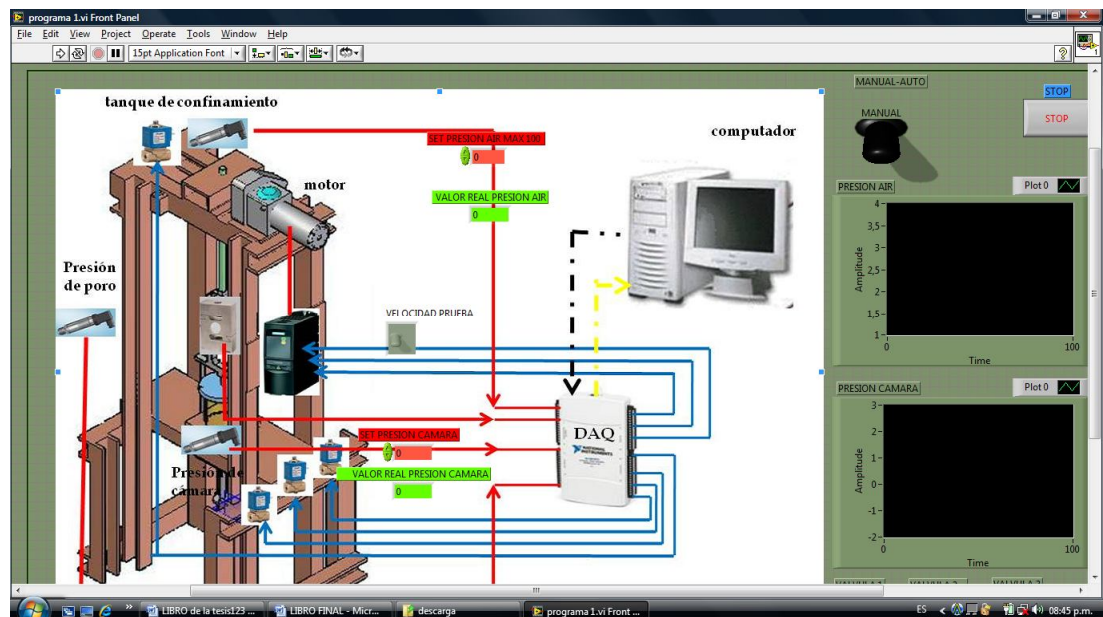
- Para finalizar este conjunto de acciones finalmente se introducen todos los elementos en un ciclo denominado While Loop, este ciclo produce estas acciones de manera consecutiva hasta que mediante un mando de stop se finaliza la ejecución de estas acciones.

Figura 24. Ciclo While Loop, tomado de labview.



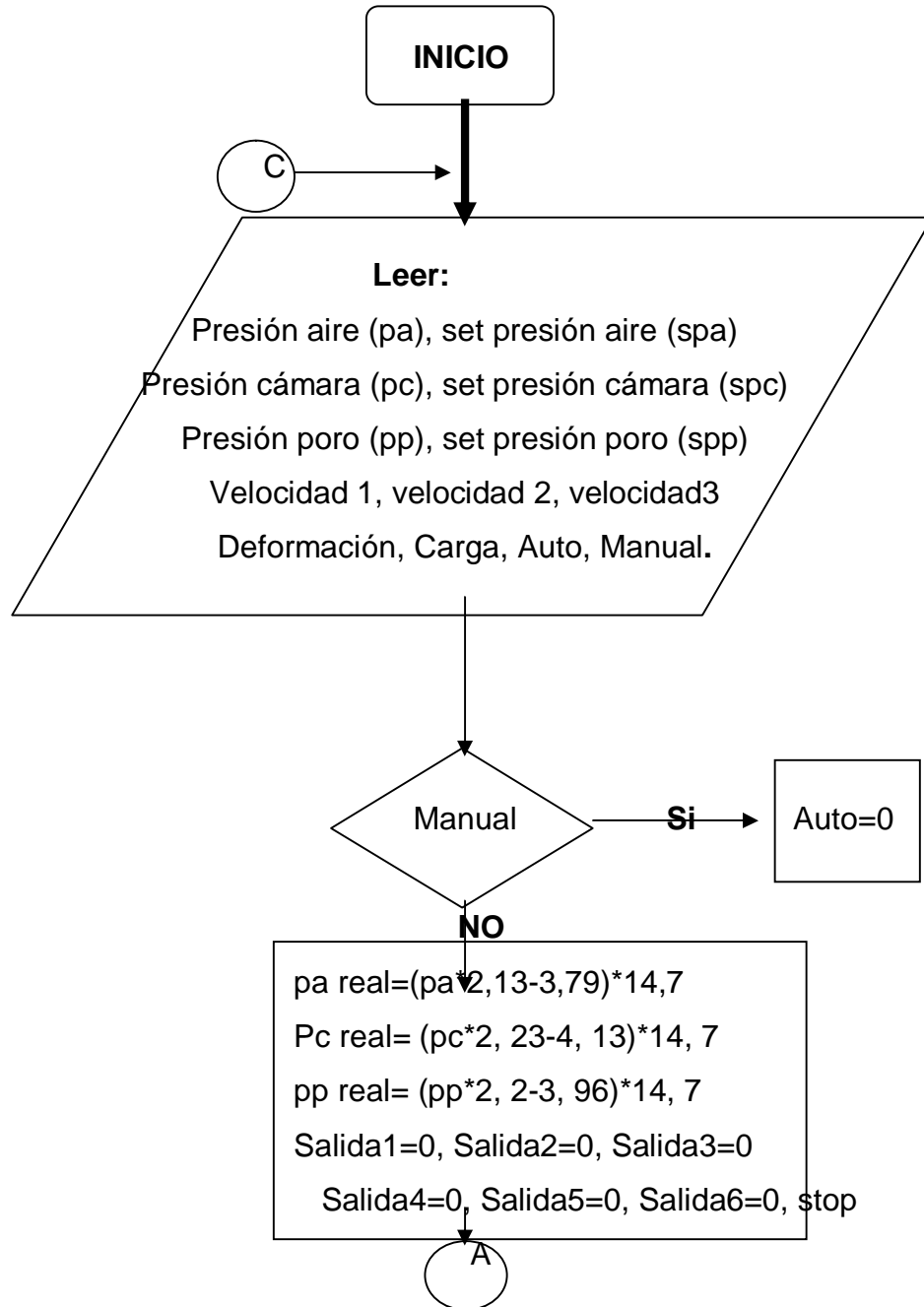
- Para ejecutar tres tipos de velocidades que ofrece el programa en el panel frontal y que selecciona el operario, se utilizan también tres DAQ assitent en el diagrama de bloques unidos a interruptores cuyo mando se encuentra en el panel frontal.

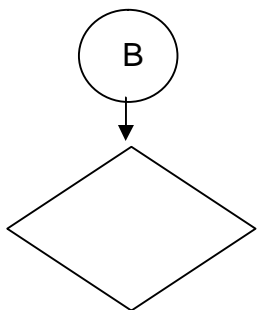
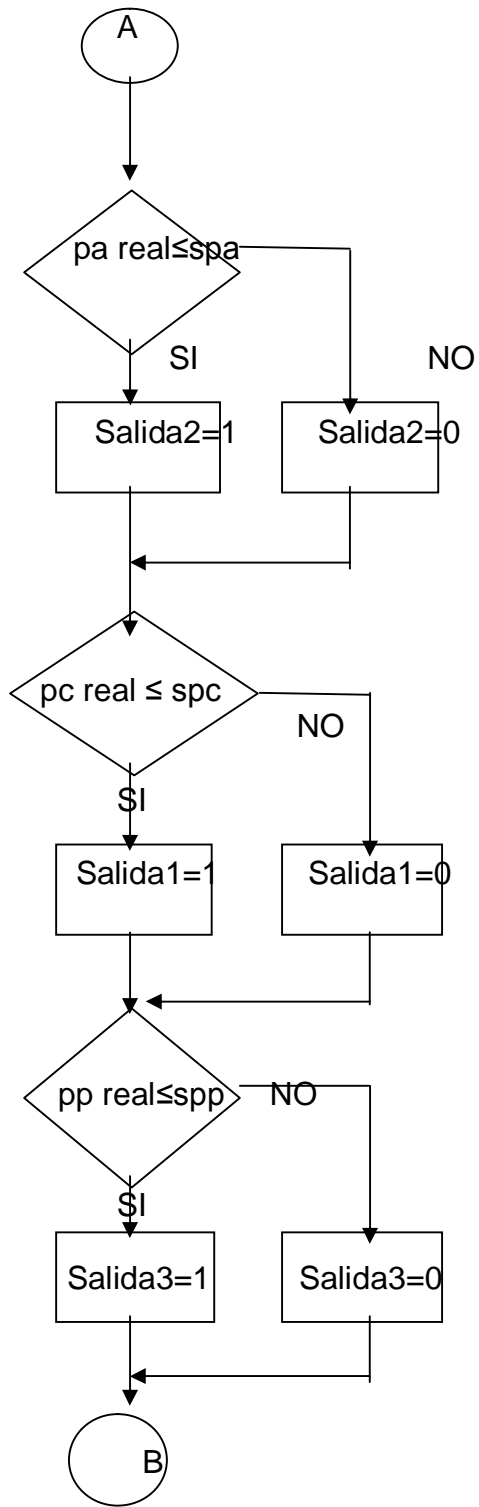
Figura 25. Interfaz del usuario, tomado de labview.

