

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y TOMA
DE DATOS REMOTO DE LOS EQUIPOS DE COMPRESIÓN INCONFINADA Y
CORTE DIRECTO DEL LABORATORIO DE SUELOS DE INGENIERÍA CIVIL**

JESÚS EDUARDO MADROÑERO RUALES

DIANA ELIZABETH ROSERO GUZMAN

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NARIÑO
2011**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y TOMA
DE DATOS REMOTO DE LOS EQUIPOS DE COMPRESIÓN INCONFINADA Y
CORTE DIRECTO DEL LABORATORIO DE SUELOS DE INGENIERÍA CIVIL**

JESÚS EDUARDO MADROÑERO RUALES

DIANA ELIZABETH ROSERO GUZMAN

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Electrónica

ASESOR

Msc. DARIO FERNANDO FAJARDO FAJARDO

INGENIERO ELECTRÓNICO

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NARIÑO
2011**

Nota de Responsabilidad

“La Universidad de Nariño no se hace responsable por las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor”.

Acuerdo 1. Artículo 324. Octubre 11 de 1966. Emanado del honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Nariño, 16 de septiembre de 2011

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo expresan sus agradecimientos a:

Dios por permitirnos iniciar y culminar esta etapa de nuestras vidas y darnos la fuerza para seguir adelante.

Ing. Darío Fernando Fajardo, por la atención y su entrega a la docencia.

Dra. Piedad Rebolledo, por su tiempo y colaboración.

Laboratorista Gustavo Adolfo Ponce, por su disposición, ayuda e interés en el desarrollo del proyecto.

Laboratorista Silvio Fabricio Cabrera, por la atención prestada y su conocimiento.

DEDICATORIA

“A mi familia, fuente constante de inspiración y apoyo, antes, durante y después de la realización de este proyecto de grado”.

Jesús Madroño

“A mi familia por enseñarme a soñar y luchar por lo que quiero, a levantarme en las derrotas, perseverar y por estar siempre a mi lado”.

Diana Rosero

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	23
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	25
1.1. Planteamiento del Problema	25
2. OBJETIVOS	26
2.1. Objetivo General	26
2.2. Objetivos Específicos	26
3. JUSTIFICACIÓN	27
4. MARCO CONCEPTUAL	28
4.1. SUELO	28
4.1.1. Propiedades Físicas y Básicas de los suelos.	28
4.1.2. Composición mineral del suelo.	29
4.1.3. El suelo como sistema de partículas	29
4.1.4. Naturaleza de la deformación del suelo	29
4.1.5. Presión sobre los suelos	30
4.2. FORMACIÓN DE LOS SUELOS.	30
4.3. PRINCIPALES TIPOS DE SUELOS.	31
4.4. SUELOS COHESIVOS Y SUELOS NO COHESIVOS	32
4.5. OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELOS	32
4.6. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES	33
4.6.1. Resistencia mecánica	33
4.6.2. Esfuerzo	35
4.6.3. Esfuerzo de tensión	35
4.6.4. Esfuerzo de compresión	35
4.6.5. Esfuerzo cortante	36
4.6.6. Deformación	37
4.6.7. Deformación total (δ).	37
4.6.8. Deformación unitaria (ϵ).	37

4.6.9.	Deformación elástica	37
4.6.10.	Deformación inelástica	38
4.7.	ANÁLISIS ESFUERZO –DEFORMACIÓN	38
4.7.1.	Limite de proporcionalidad	38
4.7.2.	Limite elástico	39
4.7.3.	Punto de Cadencia y Fluencia	39
4.7.4.	Esfuerzo Último	39
4.7.5.	Punto de ruptura	39
4.7.6.	Modulo de elasticidad	39
4.7.7.	Tenacidad	40
4.7.8.	Plasticidad	40
4.7.9.	Fragilidad	41
4.8.	ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA	42
4.8.1.	Generalidades	43
4.8.2.	Muestras	45
4.8.3.	Procedimiento	45
4.8.4.	Errores considerables en Compresión Inconfinada.	46
4.9.	ENSAYO DE CORTE DIRECTO	46
4.9.1.	Generalidades.	47
4.9.2.	Procedimiento	48
4.10.1.	Motor Bifásico	49
4.11.	SISTEMAS MECÁNICOS DE TRANSMISIÓN	50
4.11.1.	Poleas	50
4.11.2.	Relación de transmisión de un sistema de poleas simple	50
4.11.3.	Relación Tornillo Sinfín – Rueda Dentada	52
4.12.	PRESIÓN	52
4.12.1.	Variación de la presión con la altura	52
4.12.2.	Variaciones horizontales de la presión	53
4.12.3.	Influencia de la temperatura y del vapor de agua	53
4.13.	SENSORES DE PRESIÓN.	54
4.13.1.	Sensores de presión resistivos	54
4.14.	ENCODERS.	55
4.14.1.	Encoder Incremental	55

4.14.2.	Sensor infrarrojo	56
4.15.	AMPLIFICADORES OPERACIONALES	56
4.15.2.	Amplificadores de instrumentación	57
4.16.	MÓDULO USART	57
4.16.1.	Numero de bits	58
4.16.2.	Paridad.	58
4.16.3.	Bit de parada	58
4.16.4.	Protocolo RS232.	58
5.	METODOLOGÍA	59
5.1.	MECÁNICA DE LA MAQUINARIA DE LABORATORIO	59
5.2.	MOTORES BIFÁSICOS	59
5.2.1	Sentido de giro del motor	60
5.2.2.	Potencia máxima del motor	60
5.3.	REDUCCIÓN DE VELOCIDAD MEDIANTE SISTEMA DE POLEAS	61
5.4.	ENCODER DE POSICIÓN	62
5.5.	RESPALDO DE ENERGÍA	64
5.5.1.	Cargador de baterías	64
5.6.	MEDIDA DE PRESIÓN	64
5.6.1.	Compensación al Error por temperatura	65
5.7.	AMPLIFICACIÓN DE LA SEÑAL.	66
5.7.1.	Amplificador de Instrumentación INA128P	67
5.8.	ADQUISICIÓN DE SEÑALES.	69
5.8.1.	Conversor Analógico – Digital	70
5.8.3.	Timer1	71
5.9.	MÓDULO LCD	71
5.10.	TRANSMISIÓN SERIAL	72
5.10.1.	Conversor SERIAL-USB FT232	73
5.11.	PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR PIC16F877A	73
5.12.	SOFTWARE DESARROLLADO EN LABVIEW	78
6.	PRUEBAS Y RESULTADOS	86
6.1.	SIMULACIÓN ELECTRÓNICA	86
6.1.1.	Software de calibración de la celda de carga	87
6.1.2.	Software de adquisición y transmisión	87

6.2.	CALIBRACIÓN DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS	88
6.3.	PROBETAS REMOLDEADAS	90
6.3.1.	Muestras remoldeadas para compresión simple	90
6.3.2.	Muestras para corte directo	92
6.4.	PRUEBAS DE COMPRESIÓN SIMPLE	93
6.4.1.	Pruebas Manuales	93
6.4.2.	Datos obtenidos con la celda FC22	96
6.4.3.	Datos obtenidos con la celda de carga FC23	99
6.4.3.2.	Pruebas con muestras gradadas	103
6.5.	PRUEBAS OBTENIDAS PARA ENSAYOS DE CORTE DIRECTO	107
6.5.7.	Análisis Final para ensayos de corte directo	112
	CONCLUSIONES	113
	RECOMENDACIONES	114
	BIBLIOGRAFIA	115
	ANEXOS	119

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Fases del suelo	28
Tabla 2. Tipos de suelos, según proceso de formación.	30
Tabla 3. Características de los diferentes tipos de suelos	31
Tabla 4. Suelos cohesivos y no cohesivos	32
Tabla 5. Módulos de Young de arenas y arcillas	40
Tabla 6. Tipos de paridad para transmisión	58
Tabla 7. Calibración de deformación	63
Tabla 8. Sensores para medir Presión	64
Tabla 9. Datos para la calibración por software	83
Tabla 10. Datos obtenidos del encoder	88
Tabla 11. Datos de calibración para celda de carga FC23.	89
Tabla 12. Relación limo arcilloso y cemento	91
Tabla 13. Características de la Muestra No 1	93
Tabla 14. Características de la Muestra No 2	94
Tabla 15. Características de la Muestra No 3	95
Tabla 16. Características de la Muestra de madera	97
Tabla 17. Características de la Muestra de cemento	98
Tabla 18. Características de la Muestra No 1 de cemento	100
Tabla 19. Características de la Muestra No 2	101
Tabla 20. Características de la Muestra No 3	102
Tabla 21. Características de la Muestra gradada No 1	104
Tabla 22. Características de la Muestra gradada No 2	105
Tabla 23. Tabla de Resistencia de las muestras analizadas	106
Tabla 24. Características físicas de muestras para ensayo No. 1	107
Tabla 25. Características físicas muestras para ensayo No. 2	109
Tabla 26. Características físicas muestras para ensayo No. 3	110

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Conformación del suelo y sus fases	28
Figura 2. Representación esquemática de la trasmisión de fuerzas a través de un suelo	29
Figura 3. Pasos para la extracción de una muestra de suelo	33
Figura 4. Diagrama de aumento de volumen al aplicar una carga	34
Figura 5. En los diagramas se aprecia que al variar el esfuerzo vertical, las partículas del suelo sufren una acomodación y se aumenta el volumen	35
Figura 6. Elemento sometido a tensión	35
Figura 7. Elemento sometido a compresión.	36
Figura 8. Elemento sometido a fuerza cortante	36
Figura 9. Elemento sometido a fuerza normal y tangencial	37
Figura 10. Curva esfuerzo deformación	38
Figura 11. Fuerzas normales y cortantes	39
Figura 12. Energía de deformación lineal y no lineal	40
Figura 13. Lectura de fragilidad en el diagrama esfuerzo –deformación	41
Figura 14. Grafica esfuerzo –deformación de la madera, concreto y acero	41
Figura 15. Diagrama esfuerzo- deformación de bambú	42
Figura 16. Diagrama esfuerzo –deformación de Hule blando, Yeso de Paris, Acero 1030, carburo de Tungsteno	42
Figura 17. Maquina de compresión inconfiada	43
Figura 18. Circulo de Mohr	43
Figura 19. Deformación de la muestra	45
Figura 20. Maquina de corte directo	47
Figura 21. Diagrama para muestras en ensayo de corte directo	48
Figura 22. Partes básicas de un motor	49
Figura 23. Funcionamiento de un motor bifásico	50
Figura 24. Transmisión de movimiento mediante poleas	51
Figura 25. Banda trapezoidal	52
Figura 26. Escala de Presión	53
Figura 27. Circuito básico de un puente de Wheatstone	54
Figura 28. Circuito en Puente de resistencias con todos los elementos variables	55
Figura 29. Esquema encoder incremental	55
Figura 30. Señal de salida del encoder	56
Figura 31. Sensor Infrarrojo	56
Figura 32. Entrada diferencial	57
Figura 33. Amplificador diferencial	57

Figura 34. Diagrama de conexiones para el cambio de giro en motor bifásico	60
Figura 35. Encoder Implementado	62
Figura 36. Celda de carga FC23	65
Figura 37. Esquema circuital Celda de Carga FC23	66
Figura 38. Curva Característica Celda de Carga FC23	67
Figura 39. Amplificador de Instrumentación INA128P	68
Figura 40. Curva característica para amplificación de voltaje	69
Figura 41. Configuración de pines del modulo LCD	72
Figura 42. Diagrama de flujo programa principal	74
Figura 43. Diagrama de flujo función calibrar	75
Figura 44. Diagrama de flujo función Labview	76
Figura 45. Diagrama de flujo función pantalla	77
Figura 46. Diagrama de flujo función compresión	77
Figura 47. Diagrama de flujo función corte	78
Figura 48. Presentación en software Labview	78
Figura 49. Diagrama de bloques general	79
Figura 50. Diagrama de flujo para compresión simple	80
Figura 51. Diagrama de flujo para corte directo	81
Figura 52. Trama de Transmisión Asíncrona	82
Figura 53. Parámetros de las muestras en el software	83
Figura 54. Diagrama subrutina compresión simple	84
Figura 55. Diagrama de panel de Control de la subrutina de Corte Directo	85
Figura 56. Simulación en Proteus 7.6	87
Figura 57. Sub programa para calibración del sistema	87
Figura 58. Sub programa de adquisición y envió de datos	87
Figura 59. Grafica deformación con el incremento del número de opacas del encoder	89
Figura 60. Voltajes de salida de la celda FC23 a diferentes presiones	89
Figura 61. Promedio voltaje de salida de la celda FC23 a diferentes presiones	90
Figura 62. Muestras remoldeadas a la derecha muestras de limo arcilloso compactado en la derecha muestras de limo arcilloso y cemento en relación 1:4	91
Figura 63. Muestras remoldeadas	92
Figura 64. Muestras para ensayo de corte directo	92
Figura 65. Grafica esfuerzo deformación muestra No.1	93
Figura 66. Cohesión para Muestra No.1	94
Figura 67. Gráfica esfuerzo deformación muestra No.2	94
Figura 68. Cohesión para Muestra No.2	95
Figura 69. Gráfica esfuerzo deformación muestra No.3	95
Figura 70. Cohesión para Muestra No.3	96
Figura 71. Gráfica esfuerzo - deformación de una muestra de madera	97
Figura 72. Cohesión para Muestra de madera	97

Figura 73. Gráfica esfuerzo - deformación de una muestra mezclada con cemento	98
Figura 74. Cohesión para muestra de cemento	99
Figura 75. Gráfica esfuerzo - deformación de una muestra mezclada con cemento	99
Figura 76. Cohesión para muestra No.1	100
Figura 77. Gráfica esfuerzo - deformación de una muestra de limo arcilloso	101
Figura 78. Cohesión para muestra No.2	102
Figura 79. Gráfica esfuerzo - deformación de una de las muestras	102
Figura 80. Cohesión Muestra No.3	103
Figura 81. Gráfica esfuerzo - deformación de una muestra gradada	104
Figura 82. Cohesión para muestra gradada No.1	104
Figura 83. Gráfica esfuerzo - deformación de una muestra gradada	105
Figura 84. Cohesión para muestra gradada No.2	105
Figura 85. Resistencia Vs Saturación de las muestras en compresión simple	106
Figura 86. Esfuerzos Cortantes para muestras del ensayo No.1	108
Figura 87. Envolvente de falla para Ensayo No.1	108
Figura 88. Esfuerzo cortante versus deformación unitaria para el ensayo No. 2	110
Figura 89. Envolvente de falla para ensayo No 2	110
Figura 90. Esfuerzo cortante versus deformación unitaria para el ensayo No. 1	111
Figura 91. Envolvente de falla para ensayo No 1	112

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Fotografías evidencias del Proyecto de grado	120
ANEXO B. Código de Programación en Lenguaje C (Compilador CCS)	125
ANEXO C. Aplicacion en Software Labview 2009	131

GLOSARIO

ARRAY: Es un arreglo, un medio para almacenar un conjunto de objetos de la misma clase.

ACCESO REMOTO: En redes de computadoras, acceder desde una computadora a un recurso ubicado físicamente en otro ordenador, a través de una red local o externa. En el acceso remoto se ven implicados protocolos para la comunicación entre máquinas, y aplicaciones en ambas terminales que permitan recibir/enviar los datos necesarios. Además deben contar con un fuerte sistema de seguridad tanto la red, como los protocolos y las aplicaciones.

ASÍNCRONO: Hace referencia al suceso que no tiene lugar en total correspondencia temporal con otro suceso.

BANDA: Instrumento q me permite transmitir el movimiento o fuerza de un lugar a otro, es un sistema de transporte continuo formado básicamente por una banda continua que se mueve entre dos elementos con movimiento circular.

BAUDIOS: También conocida como baudaje, es el número de unidades de señal por segundo. Un *baudio* puede contener varios bits; es la velocidad de comunicación, que es la velocidad a la que los datos son transmitidos. Las velocidades a las que se envía la información comienzan en los 50 bits por segundo (bps) y casi de manera estándar se van duplicando 50, 100, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, hasta 384,000.

BOBINA: Es un componente pasivo de un circuito eléctrico que, debido al fenómeno de la autoinducción, almacena energía en forma de campo magnético.

CAJA REDUCTORA: Mecanismo que consiste, generalmente, de un grupo de engranajes, con el que se consigue mantener la velocidad de salida en un régimen cercano al ideal para el funcionamiento del motor. Usualmente una caja reductora cuenta con un tornillo sin fin el cual reduce en gran cantidad la velocidad y permite mantenerla constante.

CALIBRACIÓN: Conjunto de operaciones que establece, bajo condiciones específicas, la relación entre las señales producidas por un instrumento analítico y los correspondientes valores de concentración o masa del juego de patrones de calibrado.

CELDA DE CARGA: Es un transductor que es utilizado para convertir una fuerza en una señal eléctrica.

CIRCUITO: Es una interconexión de dos o más componentes, tales como resistencias, inductores, condensadores, fuentes, interruptores y semiconductores, que contiene al menos una trayectoria cerrada.

CIRCUITO INTEGRADO: Un circuito integrado (CI), es una pastilla pequeña de material semiconductor, de algunos milímetros cuadrados de área, sobre la que se fabrican circuitos electrónicos generalmente mediante fotolitografía y que está protegida dentro de un encapsulado de plástico o cerámica.

COHESIÓN: Es la cualidad por la cual las partículas del terreno se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas, que dependen, entre otras cosas del número de puntos de contacto que cada partícula tiene con sus vecinas. En consecuencia, la cohesión es mayor cuanto más finas son las partículas del terreno.

COMPRESIÓN: Se denomina así a la relación que existe entre la fuerza ejercida al área transversal del elemento sobre el área transversal de la muestra.

CONDENSADOR: Dispositivo que almacena energía eléctrica, es un componente pasivo.

CORRIENTE: Es la circulación de cargas o electrones a través de un circuito eléctrico cerrado, que se mueven siempre del polo negativo al polo positivo de la fuente de suministro de fuerza electromotriz (FEM).

CORONA: Es un elemento dentado de mayor tamaño, utilizado en transmisiones.

DEFORMACIÓN: Es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre el mismo o la ocurrencia de dilatación térmica.

DEFORMACIÓN UNITARIA: Se define como el cambio de longitud por unidad de longitud.

DUCTIBILIDAD: Es una propiedad que presentan algunos materiales, como las aleaciones metálicas o materiales asfálticos, los cuales bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse sosteniblemente sin romperse, permitiendo obtener alambres o hilos de dicho material.

ELASTICIDAD: Es la propiedad mecánica de ciertos materiales de sufrir deformaciones reversibles cuando se encuentran sujetos a la acción de fuerzas exteriores y de recuperar la forma original si estas fuerzas exteriores se eliminan.

ESFUERZO: La fuerza por unidad de área, la cual se denota con la letra griega sigma (σ) y es un parámetro que permite comparar la resistencia de dos materiales, ya que establece una base común de referencia. Sus unidades son los Newton o también se utiliza en pascales

GRANULOMETRÍA: Medición y gradación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas.

MANÓMETRO: Es un instrumento utilizado para la medición de la presión en los fluidos, generalmente determinando la diferencia de la presión entre el fluido y la presión local.

MECÁNICA DE SUELOS: Rama de la mecánica que se encarga de la acción de fuerzas sobre los suelos.

MOTOR: Un motor es una máquina que transforma la energía química presente en los combustibles, en energía mecánica disponible en su eje de salida.

MOTOR BIFÁSICO: Un motor bifásico requiere dos líneas de corriente y una de tierra y trabaja en dos fases la primera carga un capacitor que normalmente sube la corriente a 240v para dar el impulso primario de movimiento y la segunda fase mantiene la corriente fluida para el uso del motor.

PANTALLA LCD: Llamada pantalla de cristal líquido es delgada y plana formada por un número de píxeles monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora.

PASCALES: Es la unidad de presión del Sistema Internacional de Unidades. Se define como la presión que ejerce una fuerza de 1 newton sobre una superficie de 1 metro cuadrado normal a la misma.

POLEA: Máquina simple que sirve para transmitir una fuerza. Se trata de una rueda, generalmente maciza y acanalada en su borde, que, con el curso de una cuerda o cable que se hace pasar por el canal ("garganta"), se usa como elemento de transmisión para cambiar la dirección del movimiento en máquinas y mecanismos.

POTENCIA: Es la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado. La potencia se mide en joule por segundo (**J/seg**) que equivale a un watt y se representa con la letra "**P**".

PRESIÓN: Se define como la fuerza por unidad de superficie que ejerce un líquido o un gas perpendicularmente a dicha superficie.

PRESIÓN ATMOSFÉRICA: Es la presión ejercida por el aire atmosférico en cualquier punto de la atmósfera. Su medición se realiza con un barómetro.

PRESIÓN DIFERENCIAL: Es la diferencia entre un determinado valor de presión y otro utilizado como referencia.

RESISTENCIA: Oposición que presenta un cuerpo al paso de una corriente eléctrica para circular a través de él; se mide en ohmios .

REVOLUCIONES POR MINUTO: Generalmente se utiliza R.P.M para denominar al número de vueltas de giro de un elemento en movimiento circular.

SATURADO: Material que posee alto nivel de agua en su interior.

SISTEMA REMOTO: Tipo de instalación capaz de trabajar sin la presencia humana. Suele emplazarse en lugares alejados o de difícil acceso y estar encargado de distintas tomas de control en instalaciones y emisión /recepción de datos a una central.

SÍNCRONO: Literalmente quiere decir al mismo tiempo.

SUELO: Se denomina suelo a la parte no consolidada y superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que tiende a desarrollarse en la superficie de las rocas emergidas por la influencia de la intemperie y de los seres vivos.

TALUDES: Se aplica el término talud al perfil conseguido tras una excavación (talud en desmonte) o terraplenado (talud en terraplén) no necesariamente vertical, sino con cierto ángulo con la horizontal (90°), llamado ángulo de talud.

TENACIDAD: Es la energía total que absorbe un material antes de alcanzar la rotura, por acumulación de dislocaciones. Es la resistencia que opone un mineral u otro material a ser roto, molido, doblado, desgarrado o suprimido, siendo una medida de su cohesión.

TENSIÓN: en la mecánica es la fuerza interna aplicada, que actúa por unidad de superficie o área sobre la que se aplica. También se llama así, al efecto de aplicar una fuerza sobre una forma alargada aumentando su elongación.

TORNILLO SIN FIN: Elemento constituido por un cilindro dotado de un roscado helicoidal con filetes de forma trapecial destinados a engranar con los dientes (también helicoidales) de una corona dentada.

Es el método empleado con más frecuencia, alternativamente con el par cónico, cuando se debe transmitir movimiento entre 2 árboles perpendiculares y es especialmente indicado para grandes relaciones de desmultiplicación.

TORQUE: El torque es la fuerza que producen los cuerpos en rotación.

TRANSMISIÓN SERIAL: Se denomina comunicación serial por que los bits se reciben uno detrás de otro o en serie, Tiene una comunicación asíncrona pero se la puede sincronizar por medio de la habilitación de un bit.

TRANSPUESTA: Sea A una matriz con m filas y n columnas. La matriz traspuesta, denotada con A^t En donde el elemento a_{ji} de la matriz original A se convertirá en el elemento a_{ij} de la matriz traspuesta A^t .

VOLTAJE: Llamado también tensión eléctrica o diferencia de potencial es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.

VOLTIOS: Se define como la diferencia de potencial a lo largo de un conductor cuando una corriente con una intensidad de un amperio utiliza un vatio de potencia.

ZAPATA: Es un tipo de cimentación superficial (normalmente aislada), que puede ser empleada en terrenos razonablemente homogéneos y de resistencias a compresión medias o altas. Consisten en un ancho prisma de hormigón (concreto) situado bajo los pilares de la estructura. Su función es transmitir al terreno las tensiones a que está sometida el resto de la estructura y anclarla.

RESUMEN

En esta investigación se presenta el diseño e implementación de un sistema electrónico de adquisición de datos de la carga que se ejerce sobre una muestra de suelo, conformado por etapas de amplificación, digitalización y adquisición de datos mediante software de monitoreo, para su visualización y almacenamiento digital. Se espera lograr de este proyecto, que sea una herramienta útil en el laboratorio de suelos de la universidad de Nariño, para llevar a cabo los ensayos respectivos de las maquinas de compresión simple y corte directo.

También se describe la estructura y elementos de instrumentación, el sistema electrónico de adquisición, envío de datos y el software diseñado, recomendaciones para futuras investigaciones, resultados y conclusiones obtenidos con este proyecto.

ABSTRACT

This research presents the design and implementation of an electronic system for load data acquisition on a soil sample, conforming of stages of amplification, digitalization and data acquisition software for monitoring, viewing and digital storage. It hopes to achieve this project, a useful tool in the soils laboratory of the University of Nariño, to conduct respective trials for the machines of simple compression and direct cut.

This work describes the structure and elements of sensing, the electronic system of acquisition, data sent and the designed software, recommendations for future research, results and conclusions obtained from this project.

INTRODUCCIÓN

La Electrónica desde el siglo pasado ha venido convirtiéndose en una herramienta y conocimiento fundamental en pos de la evolución humana. Cada día ha tomado esta ciencia más importancia puesto que para la mayoría de actividades el uso de dispositivos electrónicos es indispensable porque proporciona eficiencia y eficacia a los procesos; ya sean industriales, científicos o de la vida cotidiana; y debido a su particularidad y variedad se hace necesario el diseño de equipos especializados para la experimentación y adquisición de datos de diferentes variables como temperatura, presión, humedad, etc.

Pero en todos los procesos manuales, en el momento de la toma de datos, se presentan errores de diferentes tipos debido a la precisión de los equipos análogos o de los operarios.

El laboratorio de suelos de ingeniería civil hace uso de varias máquinas para experimentación, dentro de las cuales, se centró la investigación para conocer el funcionamiento de dos de estos sistemas, como son: la máquina de compresión confinada y la máquina de corte directo, ensayos que se ven afectados tanto por errores del operario y de los errores inherentes de los instrumentos. Además que la precisión de los resultados se ve reducida por las pérdidas de datos instantáneos y de tiempo que son realmente considerables puesto que se adquiere datos en forma discreta, y la curva pierde la continuidad deseada.

Por medio de la automatización de los equipos del laboratorio de suelos se pretende incrementar la eficiencia, precisión y velocidad para los diferentes ensayos que en ellas se realizan. Con el fin de mejorar la toma de datos análoga realizada anteriormente. También se buscó mejorar el sistema de procesamiento de señales, mediante una interfaz de comunicación de los dispositivos electrónicos con el computador por medio de un software de interfaz gráfica de fácil manipulación para el usuario desarrollada en LABVIEW. Además se puede acceder a los datos registrados en la prueba por medio de un equipo remoto a través de internet desde cualquier lugar mientras dura el proceso de adquisición de datos, que puede variar desde unos minutos a varias horas en algunos de los casos y almacenar estos, en un archivo para su posterior análisis.

Las prácticas presentan disminución de error ya que se implementó un motor con reducción mediante un sistema de poleas que se mueve a velocidad constante para aplicar la carga a la muestra. Además, la implementación del sistema de respaldo de energía que hace uso de un cargador de batería, garantiza que el

sistema de adquisición de datos funcione, permitiendo su portabilidad para pruebas de campo, en caso de ser necesario.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

En el laboratorio de suelos de ingeniería Civil de la Universidad de Nariño, los estudiantes que hacen uso de los equipos de corte directo y compresión inconfínada, encuentran problemas en el momento de la adquisición de datos de la medida de los diales de carga y deformación, debido a que son equipos que deben ser manipulados por el operario con lo que se presentan los errores humanos , debido a que las apreciaciones de la medida de un valor son relativas y varían según la sensibilidad de cada persona, además de presentarse el error inherente del objeto a analizar. También se presenta una pérdida de datos a la hora de realizar el registro manual, puesto que este tipo de registro de valores, presenta puntos por cada unidad de tiempo y no una curva continúa real que describa el proceso completo del comportamiento de la carga y la deformación.