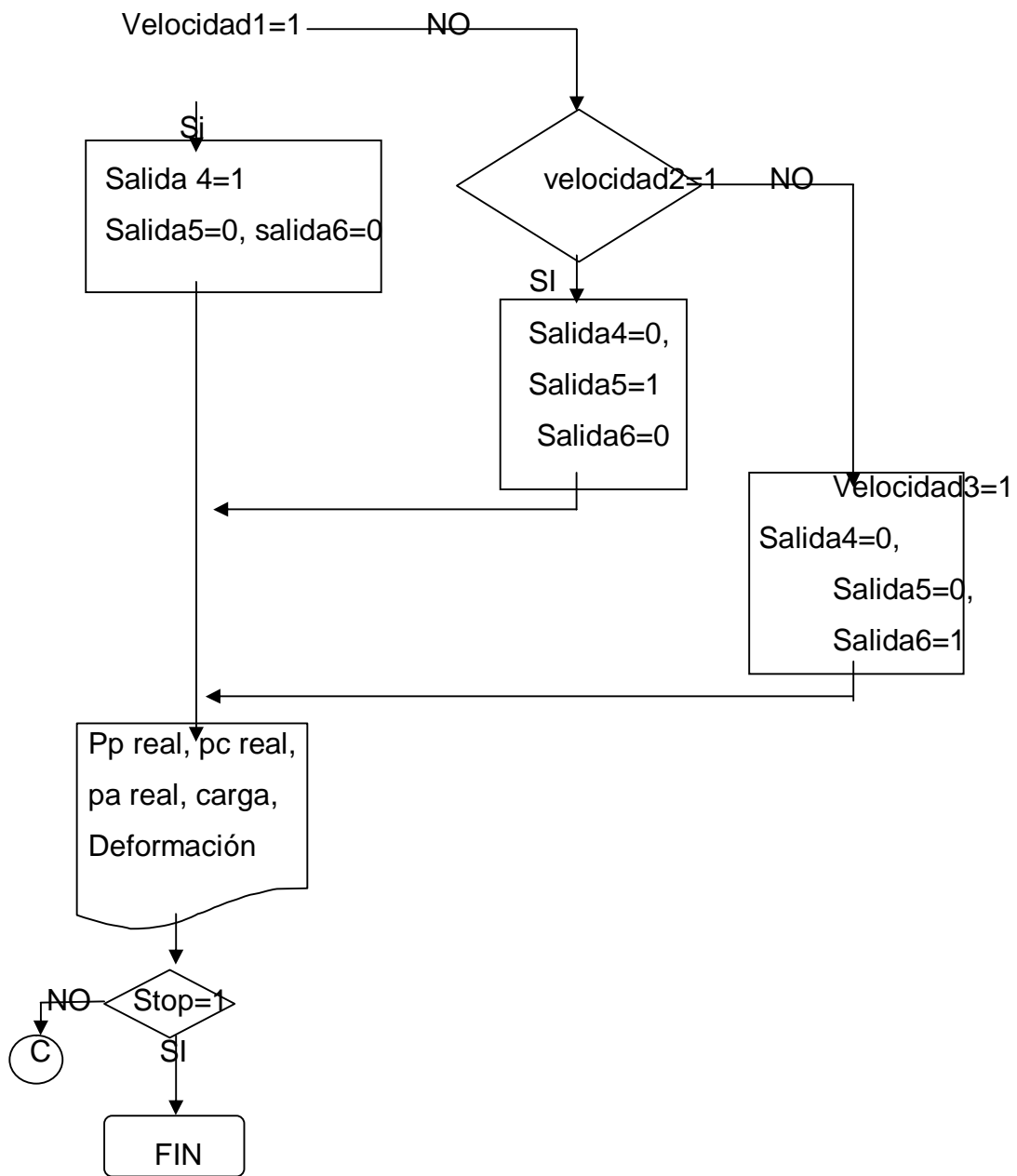


- Se adquieren también datos mediante el puerto serial 232 a una velocidad de adquisición de 4800 baudios mediante la herramienta VISA; estos datos finalmente se almacenan y se muestran en el panel frontal, estos datos corresponden a un comparador de caratula o micrómetro de reloj Mitutoyo con salida directa al computador por puerto serial.
- Otra señal analógica que se adquiere es la correspondiente a la celda de carga, esta señal también se adquiere mediante un DAQ asisitent, pero no requiere evento de control o comparación solo requiere almacenamiento de datos porque así lo exige la prueba.
- Finalmente estos eventos se introducen también en un ciclo While Loop, para ejecutarlos de forma continua.

4.2 DIAGRAMA DE FLUJO.







CAPITULO 5

MONTAJE Y PRUEBAS DE CALIBRACION

5. Generalidades.

Para la consecución de los resultados esperados en el proyecto de grado, se debe realizar el montaje y la prueba de los elementos seleccionados, cumpliendo así los objetivos específicos.

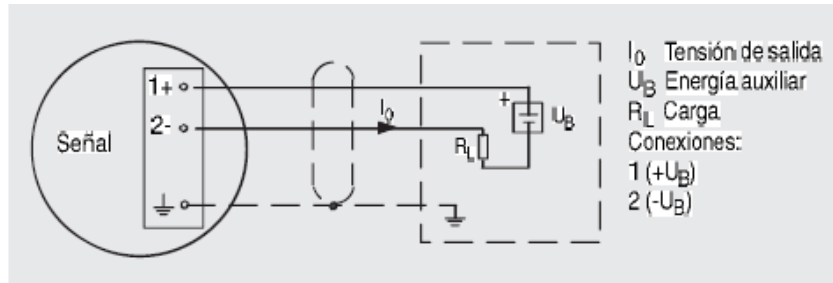
El montaje de los componentes de cada sistema en el equipo para pruebas triaxiales se hace de manera técnica y con las pruebas de calibración respectivas a cada elemento del sistema, por tanto se describirá la forma en la que se realiza cada montaje y las respectivas pruebas de calibración.

5.1 Sensores de presión

Los sensores de presión de referencia Sitrans P de la serie Z, han sido instalados correctamente en el equipo para pruebas triaxiales, la ubicación de estos sensores esta especificada en el circuito hidráulico diseñado para la aplicación. Antes de realizar la instalación de estos componentes se desarrollaron las pruebas de calibración respectivas para cada sensor; estas pruebas de calibración fueron hechas en el laboratorio de mecánica de fluidos de la escuela de ingeniería mecánica, para lo cual, se sigue rigurosamente el procedimiento de la prueba.

1. Realizar la conexión del sensor de presión siguiendo las especificaciones del fabricante (ver figura 26). Este circuito muestra la manera de conectar el sensor de presión para la toma de lecturas, pero en el caso específico del proyecto, se tiene que hacer una adecuación pues los sensores entregan una salida de tipo análoga de 4 a 20mA y la tarjeta de adquisición de datos acepta datos de tipo analógico de 0 a 10V, así que, se debe conectar una resistencia de 500 k Ω en paralelo y tomar la caída de voltaje como la señal del sensor.

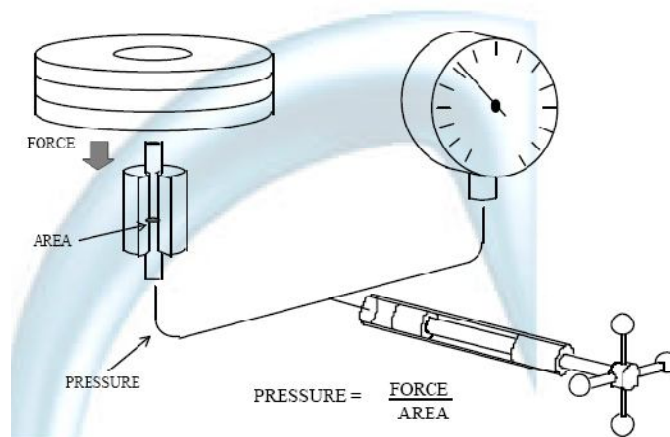
Figura 26. Diagrama de circuito del sensor de presión (tomado de catalogo de sensores de presión de SIEMENS).



Transmisores de presión SITRANS P, serie Z (7MF1562-...), esquema de conexión

- Realizar el montaje hidráulico en el banco de pruebas (ver figura 27), en este montaje se observa que existe una presión inducida por las masas calibradas (es decir que, teóricamente se conoce la presión), dicha presión permite el envío de señales por parte del sensor y de esta forma se construye la curva de calibración.

Figura 27. Montaje hidráulico en el banco de pruebas (tomado de Balanza de pesos muertos, ingeniería y metrología).



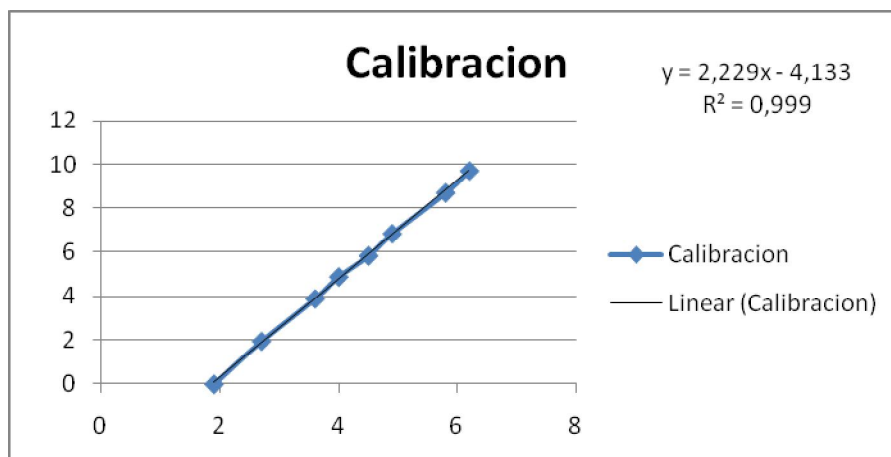
- Se construye la curva de calibración para cada sensor realizando dos repeticiones en cada medida (ver tabla 4), posteriormente, se obtienen las tres ecuaciones de calibración y estas se introducen al software

para la conversión de la medida de voltaje arrojada por el sensor en medida de presión. Las ecuaciones obtenidas en la calibración son :

Tabla 4. Datos de calibración del sensor de presión 1.

<i>Presion (Bar)</i>	<i>Voltaje (V)</i>	<i>Peso (Kg)</i>
PRUEBA 1		
0	1,9	0
1,95	2,7	4
3,9	3,6	8
4,9	4	10
5,85	4,5	12
6,85	4,9	14
8,7	5,8	18
9,7	6,2	20
PRUEBA 2		
0	1,8	0
1,95	2,7	4
3,9	3,6	8
4,9	4	10
5,9	4,5	12
6,8	4,9	14
8,7	5,8	18
9,7	6,2	20

Figura 28. Curva de calibración del sensor de presión 1.



- $y = 2.229x - 4.133$; $R^2 = 0.999$ (No. De inventario 88848) (13)
- $y = 2.208x - 3.968$; $R^2 = 0.999$ (No. De inventario 88847) (14)
- $y = 2.138x - 3.792$; $R^2 = 0.999$ (No. De inventario 88846) (15)

Para reconocer los sensores se utiliza el número de inventario asignado a cada uno. Por otro lado es necesario especificar las condiciones constantes del ensayo de calibración como el área de la balanza que es 2cm^2 y el valor de voltaje de la fuente que es 23.47VDC .

5.2 Variador de frecuencias

El variador de frecuencias de la serie Micromaster 420 se ha instalado de manera correcta en el equipo para pruebas triaxiales Soiltest T 500A, para dicha instalación ha sido necesario realizar la conexión del variador al motor trifásico del equipo y además la instalación de los elementos de arranque del motor, estos elementos son:

- Un interruptor de enclavamiento normalmente abierto.
- Un interruptor de parada de emergencia.
- Un fusible.
- Un contactor de arranque trifásico.

La instalación de los elementos de arranque se muestra en el plano eléctrico (ver figura 29).

Figura 29. Elementos de arranque instalados.



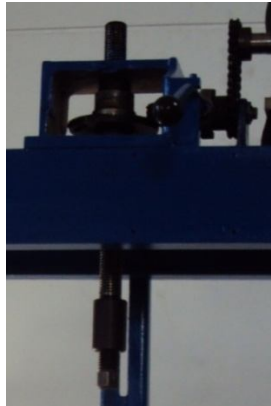
Luego realizar las conexiones del variador al motor y al circuito de arranque se procede a programar el variador para que cumpla con los requisitos de velocidad exigidos por la norma, de tal manera que, se debe programar el variador con tres velocidades esenciales, velocidad de la prueba, velocidad de acercamiento y velocidad de reversa.

Para obtener estas velocidades se debe hacer el cálculo de la velocidad del vástago respecto a la frecuencia del motor.

5.2.1 Cálculo de la velocidad del vástago

Para el cálculo de la velocidad del vástago se debe analizar el sistema de transmisión desde el motor hacia el vástago (ver figura 30).

Figura 30. Sistema de transmisión.



Los elementos que componen el sistema de transmisión son:

- Un reductor de velocidad sin fin-corona (30 rpm)
- Una transmisión por cadena (1:1).
- Una transmisión por engranajes cónicos (4:1).
- Un tornillo de potencia (1/4).

Al analizar el sistema, se observa que, después del reductor se obtienen 30 rpm (esto es a 60Hz), luego de pasar por la transmisión por cadena (1:1) sigue 30 rpm, después de pasar por la transmisión de engranajes cónicos (4:1) se obtienen 7.5 rpm y finalmente, en el tornillo de potencia, se

transforma en velocidad lineal (0.25"/rev) obteniendo 47.625 mm/min. Seguidamente se realiza una regla de tres simple, así:

$$\begin{aligned} 47.63 \text{ mm / min} &\rightarrow 60 \text{ Hz} \\ 7 \text{ mm / min} &\rightarrow X \end{aligned}$$

De esta ecuación se calcula la frecuencia a la que se debe programar el variador para cumplir las velocidades exigidas, de tal manera que en la velocidad de aproximación se elige la más alta, es decir a 60Hz, para la velocidad de prueba, que debe estar en el rango de 12.5mm/min a 0.5mm/min, se elige 7mm/min y esto da una frecuencia de 8.8Hz. Seguidamente se procede a programar el variador según los parámetros y la aplicación.

5.2.2 Programación del variador de frecuencias.

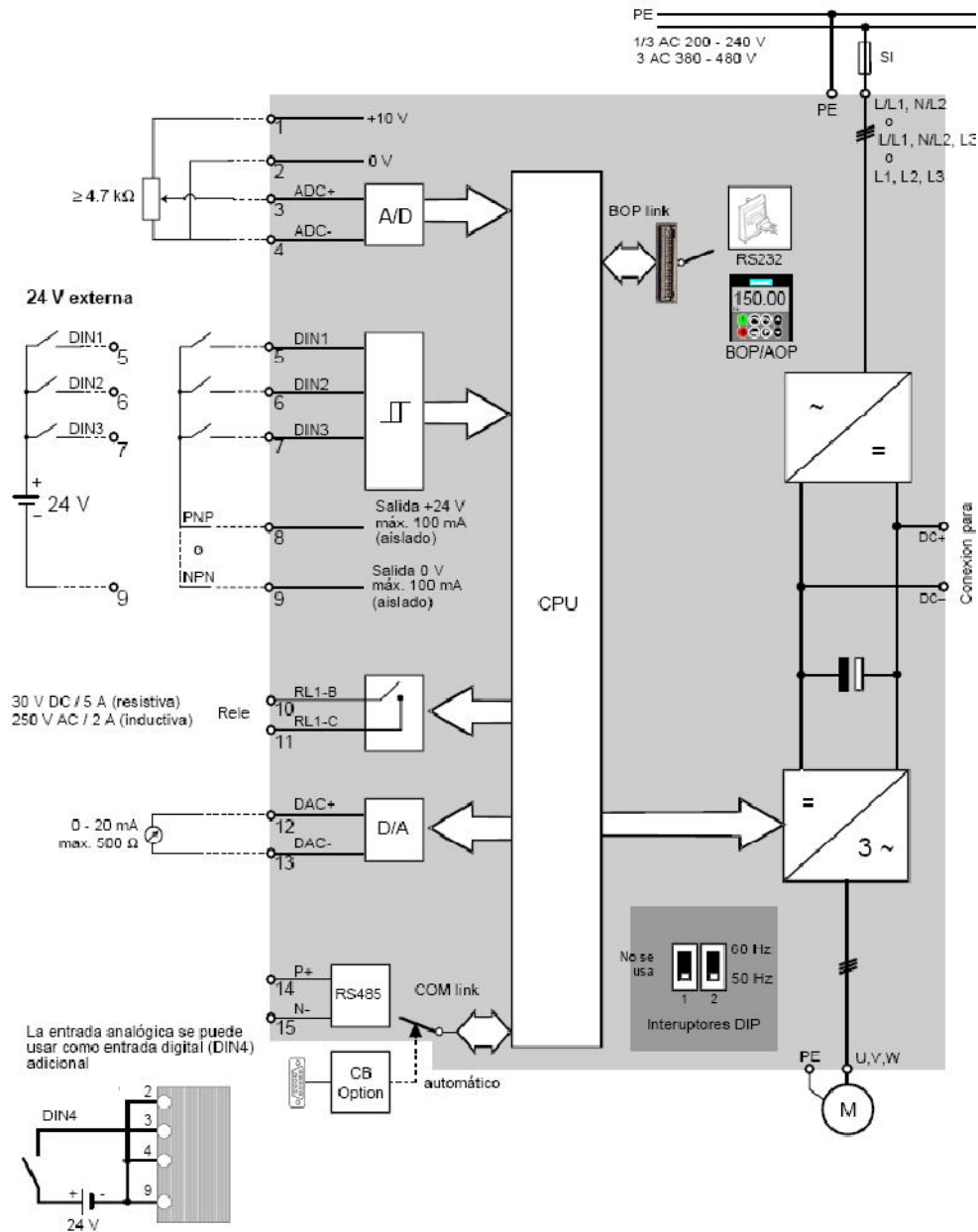
La programación del variador de velocidad Micromaster 420 se puede realizar de manera manual con el indicador BOP o a través del computador instalando el programa drive monitor y con un kit de programación por computador. Para la programación en el equipo Soiltest T500A, se hace de forma manual con el indicador BOP (ver figura 31).

Figura 31. Variador con el indicador BOP instalado.



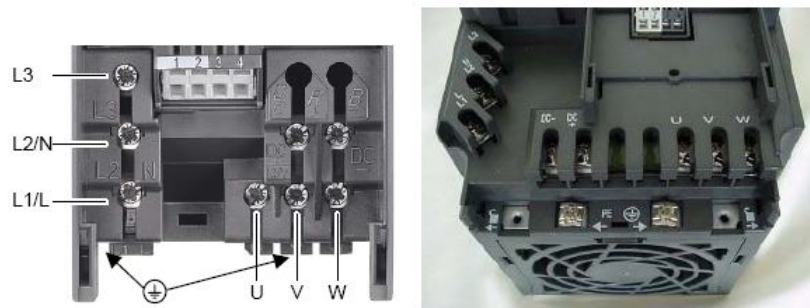
La instalación del variador se lleva a cabo teniendo en cuenta el diagrama de bloques del variador, así (ver figura 32):

Figura 32. Diagrama de bloques del variador (tomado de manual de instrucciones de MM420 SIEMENS)



En primera instancia, se debe conectar el variador teniendo en cuenta la distribución de los bornes para la conexión de las tres fases y hacia el motor, la distribución es como se muestra en la figura 33:

Figura 33. Distribución de los bornes de conexión a la línea trifásica (tomado de manual de instrucciones de MM420 SIEMENS)

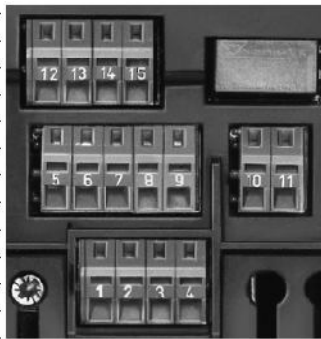


Según la figura las líneas L1, L2 y L3 van a la conexión trifásica y U, V y W van al motor.