Un parámetro que influye bastante es la velocidad de aplicación de la carga por medio de la manivela que no es constante y depende de la fuerza y afinamiento de cada persona haciendo que las aplicaciones no sean exactas; además, cuando se quiere hacer pequeñas variaciones no se sabe realmente cuanta carga se aplica y las velocidades son diferentes. Por ello se busca un elemento que permita mantener constante la velocidad; además la realización de las prácticas toman periodos de tiempo que pueden variar desde unos minutos hasta varias horas, y quien realiza la práctica no puede hacer un monitoreo continuo de datos en los espacios de tiempo que no esté en el lugar de realización de la practica y se pierde por tanto, los registros de datos correspondientes a este tiempo.

1.2. Formulación del problema

¿ES POSIBLE EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y TOMA DE DATOS REMOTO DE LOS EQUIPOS DE COMPRESION INCONFINADA Y CORTE DIRECTO DEL LABORATORIO DE SUELOS DE INGENIERÍA CIVIL DE BUEN DESEMPEÑO?

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Diseñar y construir un sistema de automatización para la adquisición de datos de los equipos de compresión inconfiada y corte directo de laboratorio de Suelos de Ingeniería Civil

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar el nivel de automatización y variables a las cuales se les va a realizar la instrumentación bajo las normas internacionales.
- Diseñar el módulo de sensado y visualización digital de datos.
- Implementar en cada máquina un módulo de sensado de deformación con transductores eficientes para dicha aplicación y el módulo visualizador de datos.
- Diseñar una interfaz de adquisición de datos simultánea, a través de la cual, se convertirá la señal analógica proporcionada por el sensor en una señal digital; que sea compatible con el lenguaje que maneja el computador.
- Implementar por medio de un lenguaje de alto nivel un programa con interfaz gráfica que permita un fácil manejo del usuario del sistema y obtener un reporte de la adquisición de datos de las medidas de deformación de cualquier suelo en cuestión en cualquiera de las máquinas automatizadas.
- Diseñar e implementar un sistema de respaldo de energía para el módulo de adquisición de datos.
- Ensamblar y calibrar completamente el sistema electrónico de acuerdo a los estándares de calibración de equipos.
- Convertir los resultados de esta investigación en una herramienta que facilite la realización de las pruebas de corte directo y la compresión inconfiada en los laboratorios de suelos de Ingeniería Civil de La Universidad de Nariño.

3. JUSTIFICACIÓN

Se espera que el desarrollo del siguiente proyecto sea de importancia en el departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Nariño ya que las máquinas para la realización de las prácticas de laboratorio de suelos existentes son completamente análogas; por ello con el presente trabajo de investigación se busco realizar una herramienta que esté al alcance tanto de docentes, estudiantes dentro y fuera de la Universidad de Nariño que facilite la obtención de datos más reales de las practicas; además de brindarles la oportunidad de trabajar con un equipo automatizado de bajo costo, que les permita adelantar sus estudios sobre suelos y fundamentarse más en la teoría y práctica de los dos equipos automatizados.

La elaboración de este proyecto ayuda a mejorar el desarrollo científico dentro de la institución puesto que se dejará atrás la adquisición de datos en equipos análogos y la realización de prácticas de laboratorio contará con datos más cercanos a la realidad y además de posibilitar a la universidad la tenencia de equipos de mayor tecnología, con los cuales se podrá ahondar en el campo de la investigación y del estudio de parámetros del suelo, ofreciendo mayor exactitud de valores como cohesión y ángulo de fricción, para cálculos de capacidad de soporte del suelo, estabilidad de taludes, estructuras de contención de tierra, entre otros, por medio de las variables a medir que son carga y deformación. Además de aportar con esto a la certificación del programa de ingeniería civil y del laboratorio de suelos.

4. MARCO CONCEPTUAL

En este apartado, se consideran los conceptos más significativos, a tener en cuenta para llevar a cabo el diseño e implementación tanto de Hardware como de Software para la adquisición de las variables físicas (Esfuerzo y Deformación), de los ensayos de compresión confinada y corte directo.

4.1. SUELO¹.

Sistema de partículas independientes, multifase, particulado y de calidad no controlada resultante de la descomposición y desintegración de la roca por el ataque de agentes atmosféricos.

Son sedimentos no consolidados de partículas sólidas, debido a que son transportados por agentes como agua, hielo o viento; de ahí la naturaleza heterogénea del suelo.

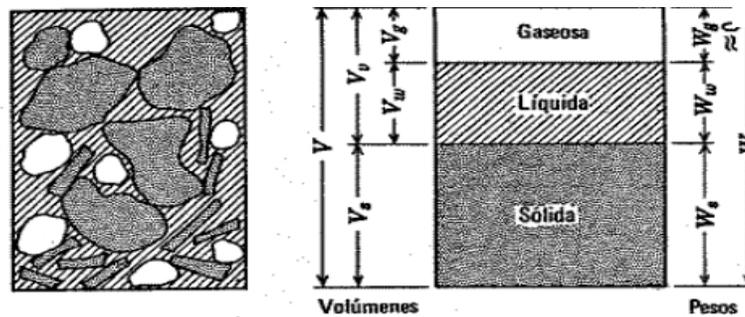


Figura 1. Conformación del suelo y sus fases²

4.1.1. Propiedades Físicas y Básicas de los suelos. Las propiedades físicas básicas de un suelo son las que se requieren para definir su estado físico. Para realizar los respectivos análisis y diseños en ingeniería, es necesario considerar sus tres fases constituyentes.

Tabla 1. Fases del suelo

FASE	CARACTERÍSTICAS
SÓLIDA	Está conformada por las partículas minerales.
LÍQUIDA	Compuesta en su mayor parte por agua.
GASEOSA	Presente en menores proporciones está formada por aire, algunos gases sulfurosos o el anhídrido carbónico

¹ LAMBE, William. Mecánica de Suelos. 1 Ed. México: Limusa, 1979, 582p.

² Ibíd., p.42.

En un suelo típico, el sólido, el líquido conformado por el agua y el gas que es aire, están mezclados entre ellos en forma natural por lo que resulta difícil encontrar las proporciones relativas de cada uno de estos. Por consiguiente, es muy conveniente considerar un modelo de suelo en el cual las tres fases se separan en cantidades individuales correspondientes a sus proporciones correctas.

4.1.2. Composición mineral del suelo. La naturaleza y disposición de los átomos en una partícula de suelo, es decir su composición tiene una considerable influencia sobre la permeabilidad, resistencia y transmisión de esfuerzo en los suelos, especialmente en los de grano fino.

4.1.3. El suelo como sistema de partículas. Las partículas discretas que constituyen un suelo no están unidas tan fuertemente como los cristales de un metal y por tanto pueden moverse con relativa libertad, unas respecto a otras. Las partículas de suelo son sólidas y no se pueden mover con la misma facilidad que los elementos de un fluido. Así pues el suelo es intrínsecamente un sistema de partículas.

4.1.4. Naturaleza de la deformación del suelo³. Las fuerzas de contacto sobre el suelo, se pueden descomponer en fuerzas normales N y tangenciales T a la superficie de contacto. Las partículas individuales se deforman como resultado de estas fuerzas de contacto. Estas deformaciones producen un aumento del área de contacto entre partículas, permitiendo así la aproximación de los centros de las partículas. Si existen partículas laminares, se flexionaran, permitiendo así movimientos relativos entre partículas adyacentes.

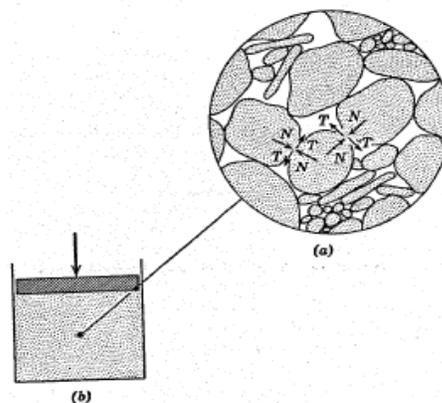


Figura 2. Representación esquemática de la trasmisión de fuerzas a través de un suelo⁴

³ Ibíd., p.66.

⁴ Ibíd., p.31.

Debido a que el deslizamiento es una deformación no lineal e irreversible, se puede esperar que el comportamiento esfuerzo-deformación del suelo también sea marcadamente no lineal e irreversible (Esto quiere decir que la curva esfuerzo-deformación no es una línea recta, ni es única en ciclos de carga-descarga).

En una masa de suelo existe un sinnúmero de puntos de contacto individuales, por tanto resulta imposible plantear una ley esfuerzo-deformación de un suelo, considerando el comportamiento en los contactos, aunque pudiéramos describir exactamente lo que sucede en cada uno de ellos. Por esta razón, es necesario basarse en medidas de experimentación directa sobre las propiedades de sistemas con gran número de partículas.

4.1.5. Presión sobre los suelos. Un aumento de la presión sobre un elemento de suelo produce un incremento de la resistencia al esfuerzo cortante, una disminución de la compresibilidad y una reducción de la permeabilidad; los efectos contrarios se producen si las presiones disminuyen. Los cambios originados por una reducción de presiones suelen ser menores que los producidos por un incremento de presiones de igual magnitud.

4.2. FORMACIÓN DE LOS SUELOS.

Según el proceso de formación, el suelo puede ser de tres tipos.

Tabla 2. Tipos de suelos, según proceso de formación.

ORIGEN DEL SUELO	CARACTERÍSTICAS
RESIDUAL.	Este suelo se ha formado por la meteorización de las rocas en el mismo local donde ahora se encuentra, con escaso o nulo desplazamiento de las partículas; por este hecho también se conoce a este proceso como Meteorización.
SEDIMENTARIO.	También conocido como Intemperismo. En este tipo de suelo, las partículas se formaron en un lugar diferente, y fueron transportadas y se depositaron en otro emplazamiento.
RELLENO ARTIFICIAL.	Estos son construidos por el hombre para los más diversos fines.

4.3. PRINCIPALES TIPOS DE SUELOS.

Esta división se presenta, en base a sus propiedades físicas y composición; entre las cuales se tiene:

Tabla 3. Características de los diferentes tipos de suelos

TIPO DE SUELO	CARACTERÍSTICAS
ARENAS Y GRAVAS	Son áridos sin cohesión, formados por fragmentos de rocas o de minerales, de forma redondeada o angulosa; se puede clasificar por su tamaño en arena, grava y los fragmentos de roca de mayor tamaño se conocen como Bolos.
LIMOS.	Son suelos finos de poca plasticidad y de granulometría generalmente uniforme, su origen puede ser puramente mineral como el que se produce en las canteras o parcialmente orgánico como el que se suele encontrar en ríos el cual tiene características plásticas. El diámetro de estos está entre 0.05mm y 0.005mm. Los limos sueltos y saturados son inadecuados para soportar carga por medio de zapatas; su color puede variar de un gris claro a un gris oscuro. Tienen alta capacidad de compresibilidad.
ARCILLAS	Está formado por partículas microscópicas coherentes procedentes de la descomposición química de los constituyentes de las rocas. Son suelos plásticos con humedad, cuando están secos son muy duros y tienen baja permeabilidad.
TURBAS.	Es un suelo orgánico formado de materia orgánica descompuesta, no se cimienta en ellos debido a su extremada compresibilidad, cuando están secas flotan y algunos emiten gases como el metano.
TUFAS.	Agregados finos de materiales y fragmentos de roca muy pequeños arrojados por los volcanes en las explosiones y que han sido transportados por el viento o por el agua.
LOESS.	Sedimentos eólicos uniformes y cohesivos, comúnmente de color castaño claro (desiertos). Deposito poroso relativamente uniforme de limo transportado. Tiene una estructura floja con numerosos huecos dejados por raíces

	extinguidas.
GREDA.	Término popular para designar a una arcilla de alta plasticidad.

4.4. SUELOS COHESIVOS Y SUELOS NO COHESIVOS.

La cohesión es una característica que hace diferentes a los suelos y los clasifica en:

Tabla 4. Suelos cohesivos y no cohesivos

TIPO DE SUELO	CARACTERÍSTICAS
COHESIVOS.	Son aquellos que poseen atracción intermolecular como son las arcillas
NO COHESIVOS	Son los suelos formados por partículas de roca sin ninguna cementación, como la arena y la grava.

4.5. OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELOS.

Para determinar las propiedades de un suelo en laboratorio es preciso contar con muestras representativas de dicho suelo. Las muestras pueden ser de dos tipos: alteradas e inalteradas. Se dice que una muestra es alterada cuando no guarda las mismas condiciones que cuando se encontraba en el terreno de donde procede, e inalterada en el caso contrario.

Para obtener una muestra inalterada el procedimiento a seguir es:

- Se limpia y alisa cuidadosamente la cara de la superficie y se marca el contorno.
- Se excava alrededor y por atrás dándole forma al trozo; para ello se usa un cuchillo de hoja delgada,
- Se corta el trozo con el cuchillo y se retira del hoyo cuidadosamente, se marca la cara superior.
- Se lo empaca en plástico con el fin de trasladarlo a laboratorio en una caja de madera con parafina.

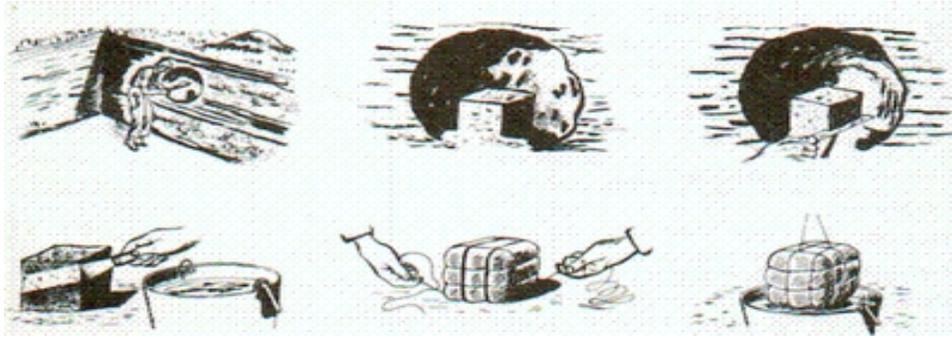


Figura 3. Pasos para la extracción de una muestra de suelo⁵

Cabe resaltar que el suelo es un material deformable y es por ello que para conocer sus propiedades como compresibilidad, deformación, resistencia, se apoya en la Mecánica de Suelos.

4.6. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES⁶.

4.6.1. Resistencia mecánica. Es la capacidad que tiene un material de resistir fuerzas y esfuerzos.

Para el estudio de Ingeniería Civil el valor más importante es cuando el suelo falla. El esfuerzo desviador correspondiente al máximo de la curva esfuerzo-deformación se denomina resistencia máxima o resistencia a compresión del suelo. El valor del punto máximo, corresponde a la mitad de la resistencia máxima.

La figura 4, muestra que al aplicar la carga a la muestra de suelo se ve un incremento de volumen; este efecto de aumento de volumen antes de presentarse la falla presenta el nombre de dilatación.

⁵ TERZAGHI, Karl, MORETTO, Oreste. Mecánica de suelos en la ingeniería practica. 3 Ed. Argentina: El Ateneo, 1963, 681p.

⁶ VILCHEZ G, Ramón. Deformación simple [En línea]. 2009

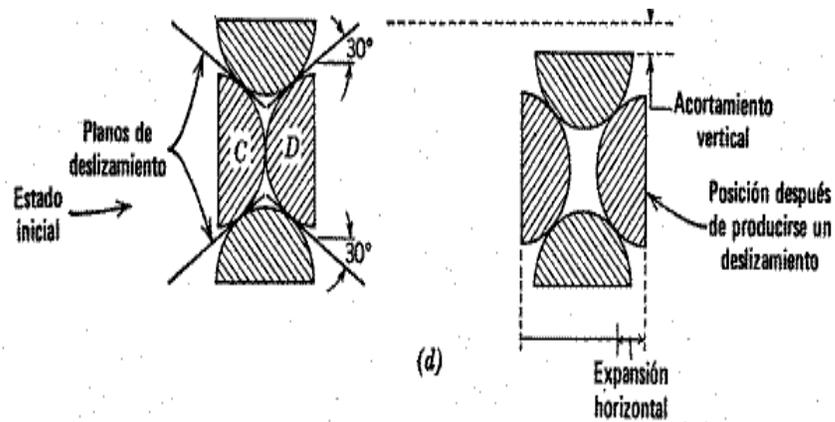
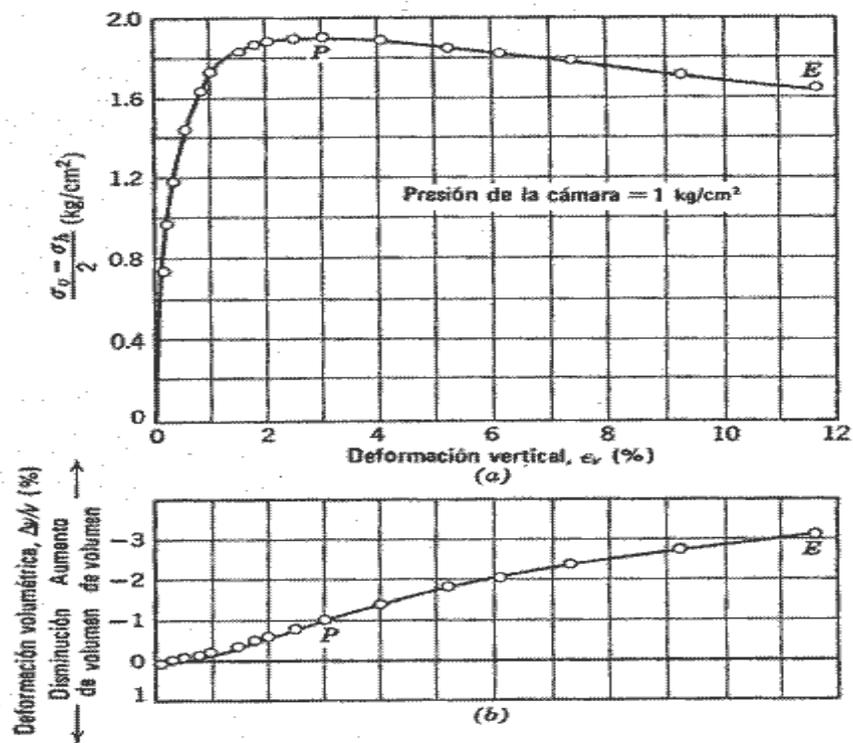


Figura 4. Diagrama de aumento de volumen al aplicar una carga⁷

La relación que existe al aplicar la carga y el volumen se aprecia en las siguientes graficas:



⁷ LAMBE, William. óp. cit., p.145

Figura 5. En los diagramas se aprecia que al variar el esfuerzo vertical, las partículas del suelo sufren una acomodación y se aumenta el volumen⁸

4.6.2. Esfuerzo. Es la fuerza aplicada por unidad de área. Sus unidades son los Pascales en el Sistema Internacional y en el americano se utilizan libras por pulgadas (psi). Los esfuerzos básicos son:

- Esfuerzo de tensión.
- Esfuerzo de compresión.
- Esfuerzo cortante.

4.6.3. Esfuerzo de tensión. También denominado como esfuerzo de tracción es aquel que tiende a estirar el miembro y romper el material; donde las fuerzas que actúan sobre el mismo tienen las mismas magnitudes, dirección y sentidos afuera del material. Y esta dado por la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{\text{Fuerza perpendicular al area transversal}}{\text{Area Transversal del elemento}} = (+) \frac{\tau}{A_T} \quad \text{EC.1}$$

El diagrama de fuerza se presenta a continuación:

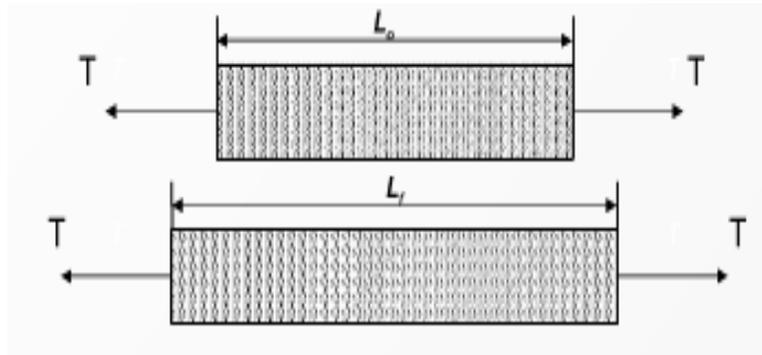


Figura 6. Elemento sometido a tensión⁹

4.6.4. Esfuerzo de compresión. Se presenta al aplastar el material del miembro de carga y a acortar el miembro en sí; pudiéndose presentar así una disminución en el volumen o acortamiento en determinada dirección es decir, es la medida de la fuerza perpendicular ejercida sobre el área transversal del elemento y se lo representa con σ .

Cabe resaltar que la fuerza debe ser ejercida en el centro para así tener un valor constante.

⁸ Ibíd., p.144.

⁹ VILCHEZ G, Ramón. óp. Cit., p.6.

$$\sigma = \frac{-\text{fuerza perpendicular al area}}{\text{area transversal al elemento}} = (-) \frac{C}{A_T} \quad \text{EC.2}$$

Todas las fuerzas están dirigidas al centro del material así:

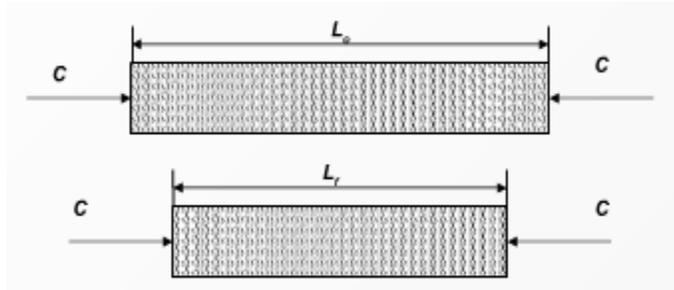


Figura 7. Elemento sometido a compresión¹⁰.

4.6.5. Esfuerzo cortante. También es denominado como de cizallado. Este tipo de esfuerzo busca cortar el elemento, por lo tanto la fuerza actúa de manera tangencial al área de corte y provoca así la falla.

Viene dado por la siguiente fórmula:

$$\tau = \frac{\text{Fuerza tangencial al area transversal del elemento}}{\text{Area de corte}} = \frac{V}{A_c} \quad \text{EC.3}$$

A continuación se muestra el comportamiento que se presenta al aplicarse la fuerza tangente.

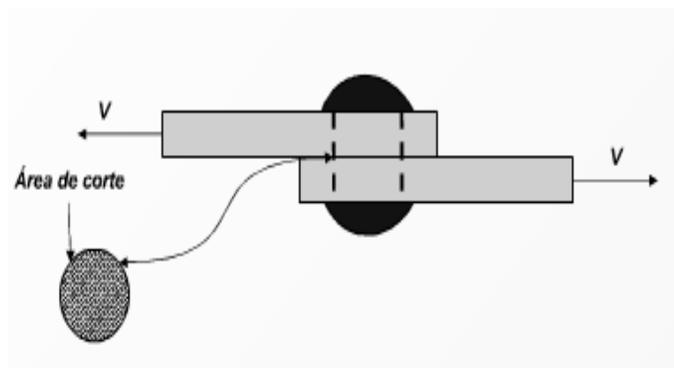


Figura 8. Elemento sometido a fuerza cortante¹¹

¹⁰ *Ibíd.*, p.6.

¹¹ *Ibíd.*, p.8.

4.6.6. Deformación. Se refiere al cambio de forma y dimensiones de un miembro estructural cuando este se encuentra sometido a cargas externas que pueden ser cargas de tensión o de compresión.

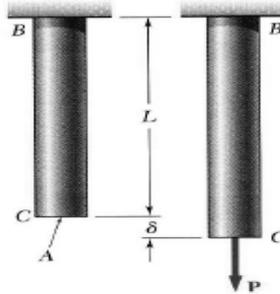


Figura 9. Elemento sometido a fuerza normal y tangencial¹²

La fuerza ejercida en el suelo desarrolla fuerzas de contacto entre las partículas adyacentes de manera normal y tangencial y como resultado a este hecho se presenta un deslizamiento de las partículas que controlan la deformación final del suelo; aumentándose así el área de contacto entre las partículas; por lo tanto se puede afirmar que la deformación total es el resultado de las deformaciones individuales demostrándose así la naturaleza discontinua del suelo.

Esta puede ser de los siguientes tipos:

4.6.7. Deformación total (δ). Se considera el cambio en las dimensiones de un miembro estructural cuando este se encuentra sometido a cargas externas.

$$\delta = L_i - L_f \text{ (cm)} \quad \text{EC.4}$$

4.6.8. Deformación unitaria (ϵ). Se puede definir como la relación existente entre la deformación total y la longitud inicial del elemento, la cual permitirá determinar la deformación del elemento sometido a esfuerzos de tensión o compresión axial.

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \quad \text{EC.5}$$

4.6.9. Deformación elástica. Se presenta en la zona proporcional de la grafica de esfuerzo deformación donde se aplica la ley de Hooke. la deformación elástica se describe mediante la siguiente ecuación:

¹² CALLISTER, William. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. 1 Ed. España: Reverté, 2007, 739p. p.496.

$$\sigma = E\varepsilon$$

EC.6

Donde E es una constante que se denomina modulo de Young o modulo elástico. La deformación elástica es reversible y si se reduce el esfuerzo a su valor anterior la deformación desciende, y si se quita la carga de inmediato la muestra regresa a su tamaño y forma originales.

4.6.10. Deformación inelástica. Se presente cuando el material ya no puede recuperarse.

4.7. ANÁLISIS ESFUERZO –DEFORMACIÓN¹³.

Para este análisis se parte de la grafica esfuerzo - deformación que se puede observar puntos críticos que nos permitirán determinar las propiedades mecánicas de la muestra de suelo en cuestión.

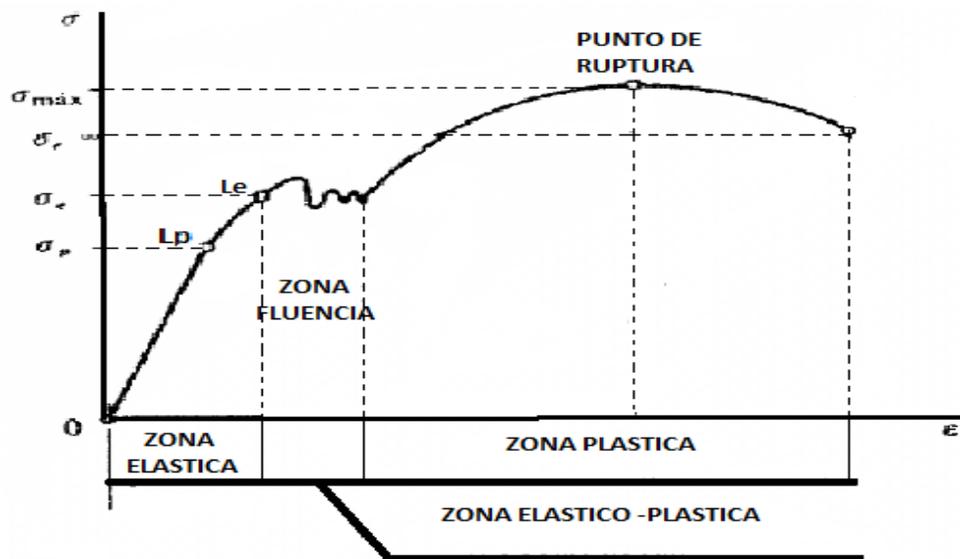


Figura 10. Curva esfuerzo deformación¹⁴

4.7.1. Limite de proporcionalidad (Lp). Es el último punto en la curva en el cual los esfuerzos aun son proporcionales a las deformaciones, a partir de este deja de tener valides la Ley de Hooke. Es importante señalar que este punto es utilizado como el máximo valor de esfuerzo a que un material debe ser sometido para su selección y aplicación en ingeniería.