Después de realizar la conexión de del variador a la línea principal y al motor se deben conocer los bornes de control para conectarlos de manera correcta a la unidad electrónica de control diseñada para manejar las velocidades desde el computador, dicha unidad será descrita más adelante. Los bornes de control del variador se describen en la figura 34, así:

Figura 34. Conexiones de bornes de control (tomado de manual de instrucciones de MM420 SIEMENS).

Borne	Significado	Funciones
1	-	Entrada +10 V
2	-	Entrada 0 V
3	ADC+	Entrada analógica (+)
4	ADC-	Entrada analógica (-)
5 DIN1		Entrada digital 1
6 DIN2		Entrada digital 2
7 DIN3		Entrada digital 3
8	-	Salida aislada +24 V / máx. 100 mA
9	-	Salida aislada 0 V / máx. 100 mA
10	RL1-B	Salida digital / contacto de trabajo
11	RL1-C	Salida digital / conmutador
12	DAC+	Salida analógica (+)
13	DAC-	Salida analógica (-)
14 P+		Conexión RS485
15 N-		Conexión RS485



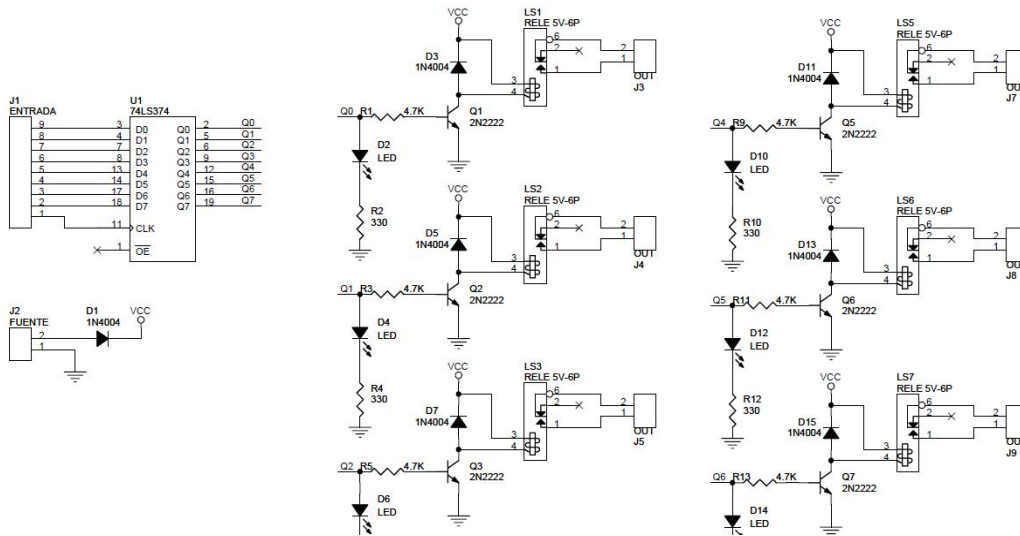
a) Unidad electrónica de control de los relés

La unidad electrónica de control de los relés es diseñada para controlar, a través de las salidas digitales de la tarjeta, las 4 electroválvulas del circuito hidráulico y las tres velocidades del variador, esta unidad es creada para permitirle a la tarjeta de adquisición de datos controlar la apertura o cierre de 7 relés sin que ella deba suministrar la corriente, así se protege a la tarjeta de sobrecargas y se permite la acción e todos los relés al mismo tiempo si es necesario. Para el diseño y la construcción de la tarjeta se ha tenido en cuenta el diseño proporcionado por el Profesor Carlos Borrás en uno de sus libros, así que los componentes esenciales del circuito son:

- Una placa de baquelita para la construcción del circuito.
- 7 transistores 222 NPN.
- 7 resistencias de 470K Ω .
- 7 leds de 5VDC.
- 7 relés de 5VDC.
- Un operacional 74ls374
- 1 diodo de 0.01 μ f.
- Una fuente de voltaje de 5VDC.

La siguiente figura muestra el plano del circuito electrónico:

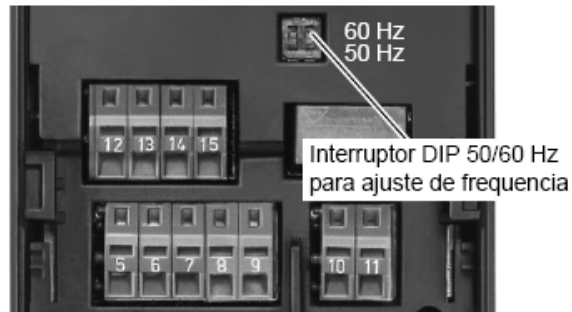
Figura 35. Plano del circuito electrónico.



Finalmente, se procede a realizar la programación del variador a través del BOP, siguiendo los pasos:

1. Se Reinicia el variador poniendo los parámetros P0010=30 y P0970=1.
2. Se selecciona el parámetro P0003 y se elige la opción 3, esto se hace para que aparezca la lista de parámetros completa en el BOP.
3. Se selecciona el parámetro P0010 y se elige la opción 1 que es programación Básica y esto ocasiona que el variador no se mueva hasta recibir una orden.
4. Se selecciona el parámetro P0100 y se elige la opción 2 que indica la zona en donde se está operando el variador con el propósito de usar las unidades correctas y conocer la frecuencia de la línea, para este caso es Norteamérica (potencia en KW y frecuencia 60Hz), además se debe bajar el switch 1 y subir el switch 2 (ver figura 36).

Figura 36. Interruptores de ajuste de zona (tomado de manual de instrucciones de MM420 SIEMENS).



5. El siguiente paso permite al variador conocer las características fundamentales del motor que va a controlar, para ello se seleccionan los parámetros P0304 al P0311 y allí se incluyen los datos de placa del motor (cuando se nombran los datos de placa se refiere a los datos nominales del motor como potencia, frecuencia nominal, corriente nominal, coseno phi, tensión nominal y velocidad nominal).
6. Se selecciona el parámetro P0335 y se elige la opción 0, esta es la refrigeración del motor que es autoventilado.
7. Se selecciona el parámetro P0700 y se elige la opción 2, este es el tipo de órdenes que va a recibir el variador.
8. En los parámetros P0701 y P0702 se selecciona la opción 16 y en el parámetro P0703 la opción 12, estos parámetros indican la función de la entrada digital y se escoge que ella de una frecuencia fija y arranque el motor, para el parámetro P0703 es la opción 12 porque esta indica el cambio de giro, es decir que esta entrada digital controlará la velocidad de reversa.
9. Se selecciona el parámetro P3900 y se elige la opción 3 este es para guardar los cambios.
10. Se selecciona el parámetro P1910 y se elige la opción 1, esto se hace para que el variador reconozca el motor, en ese momento se debe

puentear el borne 5 con el 8 y el variador emite un sonido que indica que se está realizando esta operación.

11. Se selecciona el parámetro P1000 y se elige la opción 3 que es para programar el variador en frecuencia fija.
12. Finalmente se seleccionan los parámetros P1001 al P1003 y se acondicionan a las frecuencias calculadas para las velocidades, estos parámetros permiten seleccionar la frecuencia de cada entrada digital, es así que, cuando se acciona el borne 5 (se acciona a través de los relés que a su vez son accionados por la unidad electrónica de control de los relés) se permite la frecuencia de 8.8 Hz para obtener una velocidad de 7mm/min, cuando se accionan el borne 5 y 6 se obtiene la frecuencia a 60Hz para una velocidad de 47.63mm/min (el parámetro P1002 se debe acondicionar a 51.2 Hz para que la suma con el parámetro anterior de cómo resultado 60Hz), y cuando se accionan los bornes 5, 6 y 7 se obtiene la frecuencia -60Hz para una velocidad de reversa de 47.63mm/min.
13. Por otro lado se debe seleccionar el parámetro P0771 para acondicionar la salida analógica y los bornes 12 (+) y 13(-) se conectan a la tarjeta de adquisición de datos, de esta manera se mide el valor de la velocidad del motor (esta salida se puede acondicionar de 0-10VDC).

Por último, el manual del variador proporciona una tabla de fallos y alarmas entregados por el variador que son mostrados en la pantalla del BOP (ver tabla 5).

Tabla 5. Tabla de fallos y alarmas del variador (tomado de manual de instrucciones de MM420 SIEMENS).

Fallo	Significado	Alarma	Significado
F0001	Sobrecorriente	A0501	Límite corriente
F0002	Sobretensión	A0502	Límite por sobretensión
F0003	Subtensión	A0503	Límite de mínima tensión
F0004	Sobretemperatura convertidor	A0504	Sobretemperatura del convertidor
F0005	Convertidor I ² T	A0505	I ² T del convertidor
F0011	Sobretemperatura I ² T del motor	A0506	Ciclo de carga del convertidor
F0041	Fallo en la identificación de datos del motor	A0511	1 Sobretemperatura I ² t
F0051	Fallo parámetro EEPROM	A0541	Identificación de datos de motor activo
F0052	Fallo pila de energía	A0600	Aviso RTOS
F0060	Timeout del ASIC	A0700 - A0709	CB alarma
F0070	CB fallo consigna	A0710	Error comunicaciones CB
F0071	USS (enlace-BOP) fallo consigna	A0711	Error configuración CB
F0072	USS (enlace COMM) fallo consigna	A0910	Regulador Vdc-max activo
F0080	pérdida señal de entrada ADC	A0911	Regulador Vdc-max activo
F0085	Fallo Externo	A0920	Los parámetros del ADC no están ajustados adecuadamente
F0101	Desbordamiento de memoria	A0921	1 Los parámetro de DAC no ajustados correctamente
F0221	Realimentación PID por debajo del valor mínimo. valor	A0922	No hay carga aplicada al convertidor
F0222	PID realimentación por encima del máximo. valor	A0923	3 Señales JOG a derechas y JOG a izquierdas activas
F0450	Fallo en test BIST (sólo para modo de servicio técnico)		

5.3 Pruebas de calibración

Las pruebas de calibración se dividen tres grupos, el primer set de pruebas se basa en la medición de las dos variables fundamentales en el equipo que son la deformación y la fuerza aplicada, esta medición se realiza con un equipo patronado como la MTS de ensayos de fatiga y el equipo Soiltest T500A, para ello se utiliza un espécimen de caucho al que se le realiza una prueba en la MTS y luego se realiza la misma prueba en el equipo Soiltest. Luego se realizan cuatro pruebas uniaxiales según la norma, estas pruebas se hacen sobre un suelo del Km 5 vía a Girón y finalmente se realiza una prueba triaxial para evaluar la operatividad de los componentes del sistema hidráulico.