¹³ VILCHEZ G, Ramón. óp. cit.

¹⁴ Ibíd., p.11.

4.7.2. Limite elástico (Le). A partir de este punto el material comienza su comportamiento inelástico o plástico.

4.7.3. Punto de Cadencia y Fluencia. Tienen punto superior e inferior. Pequeños incrementos en los esfuerzos producen grandes deformaciones, se dice que el material da de sí.

Desde el punto de fluencia hasta el punto de ruptura se presenta un incremento de resistencia del material.

4.7.4. Esfuerzo Último. También denominado esfuerzo máximo o límite de resistencia. Es el valor máximo o límite de resistencia. Es el valor máximo teórico que presenta el esfuerzo en la curva.

4.7.5. Punto de ruptura. En realidad se observan dos puntos de ruptura, uno real, que coinciden con el esfuerzo máximo real y uno aparente, también denominado teórico; es el momento en el que se presenta la fractura como son por tensión, corte o compresión.

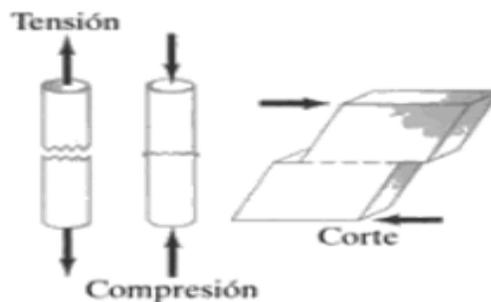


Figura 11. Fuerzas normales y cortantes¹⁵

A partir de esta curva esfuerzo-deformación las propiedades mecánicas obtenidas de la curva son:

4.7.6. Modulo de elasticidad. A la función tangente a la curva de proporcionalidad se denomina rigidez o modulo de elasticidad (E); que indica la resistencia del material a la deformación en la zona elástica.

¹⁵ GIANCOLI C, Douglas. Física: Principios con aplicaciones. Ed.6. México: Pearson education, 2006, 848p. p.241.

$$E = \frac{\delta}{\varepsilon} \quad \text{EC.7}$$

El modulo elástico posee un gran significado porque permiten calcular la deformación elástica resultante al aplicar determinado esfuerzo.

A continuación se presenta una tabla con algunos valores de modulo de Young para diversos tipos de suelo:

Tabla 5. Módulos de Young de arenas y arcillas

Tipo de Suelo	Modulo de Young (lb/pulg ²)	Modulo de Young (MN/m ²)
Arena suelta	1500-3500	10.35-24.15
Arena densa media	2500-4000	17.25-27.60
Arena densa	5000-8000	34.50-55.20
Arena limosa	1500-2500	10.35-17.25
Arena y grava	10000-25000	69.00-172.50
Arcilla suave	600-3000	4.1-20.7
Arcilla media	3000-6000	20.7-41.4
Arcilla firme	6000-14000	41.4-96.6

4.7.7. Tenacidad. Área bajo la curva del diagrama, indica la capacidad de un material para absorber energía antes de alcanzar la rotura, por acumulación de dislocaciones.

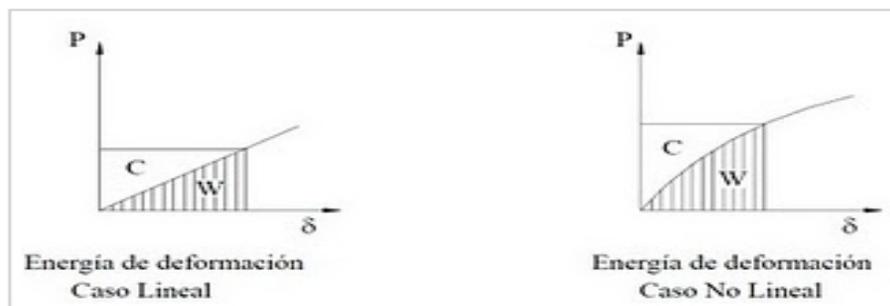


Figura 12. Energía de deformación lineal y no lineal¹⁶

El trabajo o energía de deformación W corresponde al área sombreada del triángulo mostrado en la figura, es decir, está representado por el área bajo la recta.

4.7.8. Plasticidad. Capacidad de un material para deformarse permanentemente.

¹⁶ Ibid.,

4.7.9. Fragilidad. Es la característica de un material de presentar una deformación permanente casi nula luego de la fractura .

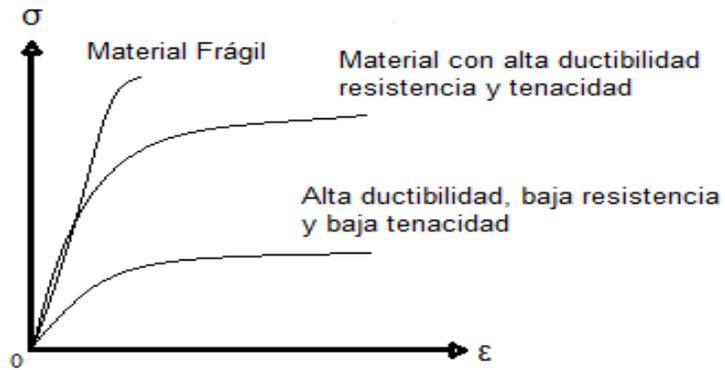


Figura 13. Lectura de fragilidad en el diagrama esfuerzo –deformación¹⁷

Cada material posee un tipo determinado de comportamiento al momento de aplicarle una carga; eso se puede constatar en el grafico esfuerzo –deformación de cada material.

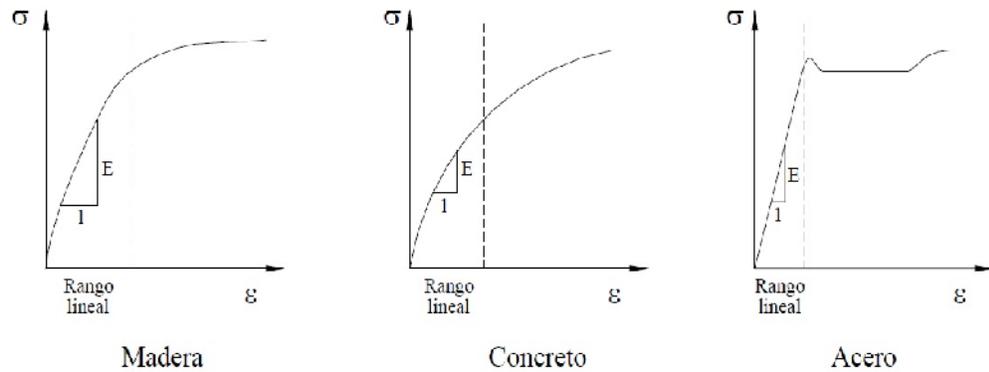


Figura 14. Grafica esfuerzo –deformación de la madera, concreto y acero¹⁸

¹⁷ MAYAGOITIA B, José de Jesús. Tecnología e ingeniería de Materiales. México: McGraw Hill, 259p, p.70.

¹⁸ Métodos Energéticos: Energía de deformación [En Línea]. 2010.

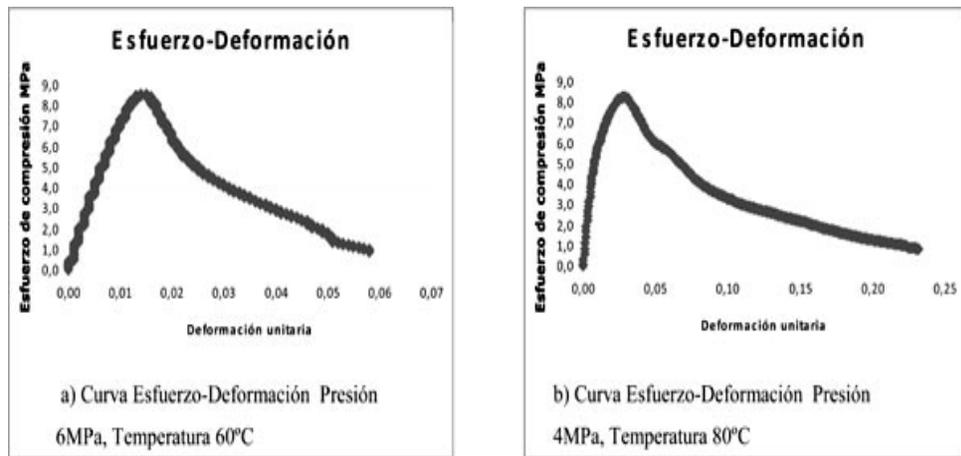


Figura 15. Diagrama esfuerzo- deformación de bambú¹⁹

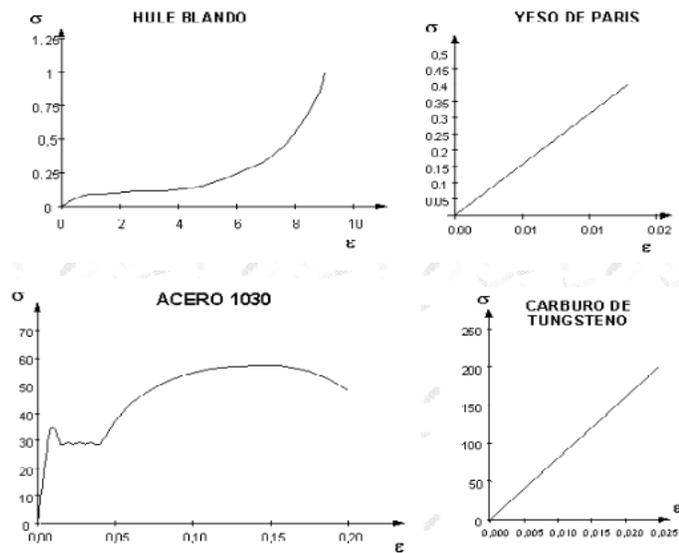


Figura 16. Diagrama esfuerzo –deformación de Hule blando, Yeso de Paris, Acero 1030, carburo de Tungsteno²⁰

4.8. ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA²¹.

Se realiza este ensayo para evaluar la resistencia al corte de suelos cohesivos. Para la realización análoga de esta práctica se debe tener los siguientes equipos:

¹⁹ MORA R, Lena, HERNANDEZ G, Jorge. The bambo mat board: A new technological proposal [En línea]. 2008.

²⁰ JIMENEZ, Darwin. Diagramas esfuerzo-deformación de hule blando [En línea].

²¹ BOWLES, Joseph. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. 1 Ed. México: McGraw-Hill, 1994, p.133.

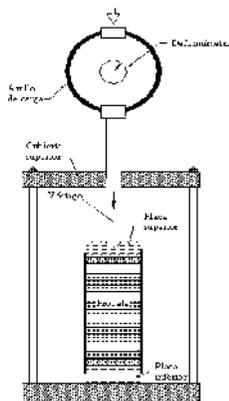


Figura 17. Máquina de compresión inconfiada²²

4.8.1. Generalidades. Utilizando la construcción del círculo de Mohr, es evidente que la resistencia al corte o cohesión (símbolo c) de una muestra de suelo puede ser calculada aproximadamente como:

$$c = \frac{q_u}{2} \quad \text{EC. 8}$$

Donde q_u = Resistencia a la compresión inconfiada del suelo.

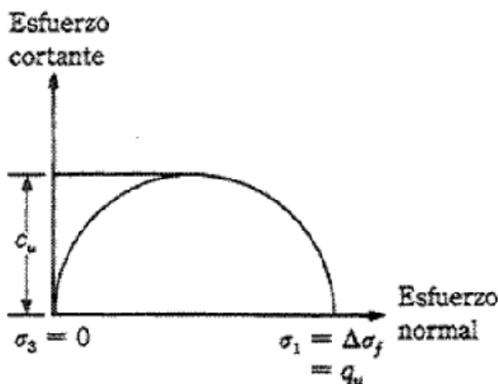


Figura 18. Círculo de Mohr²³

Este cálculo se basa en el hecho, de que el esfuerzo principal menor σ_3 es cero y que el ángulo de fricción interna ϕ del suelo se supone cero.

El ensayo de compresión simple es ampliamente utilizado porque es rápido y económico para lograr la obtención de la resistencia al corte de un suelo cohesivo.

²² *Ibíd.*, p.134.

²³ Prueba de compresión simple: Suelos [En línea]. 2010.

El experimento de compresión inconfiada puede hacerse con control de deformación unitaria o con control de esfuerzo. El experimento de deformación unitaria controlada es casi universalmente utilizado, adecuando la maquina con un juego de engranajes con una relación adecuada a un motor y así controlar la velocidad de avance de la plataforma de carga.

La deformación unitaria ϵ se calcula de la mecánica de materiales como:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \quad \left(\frac{mm}{mm} \right) \quad \text{EC. 9}$$

Donde:

Deformación total de la muestra axial (mm).

L_o = Longitud original de las muestra (mm).

El esfuerzo instantáneo σ del ensayo sobre la muestra se calcula como:

$$\sigma = \frac{P}{A'} \quad Kpa \quad \text{EC.10}$$

Donde P = Carga sobre la muestra en cualquier instante para el correspondiente valor de ΔL (kN).

A' = Área de la sección transversal de la muestra para la carga correspondiente P (m^2).

En la mecánica de suelos es convencional corregir el área sobre la cual actúa la carga; la razón por la cual se hace esto es para permitir una tolerancia en la forma como el suelo es realmente cargado en el terreno. El volumen total inicial de la muestra es:

$$VT = A_o L_o \quad (cm^3) \quad \text{EC.11}$$

Después de algún cambio ΔL en la longitud de la muestra:

$$VT = A'(L_o + \Delta L) \quad (cm^3) \quad \text{EC.12}$$

Finalmente se obtiene el área corregida:

$$A' = \frac{A_0}{1-\epsilon} \text{ (cm}^2\text{)} \quad \text{EC.13}$$

4.8.2. Muestras. Las muestras pueden ser prismáticas o cilíndricas pero se debe tener en cuenta que la relación longitud diámetro de las muestras para el experimento debe ser suficientemente grande para evitar interferencias de planos potenciales de falla a 45° y suficientemente corta para no obtener falla de columna. La relación que satisface estos criterios es:

$$2 < \frac{L}{d} < 3$$

Se puede observar en la siguiente grafica que:

- Cuando $\frac{L}{d} < 2$ se traslapan los planos de fallas potenciales.
- Cuando $\frac{L}{d} > 2$ no hay traslapo de zonas de falla.
- Cuando $\frac{L}{d} > 3$ la muestra puede comportarse como una columna.

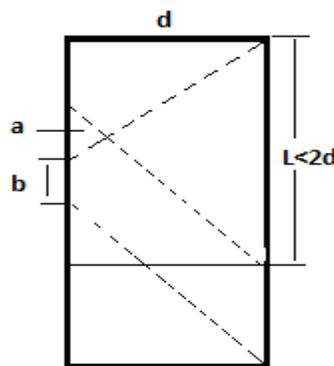


Figura 19. Deformación de la muestra

Las variables a determinar con esta práctica son Deformación Unitaria, Área Corregida y Esfuerzo Unitario.

4.8.3. Procedimiento

1. Cada grupo debe preparar dos muestras de tubo.
2. Colocar las muestras en recipientes húmedos o dejarlas en el cuarto de humedad para prevenir su desecamiento mientras se espera turno para la máquina de compresión.
3. Alinear cuidadosamente la muestra en la máquina de compresión. Prender la maquina y tomar lecturas en los deformímetros de carga y deformación como sigue:

10, 25, 50, 75, 100 y de aquí en adelante cada 50 a 100 divisiones del deformímetro hasta que suceda uno de los siguientes:

- La carga sobre la muestra decrece significativamente.
- La carga se mantiene constante por 4 lecturas.

4. Calcular la deformación unitaria, el área corregida y el esfuerzo unitario, para suficientes lecturas (unos 8 o 10 puntos bien espaciados) para definir la curva esfuerzo – deformación unitaria adecuadamente. Dibujar los resultados en una hoja de papel milimetrado (ambas curvas en la misma hoja); mostrar q_u como el esfuerzo pico en cada ensayo y mostrar el valor promedio de q_u , para ambos ensayos. Asegúrese de dibujar la deformación unitaria como abscisa.

5. Dibujar el círculo de Mohr utilizando el q_u promedio y mostrar la cohesión del suelo.

4.8.4. Errores considerables en Compresión Inconfinada.

- Mala calibración de los anillos.
- Error en la medida homogénea de las placas paralelas.
- Velocidad Irregular de subida del tornillo.

4.9. ENSAYO DE CORTE DIRECTO²⁴.

Es un procedimiento para la determinación rápida de los parámetros de resistencia de un suelo.

²⁴ *Ibíd.*, p.175.

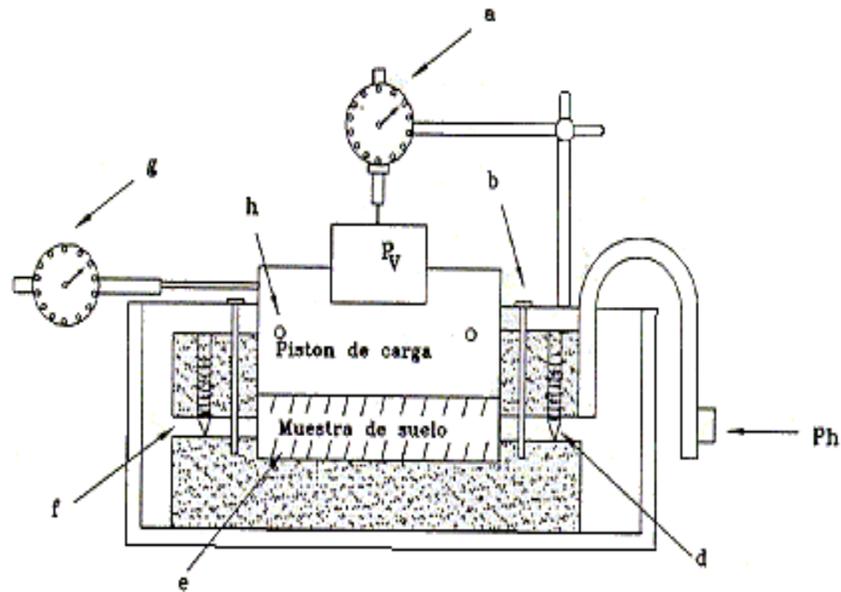


Figura 20. Máquina de corte directo²⁵

En la figura se aprecian los siguientes componentes de la caja de corte:

- a. Deformímetro para medir desplazamientos verticales.
- b. Barra de carga.
- c. Pasadores de alineación.
- d. Tornillos para separar las partes de la caja de corte.
- e. Bordes estriados para retener la muestra.
- f. Espacio mayor que el tamaño de la máxima partícula en la muestra.
- g. Deformímetro.
- h. Juego de tornillos para fijar en posición la cabeza de carga.

4.9.1. Generalidades. Este equipo induce una falla a través de un plano del suelo en un plano; sobre el cual actúan dos fuerzas una normal a la carga vertical (P_v) y una fuerza cortante debido a la aplicación de una carga horizontal (P_h).

Estos esfuerzos se calculan así:

La primera expresión es para el esfuerzo normal σ_n y la segunda es para el esfuerzo cortante τ .

²⁵ Ibid., p.177.

$$\sigma_n = \frac{Pv}{A} \left(\frac{N}{m^2} \right) \quad \text{EC.14}$$

$$\tau = \frac{Ph}{A} \left(\frac{N}{m^2} \right) \quad \text{EC.15}$$

Donde A = área nominal de la muestra (m²).

Donde estos esfuerzos deberían satisfacer la EC.de coulomb para suelos cohesivos (EC.16):

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi \quad \text{EC.16}$$

Como el esfuerzo normal y el cortante tienen el mismo significado se utiliza esto en la construcción del círculo de Mohr que es posible dibujar en un plano de ejes coordenados los valores de τ contra σ_n para los diferentes ensayos, se dibuja una línea a través del lugar geométrico de los puntos resultantes y se establece la pendiente de la línea como el ángulo y el intercepto con el eje τ como cohesión.

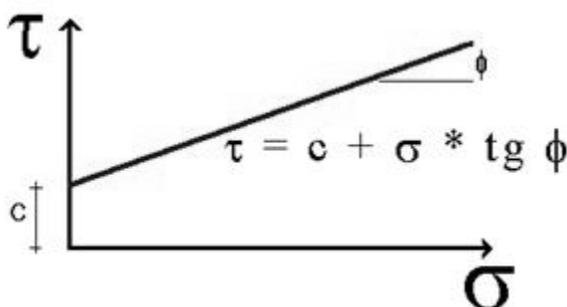


Figura 21. Diagrama para muestras en ensayo de corte directo²⁶

Con c = cohesión del suelo; donde para suelos no cohesivos es cero y la ecuación anterior cambia a la siguiente (EC.17):

$$\tau = \sigma_n \tan \phi \quad \text{EC.17}$$

Variables a determinar con esta práctica. Esfuerzo Vertical, Esfuerzo Horizontal y Cohesión.

4.9.2. Procedimiento

1. Pesar el plato grande de arena seca todo con la misma densidad.

²⁶ Ensayo de corte directo [En línea]. 2010.

2. Se ensambla cuidadosamente la caja de corte y fijar la caja de posición. obtener la sección transversal de la muestra.
3. Colocar cuidadosamente la arena en la caja de corte y verificar el nivel.
4. Aplicar la carga normal Pv deseada y colocar el dial para determinar el desplazamiento vertical.
5. Ajustar el deformímetro para los diferentes tipos de ensayo.
6. Comenzar la carga horizontal y tomar lecturas del deformímetro de carga, del de desplazamiento cortante y del vertical.
7. Retirar la arena de la caja de corte y repetir el proceso para 2 muestras adicionales.

4.10. MOTOR ELÉCTRICO²⁷.

Es una máquina que convierte energía eléctrica en movimiento o trabajo mecánico, a través de medios electromagnéticos.

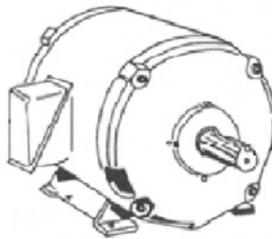


Figura 22. Partes básicas de un motor²⁸

Sus partes básicas son:

- **Rotor.** Es una pieza giratoria con un imán móvil el cual lleva unas salientes laterales que tiene en su interior unas pequeñas bobinas por las cuales circula la corriente eléctrica.
- **Estator.** Se encuentra ubicado alrededor del rotor, es un electroimán cubierto con un aislante, también dispone de una serie de salientes con bobinados eléctricos para que circule la corriente.

4.10.1. Motor Bifásico. Un motor bifásico requiere dos líneas de corriente y una de tierra. Trabaja en dos fases la primera carga un capacitor que normalmente sube la corriente a 240v para dar el impulso primario de movimiento y la segunda fase mantiene la corriente fluida para el uso del motor y la corriente alterna es la que no tiene un lado positivo y uno negativo.

²⁷ Manual de motores eléctricos [En línea].2004.

²⁸ ALVAREZ, Cintia. Motor eléctrico [En línea].2008. p.5.

La siguiente figura, representa las dos intensidades alternas de un sistema bifásico, cuyos devanados se ordenan en el estator de manera que, entre ellos haya un desfase de 120 grados entre sí, así como que estas tres formas de onda pueden representar, a su vez, los valores de los campos magnéticos alternos generados por las tres fases.

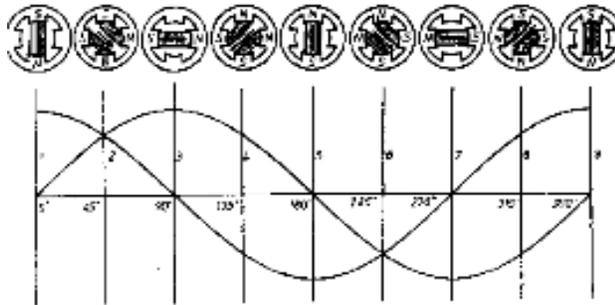


Figura 23. Funcionamiento de un motor bifásico²⁹

4.11. SISTEMAS MECÁNICOS DE TRANSMISIÓN

4.11.1. Poleas. Es una máquina simple que sirve para transmitir una fuerza. Se trata de una rueda, generalmente maciza y acanalada en su borde, que, con el curso de una banda que se hace pasar por el canal al cual se denomina garganta, se usa como elemento de transmisión para cambiar la dirección del movimiento en máquinas y mecanismos.

4.11.2. Relación de transmisión de un sistema de poleas simple. Consiste en dos poleas situadas a cierta distancia, que giran a la vez por efecto del rozamiento de una correa con ambas poleas. Las correas suelen ser cintas de cuero flexibles y resistentes. Es este un sistema de transmisión circular puesto que ambas poleas poseen movimiento circular.

²⁹ ALVAREZ, Cintia. óp. cit., p.12.

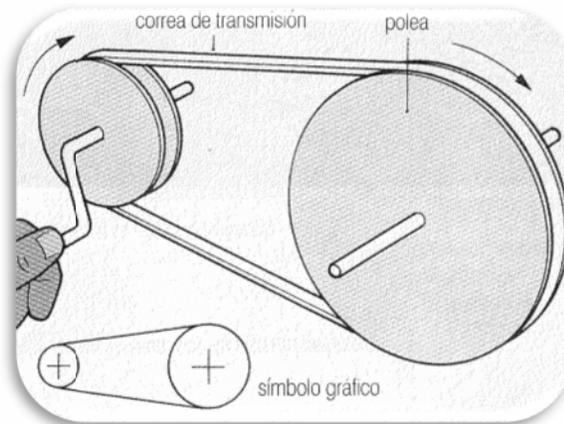


Figura 24. Transmisión de movimiento mediante poleas³⁰

Sus elementos son:

4.11.2.1. La polea conductora. También llamada polea motriz; la cual es ajustada al eje que tiene movimiento propio, causado por un motor o manivela.

4.11.2.2. Polea conducida. Es la polea ajustada al eje que tenemos que mover.

4.11.2.3. Correa de transmisión. Es una cinta o tira cerrada de cuero, caucho u otro material flexible que permite la transmisión del movimiento entre ambas poleas. La correa debe mantenerse lo suficientemente tensa pues, de otro modo, no cumpliría su cometido satisfactoriamente.

La relación de transmisión entre ambas poleas se define

$$i = \frac{n_2 \left(\frac{cm}{cm} \right)}{n_1 \left(\frac{cm}{cm} \right)} = \frac{D_1 \left(\frac{Rpm}{Rpm} \right)}{D_2 \left(\frac{Rpm}{Rpm} \right)} \quad \text{EC.18}$$

Donde:

n_2 : Velocidad de la polea conducida (Rpm).

n_1 : Velocidad de la polea conductora (Rpm).

D_1 : Diámetro de la polea conductora (cm).

D_2 : Diámetro de la polea conducida (cm).

4.11.2.4. Banda trapezoidal. Debe trabar los costados y no por el fondo cuando las gargantas son muy grandes con respecto a las bandas, existe el peligro de que se presente un resbalamiento que trae como consecuencia pérdidas de velocidad y

³⁰ Poleas y correas [En línea]. 2011.

desgaste de la banda, si la garganta es menor que el ancho de la banda corre el riesgo de que se corte a la banda.

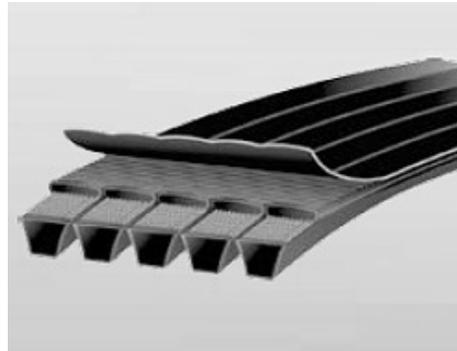


Figura 25. Banda trapezoidal³¹

4.11.3. Relación Tornillo Sinfín – Rueda Dentada. El funcionamiento es simple, por cada vuelta del tornillo, el engranaje gira un solo diente o lo que es lo mismo, para que la rueda dé una vuelta completa, es necesario que el tornillo gire tantas veces como dientes tiene el engranaje. Se puede deducir de todo ello que el sistema posee una relación de transmisión muy baja, o lo que es lo mismo, es un excelente reductor de velocidad y posee elevada ganancia mecánica.

$$i = \frac{1}{Z} \quad \text{EC.19}$$

Donde:

Z: Numero de dientes del engranaje.