5.3.1 Prueba de calibración en la toma de medidas

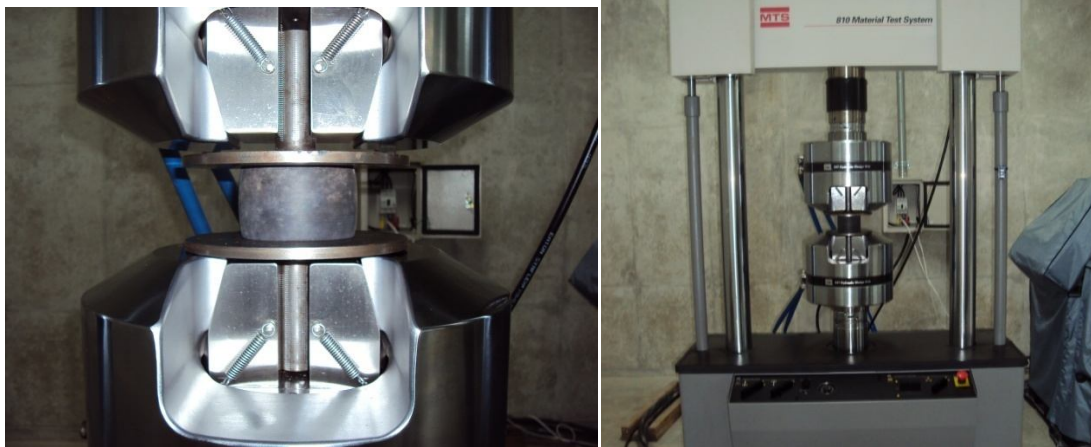
El primer set de pruebas se basa en la medición de las variables de carga y deformación sobre dos probetas de caucho de 7.5cm de diámetro por 6 y 10 cm de alto respectivamente. En primera instancia se realiza la prueba de calibración sobre la celda de carga, en donde se calibra la celda con carga máxima de 5000 Kg, dicha calibración se desarrolla en el equipo de ensayos de fatiga MTS del laboratorio de suelos de la universidad industrial de Santander (ver figura 37).

Figura 37. Calibración de la celda de carga



Posteriormente, se realiza una prueba de medición de deformación y carga aplicada sobre cada uno de los cauchos en el equipo MTS, la carga máxima aplicada sobre los especímenes es de 100 Kg (ver figura 38).

Figura 38. Prueba realizada sobre los cauchos en la MTS.



En la última fase, del primer set de pruebas, se realiza el mismo ensayo con el equipo Soiltest T500A. Para esta sección se efectúan 5 ensayos sobre el caucho de 10 cm de alto y 6 ensayos sobre el caucho de 6cm de alto (ver figura 39).

Figura 39. Pruebas de calibración en el equipo Soiltest.



Las siguientes curvas muestran la comparación de los datos tomados por la MTS y los datos tomados por el equipo Soiltest, para cada uno de los ensayos (ver figura 40 y 41).

Figura 40. Pruebas sobre el espécimen de 10cm de alto.

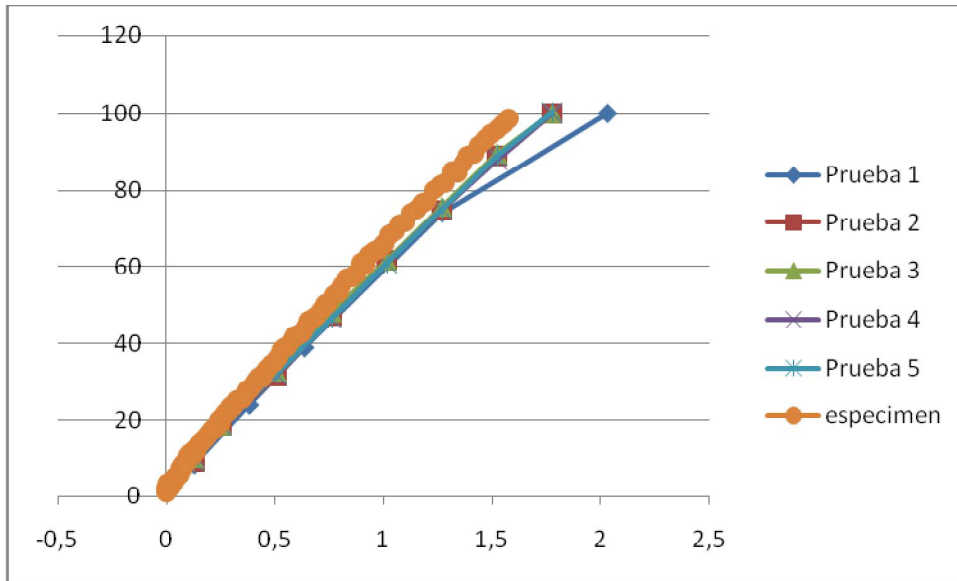
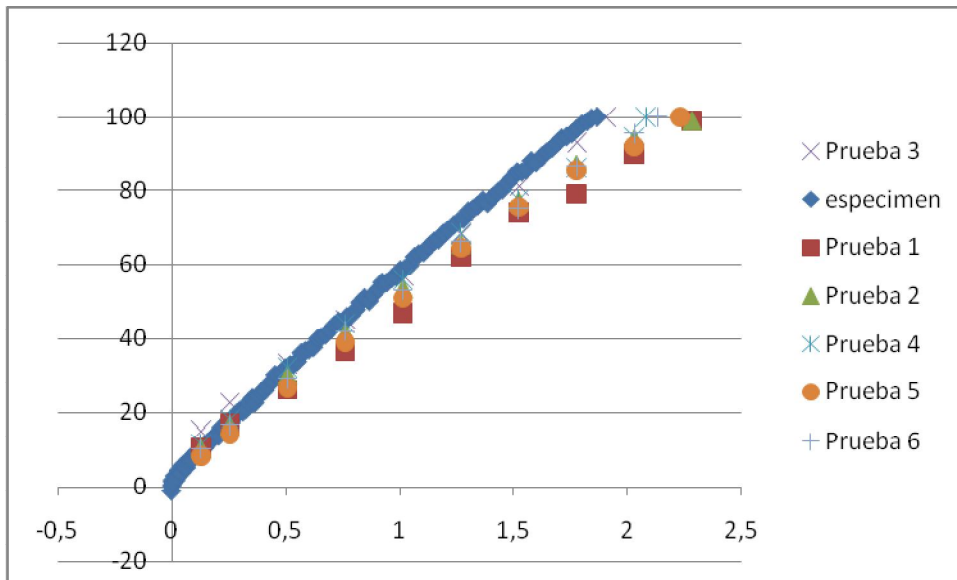


Figura 41. Pruebas sobre el espécimen de 6cm de alto.



5.3.2 Pruebas uniaxiales

A continuación se realizan las pruebas uniaxiales sobre probetas de suelo del kilómetro 5 vía a Girón (ver figura 42), para conformar dichas probetas se debe seguir el procedimiento de preparación de las probetas que se describe a continuación.

Figura 42. Muestras del Km 5 vía a Girón.



a) Preparación de las probetas

En primera instancia, se debe tener a disposición los siguientes elementos para la preparación de las probetas (ver figura 43):

- Un tamiz No. 4.
- Un tamiz No. 12.
- Un mortero de 1.33" de diámetro por 7 cm de alto.
- Un extractor de probetas.
- Un punzón de consolidación.

Figura 43. Elementos para la preparación de muestras.



Además se necesitan, aproximadamente, 150 grs de muestra para cada probeta. En el procedimiento de preparación se siguen los siguientes pasos:

1. Se pasa a través del tamiz No. 4 y No.12 la muestra de suelo (figura 44)

Figura 44. Muestra a través del tamiz.



2. A continuación se adicionan 50 ml de agua a cada 150 grs de muestra y se mezclan hasta lograr la homogeneidad (ver figura45)

Figura 45. Mezcla de agua y muestra de suelo.



3. Posteriormente, se introduce, en el mortero, 50 grs de muestra y se consolida con el punzón, se debe presionar 25 veces, (ver figura 46)

Figura 46. Consolidación de la muestra.



4. Finalmente se extrae la probeta del mortero posicionándola en el extractor de probetas (ver figura 47)

Figura 47. Extractor de probetas.



A continuación, se procede a preparar las probetas necesarias para la realización de los ensayos uniaxiales y triaxiales; para tal efecto se preparan 8 probetas de muestras de suelo (ver figura 48).

Figura 48. Probetas preparadas para el ensayo.



Consecutivamente, se realiza el montaje de la probeta en el equipo y se inicia el ensayo, los datos son registrados por el sistema de adquisición de datos del equipo y se operan los sistemas desde el computador (ver figura 49).

Figura 49. Montaje de la probeta.