4.12. PRESIÓN.

Se define como el cociente entre la acción de una fuerza sobre la unidad de superficie.

$$P = \frac{F}{A} \left(\frac{N}{m^2} \right) \quad \text{EC.20}$$

4.12.1. Variación de la presión con la altura³². Debido a que la atmósfera es compresible, el efecto de la fuerza gravitacional hace que su densidad (masa por unidad de volumen) disminuya con la altura, lo cual a su vez explica que la disminución de la presión con la altura no sea lineal.

³¹ Teoría de hilados. 1 Ed. Mexico: Limusa SA. 1999.125p. p75

³² CAMILLONI, Inés, Meteorología general [En línea].

A medida que uno asciende, la presión atmosférica decrece. En capas bajas cerca de la superficie, la disminución de la presión con la altura es de aproximadamente 1hPa cada 8m. Esta relación va disminuyendo a medida que la altura aumenta.

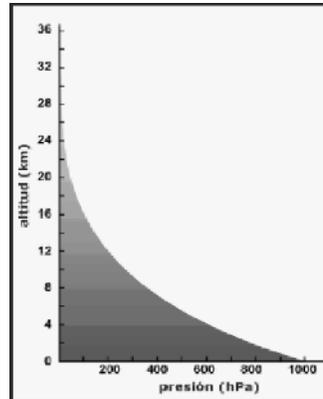


Figura 26. Escala de Presión³³

4.12.2. Variaciones horizontales de la presión³⁴. La presión atmosférica difiere de un lugar a otro, aunque no siempre debido a diferencias de altitud, la presión atmosférica varía de un lugar a otro y fluctúa de un día para otro y de hora en hora.

En latitudes medias, el tiempo está dominado por una continua procesión de diferentes masas de aire que producen cambios en la presión atmosférica y en el tiempo.

Una masa de aire es un volumen enorme de aire que es relativamente uniforme (horizontalmente) en cuanto a temperatura y concentración de vapor de agua, además la densidad del aire es una consecuencia de las diferencias de temperatura o contenido de vapor de agua o ambas.

4.12.3. Influencia de la temperatura y del vapor de agua. La temperatura es una medida de la energía cinética media de las moléculas. Debido a que la atmosfera no está confinada, de manera que el aire es libre para expandirse o contraerse, por lo que su densidad es variable. Cuando el aire es calentado, el espaciado entre sus moléculas internas aumenta, por lo que su densidad disminuye, provocando una disminución de la presión.

Generalmente la temperatura tiene mayor influencia sobre la presión que el contenido de vapor de agua.

³³ Ibid., p.4.

³⁴ Ibid., p.11.

4.13. SENSORES DE PRESIÓN³⁵.

4.13.1. Sensores de presión resistivos. Las celdas de carga y las Galgas extensiométricas son elementos metálicos que cuando se someten a un esfuerzo, sufren una deformación del material y por lo tanto una variación de su resistencia interna.

Cualquier sistema de medida de presión tipo resistivo, requiere de una tensión estable de excitación y normalmente está formado por un puente de Wheatstone. Este simple montaje, consiste de cuatro elementos resistivos conectados en forma de puente, una fuente de excitación (tensión) conectada a una de las diagonales y un detector de tensión o corriente conectado en la otra diagonal. El detector mide la diferencia entre las salidas de dos divisores potenciométricos conectados a través de la fuente de alimentación.

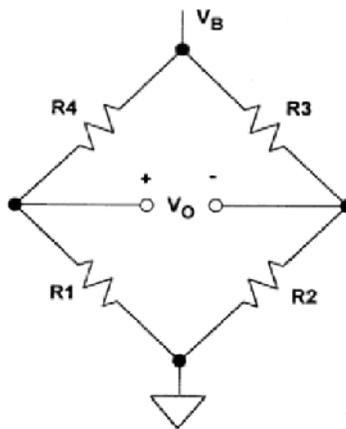


Figura 27. Circuito básico de un puente de Wheatstone³⁶

La Sensibilidad de un puente es la relación del máximo cambio esperado en el valor de salida a la tensión de excitación.

En la figura 27, se muestra un puente con cuatro resistencias variables, dos de las cuales se incrementan y las otras dos decrecen en la misma relación. Dos Galgas Extensiométricas idénticas, montadas en oposición configuran este circuito. La salida del puente, tendrá cuatro veces la salida de un puente con un solo elemento variable y además, la naturaleza complementaria de los cambios de resistencia da una salida lineal.

³⁵ MAYNÉ, Jordi, Sensores, acondicionadores y procesadores de señal [En línea]. 2003. 65p.

³⁶ *Ibíd.*, p.16.

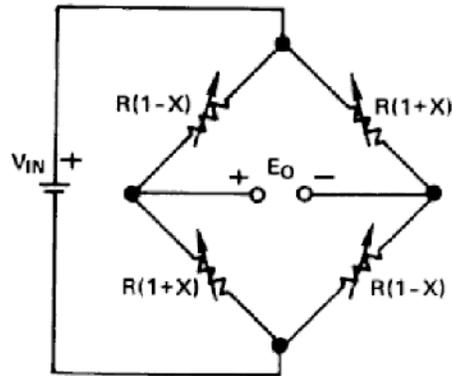


Figura 28. Circuito en Puente de resistencias con todos los elementos variables³⁷

4.14. ENCODERS³⁸.

Los encoders son dispositivos formados por uno o varios grupos de bandas opacas y translúcidas alternadas y un sensor que detecta la presencia o no de banda opaca. Existen dos tipos de encoders.

4.14.1. Encoder Incremental. Da un determinado número de impulsos por vuelta y requiere un contador cuando el rayo de luz es interrumpido para determinar la posición a partir de un origen de referencia.

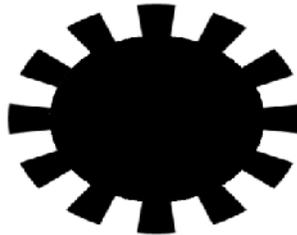


Figura 29. Esquema encoder incremental

Este tipo de encoder tiene por lo general una sola banda de marcas repartidas en el disco y separadas por un paso p . Un simple sistema lógico permite determinar desplazamientos a partir de un origen, a base de contar impulsos de un canal que genera una onda cuadrada.

³⁷ *Ibíd.*, p.17.

³⁸ Sensores de posición [En línea].

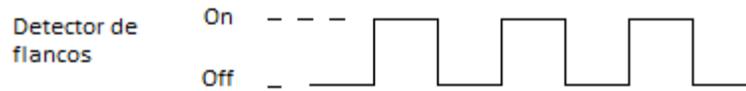


Figura 30. Señal de salida del encoder

Es muy importante saber que la resolución del encoder depende del número de impulsos por revolución.

$$Resolucion\ Angular = \frac{Una\ Vuelta}{Numero\ de\ pulsos} \quad EC.21$$

Generalmente, los encoders incrementales proporcionan mayor resolución a un costo más bajo que los encoders absolutos.

4.14.2. Sensor infrarrojo. Es un dispositivo electrónico capaz de medir la radiación electromagnética infrarroja de los cuerpos. Su rango de longitudes de onda va desde unos 0,7 hasta los 100 micrómetros. La radiación infrarroja es emitida por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor que 0° Kelvin, es decir, -273,15 grados Celsius. Existen varios tipos entre ellos está el de barrera que da un pulso cuando su rayo de luz es interrumpido.

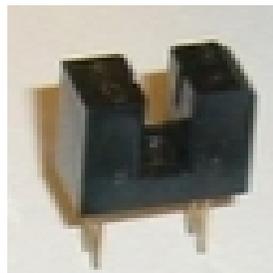


Figura 31. Sensor Infrarrojo³⁹

4.15. AMPLIFICADORES OPERACIONALES⁴⁰.

³⁹ Optical encoder Project. [En línea]

⁴⁰ BOYLESTAD, Robert. Electrónica: Teoría de Circuitos y dispositivos electrónicos. 8 Ed. México: Pearson Education, 2003, 1020p.

Es un amplificador diferencial de muy alta ganancia que posee alta impedancia de entrada y baja impedancia de salida. Por lo general, el amplificador operacional se utiliza para proporcionar cambios en la amplitud de voltaje (amplitud y polaridad), en osciladores, circuitos de filtro y muchos tipos de circuitos de instrumentación.

4.15.1. Entrada de terminal doble (diferencial). En la figura 32, se muestra una aplicación de una señal de entrada V_d entre las dos terminales de entrada, lo que da por resultado una salida amplificada en fase con la amplificada entre las entradas de signo positivo y signo negativo.

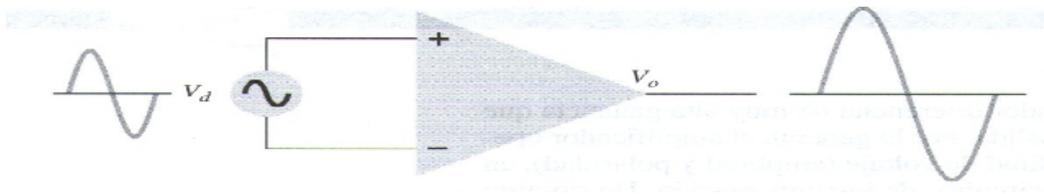


Figura 32. Entrada diferencial⁴¹

4.15.2. Amplificadores de instrumentación. Son amplificadores diferenciales con un CMRR (Relación de rechazo en modo común) alto, muchos de ellos con ganancia variable. Pueden utilizarse tanto como amplificador inversor y como no inversor.

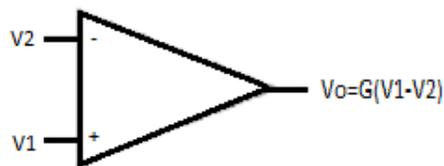


Figura 33. Amplificador diferencial

Dado un amplificador diferencial como el de la figura, la salida V_o es dependiente de la resta de sus entradas diferenciales.

4.16. MÓDULO USART⁴².

La configuración USART, (Transmisor-Receptor serie síncrono-asíncrono universal), además conocido como SCI (Interfaz de comunicación serie), permite

⁴¹ *Ibíd.*, p.676.

⁴² GARCIA BREIJO, Eduardo. *Compilador C CCS y Simulador PROTEUS para Microcontroladores PIC*, México: Alfaomega, 2008. 263p. p.168.

la comunicación con un ordenador trabajando en modo Full-Duplex asíncrono o con periféricos, trabajando en modo half-duplex (Síncrono).

La principal función del USART es la de transmitir o recibir datos en serie, esta función se divide a su vez en síncrona y asíncrona. En la transmisión asíncrona, se hace uso de una señal de reloj y una sola línea de datos.

La transmisión serie consiste en enviar los datos bit a bit a través de una línea común en periodos de tiempo fijos, dando lugar a la llamada velocidad de transmisión o número de bits enviados por segundo (baudios), Tanto el emisor como receptor poseen registros de desplazamiento para realizar la comunicación. Los bits están codificados en NRZ (Nivel Alto: 1, Nivel Bajo: 0), NRZI (cambio de nivel: 1, sin cambio de nivel: 0), etc.

4.16.1. Numero de bits. Es el número de bits que conforman el dato a enviar en el presente trabajo corresponde al valor de la fuerza censado que ejerce la máquina de compresión o la fuerza transversal de la máquina de corte directo y se utilizo 8 bits de datos.

4.16.2. Paridad. Aquí se especifica la paridad utilizada en la transmisión y recepción que es un bit de la trama que se envía o recibe en el proceso.

Tabla 6. Tipos de paridad para transmisión

Valor de configuración	Tipo de paridad
0	No paridad
1	impar
2	par

4.16.3. Bit de parada. Son el número de bits que se utiliza para identificar que la trama ha finalizado y continúa otra.

4.16.4. Protocolo RS232. Las características eléctricas de la señal en este protocolo, establecen que la longitud máxima entre el DE y e DCE no debe ser superior a los 15 metros y la velocidad máxima de transmisión es de 20.000 bps. Los niveles lógicos no son compatibles TTL, deben situarse dentro de los siguientes rangos: 1 lógico entre -3V y -15V y 0 lógico entre +3V y +15V.

5. METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta la descripción del Sistema Automatizado para la adquisición de datos referentes a la medida de esfuerzo y deformación de los ensayos de Compresión Inconfinada y Corte Directo del laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño. Además de una descripción de los pasos que hicieron posible el diseño del equipo electrónico y la aplicación en software.

5.1. MECÁNICA DE LA MAQUINARIA DE LABORATORIO.

5.1.1. Caja reductora de velocidad. Tanto la máquina de compresión simple, como la máquina de corte directo, cuentan con el mismo sistema de reducción de velocidad; su construcción externa es en lamina de acero de 3/16 pulgadas de espesor.

5.1.2. Mecanismo de movimiento. Está conformado por un piñón corona en acero de diámetro 80mm con 50 dientes de desplazamiento y un tornillo de una pulgada de diámetro y 8 hilos por pulgada de paso, provisto en su parte inferior de una ranura que impide movimientos rotatorios y un canal guía (Horizontal para la máquina de compresión y vertical para la de corte) por donde se desplaza el tornillo. La relación de transmisión de este sistema viene determinada con la EC.23.

$$i = \frac{1}{Z} = \frac{1}{50}$$

Donde, aproximadamente el movimiento de una vuelta de la manivela utilizada, ejerce el desplazamiento de 4 dientes del engranaje. Para dar una vuelta completa de este engranaje, el eje debe girar aproximadamente 12.5 veces.

5.2. MOTORES BIFÁSICOS.

Este tipo de motores solo funcionan en una red eléctrica de 220 voltios, poseen en su interior una caja reductora que tiene aproximadamente una relación de reducción de velocidad (i).

$$i = \frac{3000}{25} \left(\frac{RPM}{RPM} \right) \quad \text{EC.22}$$

5.2.1 Sentido de giro del motor. Para lograr la variación del sentido de giro del motor, se recurre a cambiar la posición del capacitor de arranque, produciéndose de manera rápida y eficiente.