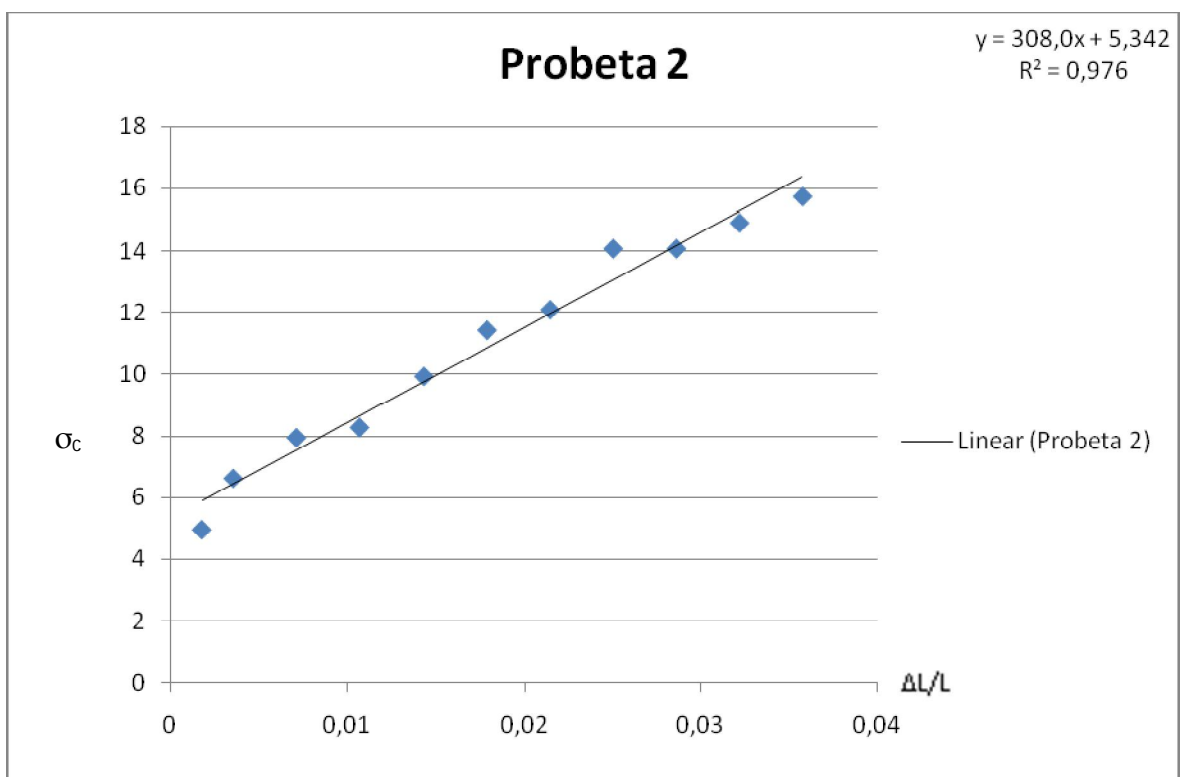
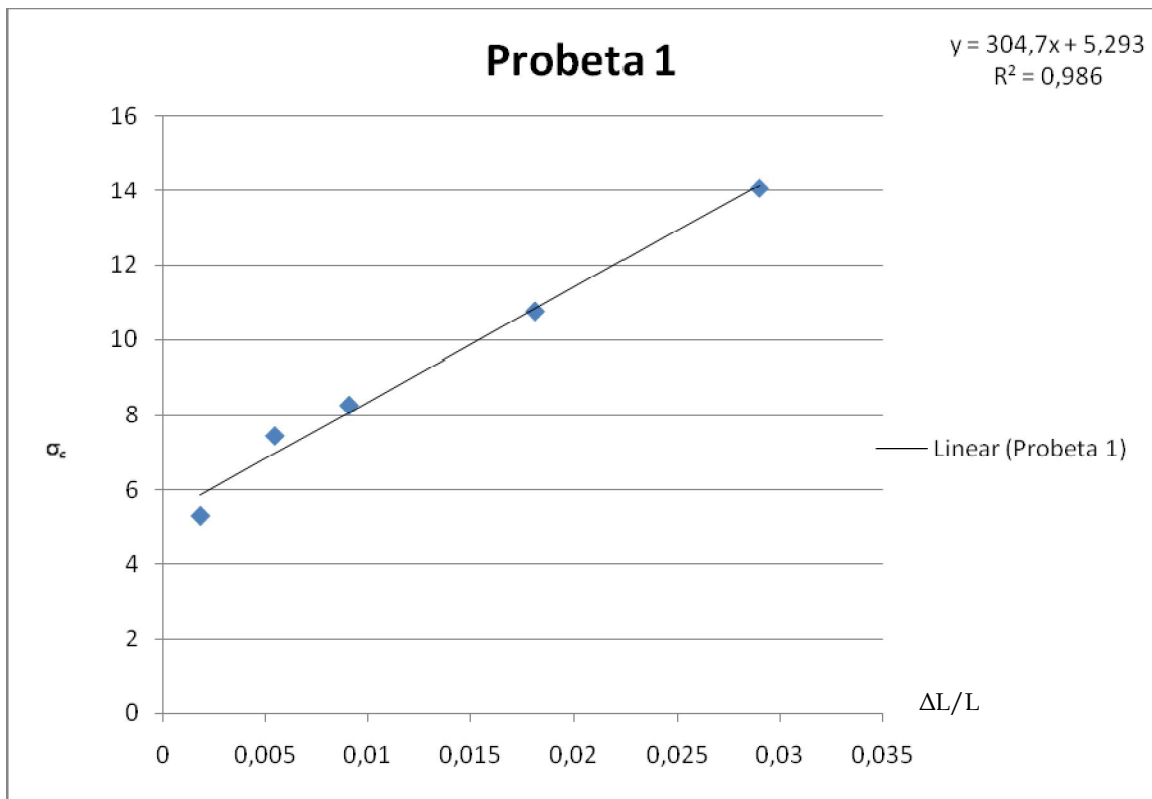
Finalmente se analizan los datos obtenidos en el ensayo y se observa el tipo de falla que presenta la probeta (ver figura 48).

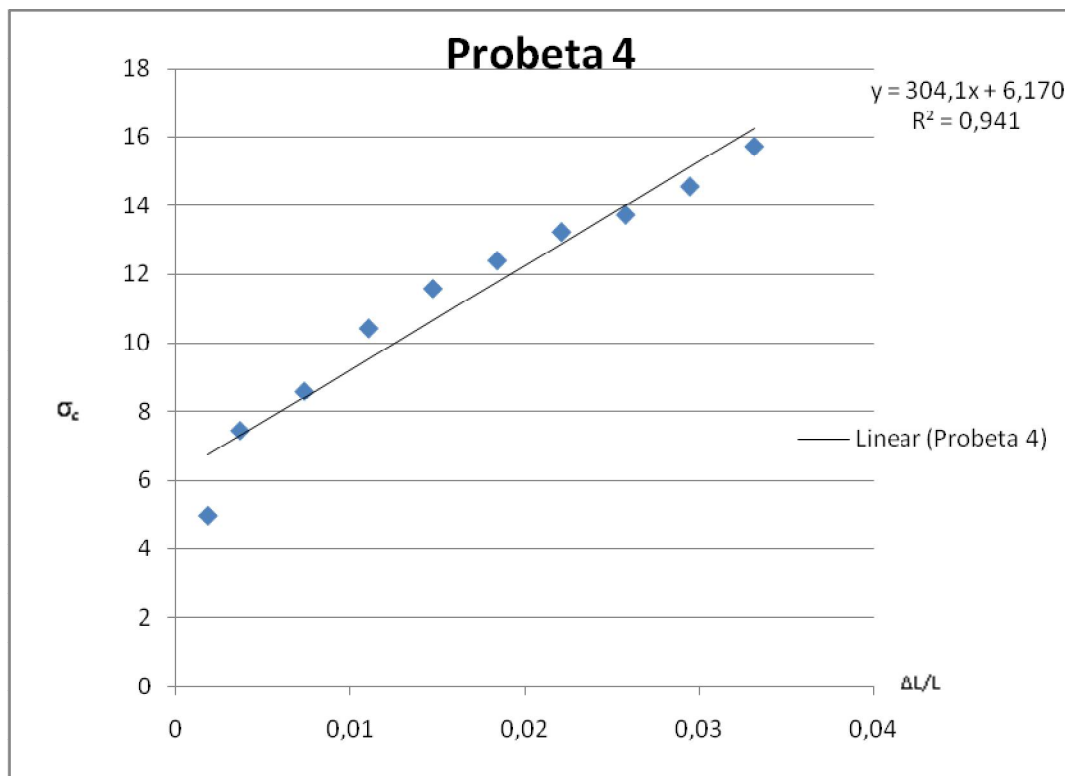
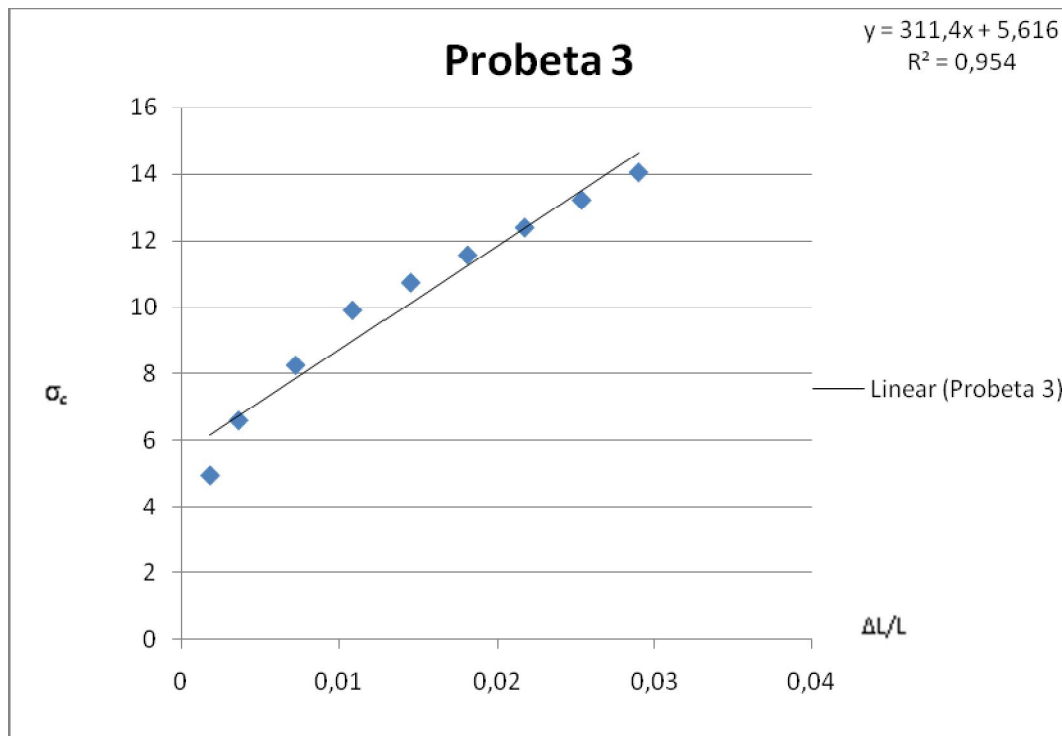
Figura 50. Probetas falladas.



b) Resultados

Los resultados de los ensayos uniaxiales se muestran en las siguientes graficas:





Estos resultados muestran las características de precisión y exactitud del equipo Soiltest pues las pendientes de las rectas son semejantes, teniendo en cuenta que son probetas preparadas con la misma clase de suelo.

5.3.3 Prueba triaxial

En la prueba triaxial desarrollada en el equipo Soiltest, se observa la parte operativa de los sensores de presión y cada uno de los componentes del sistema hidráulico, para ello se hace un ensayo de confinamiento, midiendo la presión del tanque y la presión de la cámara de confinamiento y luego se realiza la medición de deformación y carga sobre la probeta.

En primera instancia, se realiza el llenado de las líneas y el tanque de presión (ver figura 51).

Figura 51. Llenado de las líneas y el tanque de presión.



Luego, se enchaqueta la muestra con un recubrimiento de latex y se realiza el montaje de la misma en la cámara de confinamiento (ver figura 52).

Figura 52. Recubrimiento y montaje de la probeta.



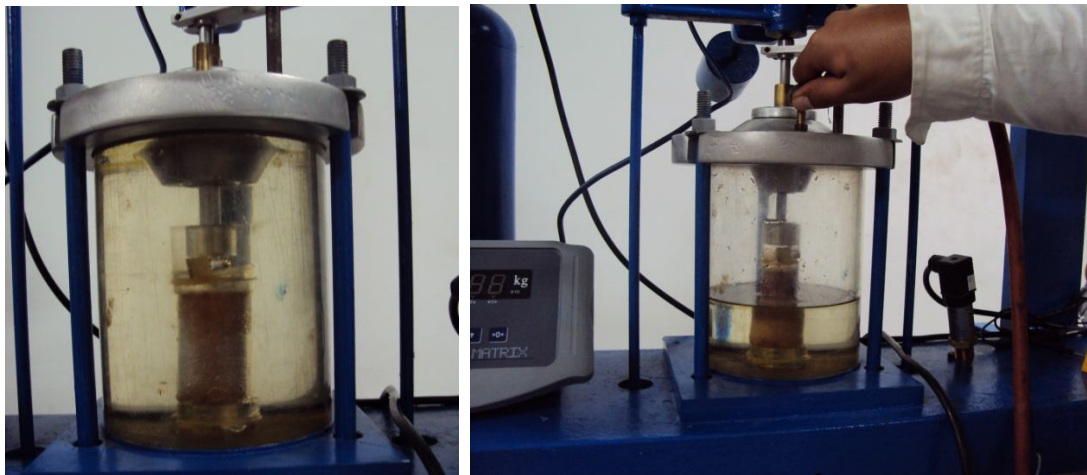
En seguida se monta la cámara de confinamiento y se inicia la presurización de la misma (ver figura 53).

Figura 53. Adecuacion y confinamiento en la camara.



Finalmente se realiza la prueba registrando los datos necesarios y se despresuriza la cámara de confinamiento (ver figura 54).

Figura 54. Finalización del ensayo y despresurización de la cámara.



Finalmente se debe realizar el análisis de los datos registrados por el equipo y su posterior utilización, el análisis y procesamiento de los datos es competencia del operario del equipo, por tanto en esta tesis no se realizan dichos análisis.

CONCLUSIONES

- ✓ Se cumplieron los objetivos propuestos en el proyecto de recuperación y automatización del equipo para pruebas uniaxiales y triaxiales Soiltest T 500 A.
- ✓ Se desarrollaron los montajes de los elementos seleccionados a partir de los diseños eléctrico, electrónico, mecánico e hidráulico de los autores, con resultados satisfactorios.
- ✓ Se recuperó y automatizó el equipo para pruebas uniaxiales y triaxiales Soiltest T 500 A.
- ✓ La instrumentación instalada funciona de manera correcta y cumple con las exigencias de las pruebas a desarrollar en el equipo.
- ✓ A partir de las pruebas de calibración del equipo se puede inferir que los sensores y elementos dispuestos para el control han sido seleccionados de manera correcta, cumpliendo a cabalidad con los requisitos pre-establecidos por la norma de ensayos triaxiales y uniaxiales.
- ✓ Las pruebas uniaxiales han mostrado la precisión que el equipo presenta pues la variación de las pendientes oscilan entre 304,1 y 311,4 (es decir un 2,4% aproximadamente).
- ✓ La realización de la prueba triaxial demuestra que los elementos destinados al control del fluido de confinamiento son los adecuados.
- ✓ La calibración de los sensores de presión y celda de carga permiten mejorar la confiabilidad, precisión y exactitud del equipo.

- ✓ El manual de operación del equipo contiene procedimientos que permiten la operación óptima del equipo, estos procedimientos son la preparación de las muestras, calibración de los sensores, montaje de elementos para el ensayo triaxial y programación del variador de frecuencias.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se sugiere la reubicación del equipo debido a la exposición de ambiente con excesiva polución.
- ✓ Se recomienda la independencia eléctrica del equipo.
- ✓ La manipulación y control del equipo debe ser realizado por personal autorizado y previa lectura del manual de funcionamiento del equipo.

BIBLIOGRAFÍA

- DE LA CRUZ ARROYAVE, Álvaro “Procedimiento para ensayos sobre rocas”, Universidad Nacional De Colombia.
- QUESADA, Roberto “Geomecánica y Propiedades de las Rocas”, Instituto Minero metalúrgico de MOA, Cuba.
- CREUS, Antonio “Instrumentación Industrial” Marcombo 2005
- RODRIGUEZ Sabelli. RAGO, W “las arcillas activas en Argentina. diagnóstico y remediación” Tesis de grado, Universidad Tecnológica Nacional.
- PEDRAHITA, Ramón, Ingeniería De La Automatización Industrial, Rama
- Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils, 2007. 6 p. ASTM 2850.
- Parámetro de resistencia del suelo mediante compresión triaxial, 2007, 28 p. INV E-153-07
- <http://www.infoplcn.net/Documentacion/documentacion.htm>
- www.ni.com
- http://ocw.uis.edu.co/educommons/ingenieria-civil/estabilidad-de-taludes/clase-3/3_Esfuerzo_y_resistencia_al_cortante.pdf.

ANEXO A

ANEXO B.

MANUAL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO SOILTEST T 500 A.

Generalidades.

Este manual tiene como fin dar conocimiento acerca del funcionamiento del equipo soiltest T 500 de la escuela de ingeniería civil de la Universidad Industrial de Santander, este manual contiene lo siguiente:

- Recomendaciones de seguridad para operación del equipo.
- Indicación de las zonas de operación del equipo.
- Operación del equipo.

1. Recomendaciones de seguridad para operación del equipo.

- Antes de operar el equipo soiltest T 500 A, usted debe revisar que todos los enchufes del equipo estén en buen estado, previendo que no sea causante de un corto.
- Usted deberá instalar la boquilla del compresor a la boquilla del tanque del equipo, al hacer esto hágalo de manera segura ajustando de manera correcta las dos boquillas, esto evitara fugas y posible desprendimiento de la manguera del compresor.
- Permita que el compresor cargue antes de abrir la válvula que permite el paso del tanque del compresor al tanque del equipo, cuando este cargado abra la válvula poco a poco y compare la lectura del manómetro manual del tanque del equipo con la que indica el manómetro del compresor, estas deben ser iguales; tenga en cuenta que este manómetro es un indicador manual de la presión, usted puede verificar con el también la lectura del primer sensor de presión.
- Recuerde que la capacidad máxima de presión del tanque es de **70 psi**, no exceda esta presión, recuerde que esta presión es la que viene del compresor usted la puede controlar manipulándola desde

el computador introduciendo desde el computador 70 en “SET PRESION AIR” o manualmente regulando el manómetro de entrada de presión al tanque del equipo en 70, otra manera es cerrando la válvula de salida de aire del tanque del compresor cuando estén los 70 psi en los manómetros.

- Revise finalmente que la celda de carga este ajustada igual que los tornillos de la cámara de confinamiento.
- Antes de enchufar y darle arranque al equipo identifique las zonas de operación del equipo, identifique el botón de paro de emergencia y los enchufes que cortan la corriente al equipo, además identifique el extintor más cercano al lugar de operación del equipo.

2. Indicación de las zonas de operación del equipo.

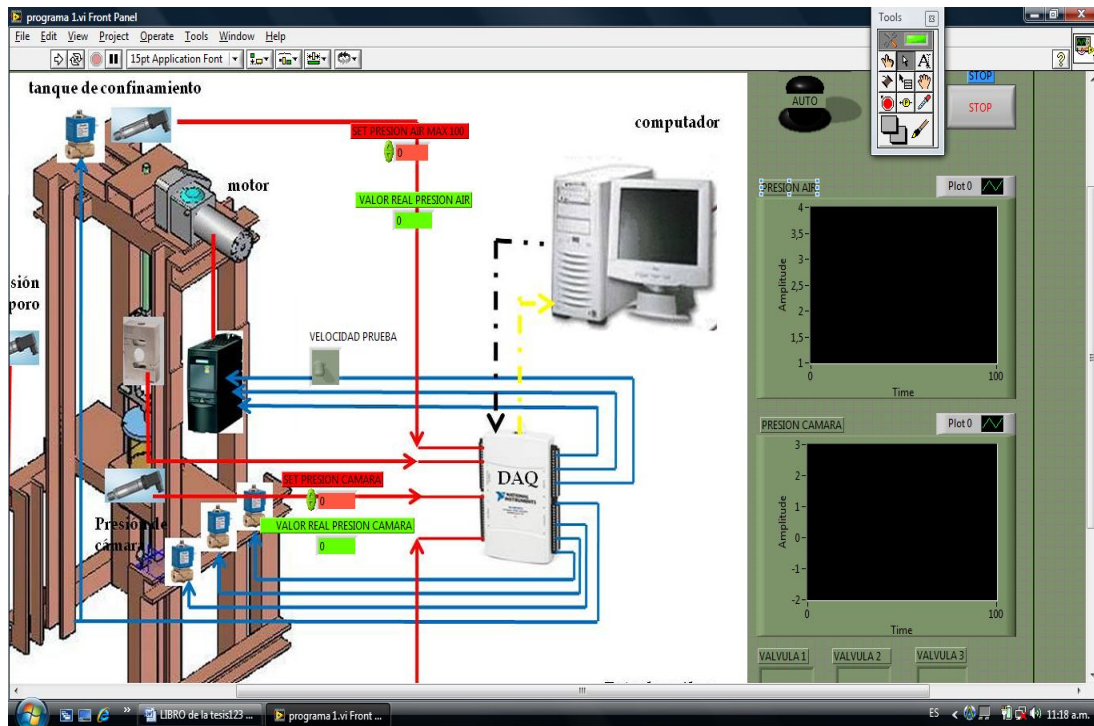
El equipo Soiltest T 500 A tiene las siguientes zonas de operación:

- Mando central.
- Zona de válvulas.
- Zona electrónica y eléctrica.
- Zona de transmisión mecánica.
- Zona neumática.

MANDO CENTRAL.

Corresponde al mando de las operaciones de la prueba y del equipo desde el computador, es el correspondiente al software diseñado para esta prueba; es

la interfaz que el operario manipulará desde la cual se dan las órdenes al equipo. En la siguiente figura se muestra esa interfaz.



ZONA DE VALVULAS

En la zona de válvula se encuentra ubicadas todas las válvulas para la operación del equipo enumeradas de la siguiente manera.



Con la anterior numeración identificamos las electroválvulas de la siguiente manera:

1. Presión.
2. Presión de Poro.
3. Presión.
4. Presión Cámara.

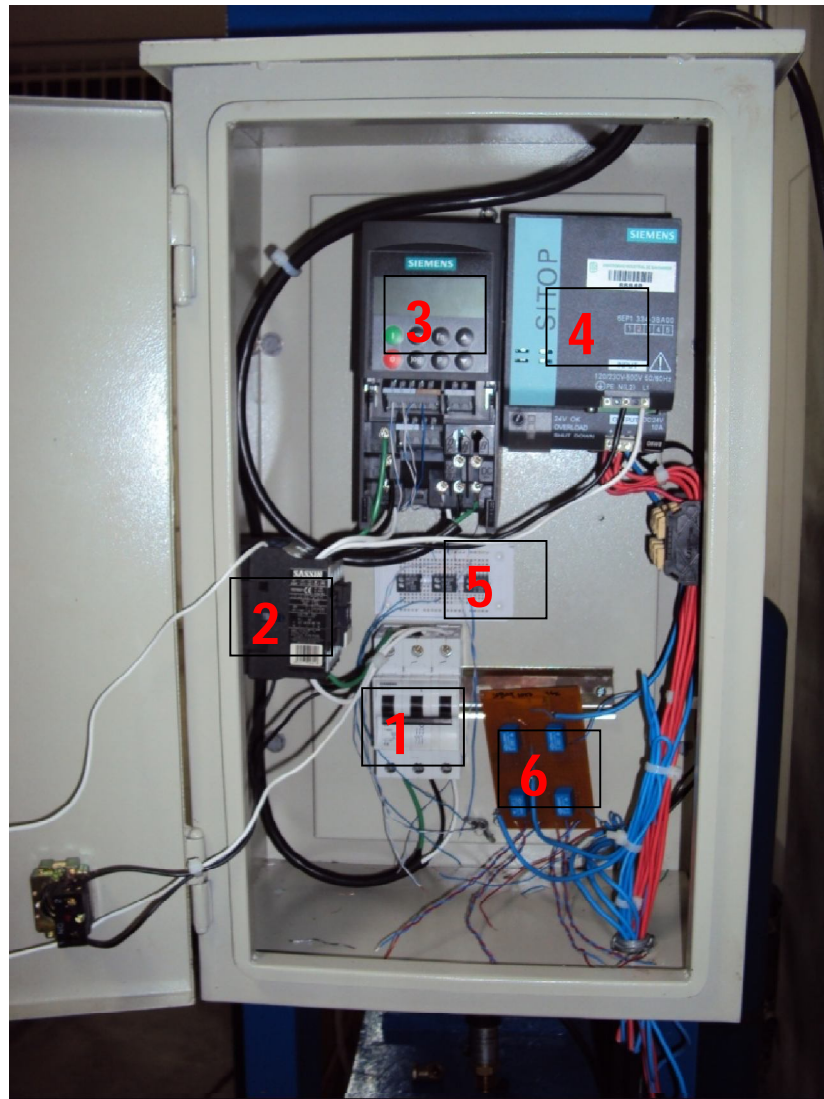
ZONA ELECTRICA Y ELECTRONICA.

La zona electrónica y eléctrica corresponde a todo lo relacionado con potencia eléctrica para la activación de los elementos que componen el equipo soiltest T 500 A.

Esta zona se encuentra en la parte lateral derecha del equipo y está protegida por un cofre que tiene los siguientes componentes.

- Breaker 3 líneas 3 ampere. (1)

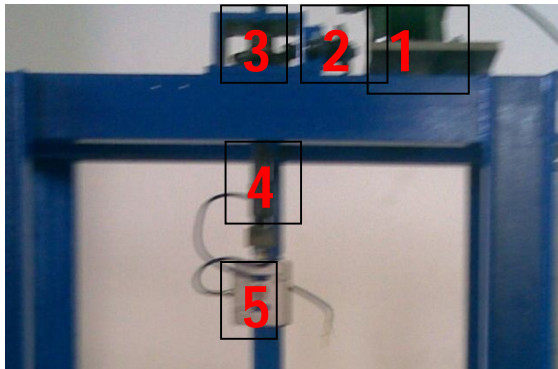
- Contactor trifásico alimentación a 220. (2)
- Variador de frecuencia Micromaster.(3)
- Fuente de potencia de 24 VDC.(4)
- Relés de activación.(5)
- Tarjeta de activación de los relés.(6)
- Tarjeta de adquisición de datos.(7)



ZONA DE TRANSMISION MECANICA.

La zona de transmisión mecánica es la transmisión de potencia mecánica desde el motor hasta la celda de carga cuyo fin es ejecutar de manera constante carga a la probeta, esta zona entonces consta de:

- Motor trifásico.(1)
- Transmisión por cadena.(2)
- Transmisión por engranajes.(3)
- Tornillo de potencia.(4)
- Celda de carga.(5)



ZONA NEUMÁTICA.

La zona neumática corresponde a todos los dispositivos del equipo que tienen contacto con el aire del compresor.

Esta zona se compone de los siguientes elementos:

- Tanque. (1)
- Válvula. (2)
- Sensor de presión.(3)
- Manómetro.(4)

El funcionamiento de estos dispositivos depende de la entrada de aire de un compresor neumático este es un equipo externo a la maquina Soiltest T 500 A.

Recuerde siempre las condiciones de seguridad exigidas para trabajar con aire; en la siguiente figura se muestra los elementos y la ubicación de la zona.



OPERACIÓN DEL EQUIPO SOILTEST T 500 A.

Para operar el equipo de ensayo uniaxiales y triaxiales Soiltest t 500 se siguen los siguientes pasos.

1. Identifique las zonas del equipo, verifique que el botón OFF-ON se encuentre en OFF, si esto es así enchufe el equipo a la corriente eléctrica.
2. Encienda el computador y abra la interfaz del programa.
3. Energice el equipo dando ON en el botón de arranque.
4. Si el compresor está cargado, abra la válvula del tanque del compresor para permitir el flujo de aire al tanque del equipo.

5. Introduzca los valores de presión en cada uno de los set que aparecen en la interfaz, esto lo hace según los requerimientos de cada prueba y según el deseo del operario.
6. Active la perilla que da la opción de manual y auto en auto.
7. De arranque al programa en RUN →
8. En la interfaz inmediatamente deben aparecer lecturas de presión que me indican el valor real de la presión.
9. La presión del sensor de PRESION AIR deberá crecer hasta alcanzar la presión que el operario introdujo, cuando este se logre el programa automáticamente cerrara las electroválvulas, así mismo sucederá con las demás electroválvulas.
10. Cuando este la presión deseada en la cámara de confinamiento, como en el tanque de presión y si es necesario en la presión de poro, se procederá a ejecutar la carga axial activando el botón velocidad de prueba, en este momento el motor deberá activarse y empezar a mover el tornillo de potencia.
11. Los sensores de carga y presión estarán enviando datos durante la prueba y el programa los almacenará y ordenará hasta que la probeta falle.
12. En este momento usted puede parar la prueba con el botón STOP, inmediatamente el programa le dará la opción de almacenar los datos de la prueba.
13. Para el desmontaje de la probeta y finalización de la operación del equipo usted deberá pasar el equipo a operación manual en la opción MANUAL-AUTO.
14. En cada muestra de presiones aparece un interruptor que me indica cada válvula para descargar la cámara de

confinamiento es necesario abrir la válvula de PRESION CAMARA e insertar la boquilla del compresor en la boquilla de entrada de aire de la cámara.

15. Esperar hasta que la cámara de confinamiento se desocupe, teniendo en cuenta no vaciar totalmente la cámara ya que esto produce burbujas y esta se transmiten al tanque del equipo.