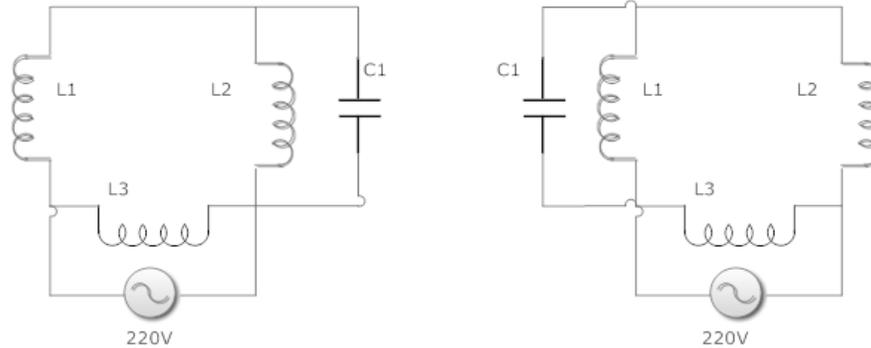


Figura 34. Diagrama de conexiones para el cambio de giro en motor bifásico

5.2.2. Potencia máxima del motor. Observando algunos ensayos manuales anteriores, se pudo observar que el valor máximo obtenido de fuerza sobre una muestra de suelo, alcanza hasta los 450 kgf.

Se realiza la conversión de 450 kgf a newton.

$$\begin{aligned} 1 \text{ kgf} &= 9.81 \text{ N} \\ 450 \text{ kgf} &= x \\ x &= \frac{450 \cdot 9.81}{1} = 4414.5 \text{ N} \end{aligned} \quad \text{EC.23}$$

Generalmente, las dimensiones máximas de las muestras de suelo cilíndricas tienen como radio.

$$r = 3 \text{ cm} = 0.003 \text{ m}$$

El trabajo máximo del sistema se encuentra mediante la EC.29, debido a que la fuerza es constante.

$$W = r * F \text{ (m.N)} \quad \text{EC.24}$$

Al reemplazar los valores comunes del radio de las muestras y la máxima fuerza aplicada sobre estas en la ecuación anterior (EC.24), se obtiene.

$$W = 0.003 * 4414.5$$

$$W = 10.3005 J$$

La potencia en este caso se define como.

$$P = \frac{W}{t} = 13.2435 \frac{J}{s} \quad \text{EC.25}$$

Ahora, se procede a evaluar la potencia del motor, para compararla con la potencia máxima que exigiría el sistema en cuestión (EC.29). El motor utilizado tiene como potencia.

$$P = \frac{1}{8} Hp * \frac{746.5W}{1 Hp} = 18.33 \frac{J}{s} \quad \text{EC.26}$$

Se observa claramente que la potencia del motor es mayor que la máxima que solicita el sistema.

$$18.33 \frac{J}{s} > 13.24 \frac{J}{s}$$

Por tanto el motor, puede trabajar óptimamente para los ensayos de laboratorio a optimizar.

5.3. REDUCCIÓN DE VELOCIDAD MEDIANTE SISTEMA DE POLEAS.

Los ensayos de laboratorio requieren que la velocidad de compresión de las muestras de suelo este en un rango aproximadamente entre 5 Rpm y 7 Rpm, con el fin de asegurar la eficacia en las pruebas.

Teniendo en cuenta, que las revoluciones de salida del motor son aproximadamente de 25 RPM. Podemos referirnos a la EC.18.

Despejando de la EC.18:

$$n2 = \left(\frac{d1}{d2} \right) * n1 \left(\frac{\text{pulgadas}}{\text{pulgadas}} * RPM \right)$$

Se considera el valor de velocidad de la polea de salida del sistema como $n2$.
Dónde:

$$d1 = 1 \text{ pulgada.}$$

$$d2 = 4 \text{ pulgadas.}$$

$$n1 = 25 \text{ RPM.}$$

$$n2 = \left(\frac{1}{4}\right) * 25$$

$$d2 = 6.25 \text{ RPM}$$

El valor obtenido matemáticamente (6.25), asegura que la velocidad en las máquinas este en el rango adecuado, con esta velocidad se asegura el óptimo funcionamiento de los ensayos respectivos.

5.4. ENCODER DE POSICIÓN.

El tipo de encoder utilizado para el sistema fue incremental, debido a su sencillez y economía. Se lo usa con el fin de medir el cambio de dimensión en la muestra al aplicar la compresión con lo que se encuentra el valor de la deformación.

Esto se realiza de la siguiente manera:

- Se diseña un encoder de paso 5°, este paso me genera un número de betas opacas.

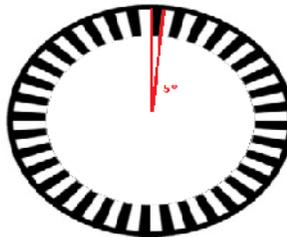


Figura 35. Encoder Implementado

El número de betas opacas se calcula así:

$$\text{Numero de betas opacas} = \frac{360}{2*5} = 36 \quad \text{EC.27}$$

La resolución del sistema se calcula teniendo en cuenta que el número de pulsos es igual al número de betas opacas así:

$$Resolucion = \frac{1 \text{ vuelta}}{36} = 0,0277 \quad \text{EC.28}$$

Para la calibración del sistema se realizó la toma del número de vueltas de la polea de 4 (pulgadas) en un minuto y se registro la medida de deformación registrada en un deformímetro análogo de tolerancia 10^{-3} pulgadas.

Tabla 7. Calibración de deformación

Tiempo	No.de vueltas polea 4"	Deformación $\times 10^{-3}$ pulgadas
1min	9 $\frac{1}{4}$	119

A partir de estos datos se procede a calcular la deformación causada en una vuelta:

$$Def.en \text{ una vuelta} = 119 \times 10^{-3} \quad \text{EC.29}$$

$$Def.en \text{ una vuelta} = 12,864865 * 10^{-3} \text{ pulg.}$$

Luego se divide entre el número de dientes del encoder para saber el incremento de la deformación a través del incremento en la rotación de la polea que presenta la muestra valor que a la final varia por la resistencia que presenta la muestra mostrando oposición al desplazamiento.

$$Def.en \text{ un diente} = \frac{12,864865}{36} * 10^{-3} \text{ pulg} \quad \text{EC.30}$$

$$Def.en \text{ un diente} = 0.3573574 * 10^{-3} \text{ pulg} * \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ pulg}}$$

$$Def \text{ en un diente} = 0.907687 \text{ cm}$$

Constante con la cual se procede a calibrar el sistema tanto en el microcontrolador como en la aplicación en Labview.

5.5. RESPALDO DE ENERGÍA.

El respaldo de energía, se realiza únicamente sobre el sistema de adquisición de las maquinas, debido a que este, requiere para su funcionamiento, tanto un voltaje positivo como negativo en sus terminales de 5 y -5 (Voltios).

No se tiene en cuenta el respaldo de energía hacia los motores bifásicos, debido a que se requiere de una UPS, lo que conllevaría gastos altamente mayores.

5.5.1. Cargador de baterías. Presenta un inconveniente, debido a que el tiempo de carga está entre las 10 y 14 horas; aunque con la ventaja de la no existencia de peligro de sobrecarga para tiempo prolongado en la carga de las baterías.

Para realizar la carga, se hace uso de 4 baterías AA, tanto para la obtención positiva como negativa de corriente, los dos tipos de tensiones se logran al juntar en un nodo (Tierra), el terminal positivo de 4 baterías con el terminal negativo de otras 4 baterías. Los dos terminales restantes son el voltaje positivo de 6V y el voltaje negativo de -6V.

$$\text{Voltaje total} = 1.5 * 4 \text{ (V)}$$

EC.31

$$\text{Voltaje total} = 6 \text{ V}$$

5.5.2. Regulación de voltaje. Para lograr un voltaje fijo de 5 y -5 (voltios) de alimentación sobre el sistema de adquisición, se hace uso de reguladores de tensión con referencia LM7805 y LM7905 sobre las salidas de tensión de las baterías.

5.6. MEDIDA DE PRESIÓN.

En la industria hay un amplísimo rango de sensores de presión, para seleccionar el sensor más óptimo para la variable de medición, se toma en cuenta factores como el tamaño, tiempos de respuesta, rango de funcionamiento, peso, voltaje de funcionamiento, etc. Todo esto para lograr la máxima exactitud en el sensado.

Tabla 8. Sensores para medir Presión

Sensor Presión	Rango	Nivel de Temperatura (C°)	Características
FC22	0 a 50 Kgf	-40 a 85	Sensor de fuerza de compresión medio a bajo costo y alto rendimiento, compensado por cambios

			en cero y con respecto a temperatura.
FC23	0 a 906 Kgf	-40 a 85	Sensor de fuerza de compresión alta a bajo costo y alto rendimiento, compensado por cambios en cero y con respecto a temperatura.

Para la aplicación se considera más óptima la celda de carga FC23. Debido a su alto rango de trabajo (906 Kgf), además de sus características y funciones que se necesitan para sensor fuerza en la aplicación.

- Bajo ruido.
- Sensor Robusto, con alto rango de capacidad.
- Alta confiabilidad.
- Tiempo de respuesta rápido.
- Ciclo largo de expectativa de vida.
- Baja deflexión.
- Diseño botón de carga compacto.
- Empaquetado industrial estándar.



Figura 36. Celda de carga FC23⁴³

5.6.1. Compensación al Error por temperatura. Viene definido por el fabricante. Esta celda está compensada en temperatura en un rango de 0°C a 50°C. por lo que no hay necesidad de realizar un acondicionamiento electrónico extra para este factor; considerando que en la ciudad de Pasto, el promedio de temperatura está entre los 18°C y 22°C, promedio muy inferior a los 50°C que compensa la celda.

⁴³ FC23 Datasheet [En línea]. Meas-Spec.

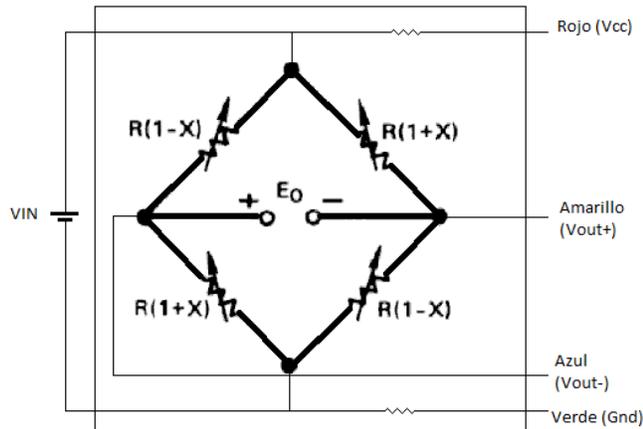


Figura 37. Esquema circuital Celda de Carga FC23

En el circuito de la celda, se aprecia una relación lineal, entre la salida E_o y la entrada V_{IN} , como se aprecia en la EC.36.

$$E_o = \frac{R(1+X)}{2R} * V_{IN} - \frac{R(1-X)}{2R} * V_{IN} \quad \text{EC.32}$$

$$E_o = V_{IN} \left(\frac{2RX}{2R} \right) = X * (V_{IN})$$

Donde X , es el factor de conversión, dependiente del voltaje diferencial entre las dos salidas de la celda FC23.

5.7. AMPLIFICACIÓN DE LA SEÑAL.

En esta etapa se recibe las señales en modo diferencial obtenidas de la celda de carga y se amplifica a un valor accesible para la conversión digital en el microcontrolador.

La señal obtenida por la celda de carga varía de 0V a 100mV, por lo cual se hace necesario una amplificación mediante un Amplificador Operacional de Instrumentación, el dispositivo utilizado tiene la referencia INA128P.

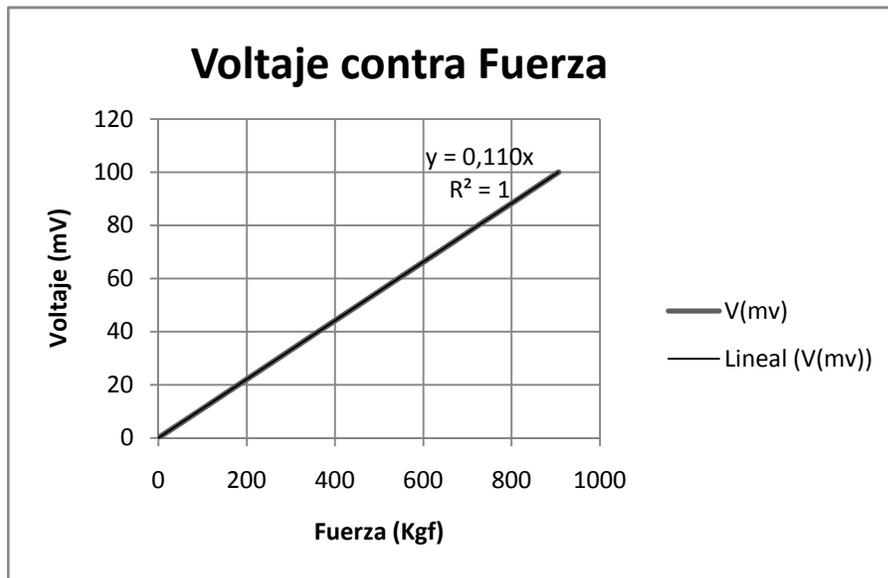


Figura 38. Curva Característica Celda de Carga FC23

En donde se puede apreciar por tanto, que la función característica para conversión de voltaje a fuerza de la celda de carga es.

$$F (Kgf) = \frac{V (Voltios)}{0.110} \quad \text{EC.33}$$

5.7.1. Amplificador de Instrumentación INA128P. Se hace uso de este tipo de amplificador por las siguientes características:

- Bajo voltaje de offset: 50uV.
- Desvió máximo de 0.5uV/°C.
- Alto rechazo en modo común: 120dB.
- Alto rango de voltaje: 2.25 a 18V.
- Protección en entradas hasta a 40V.
- Disponible en empaquetado de 8 Pines

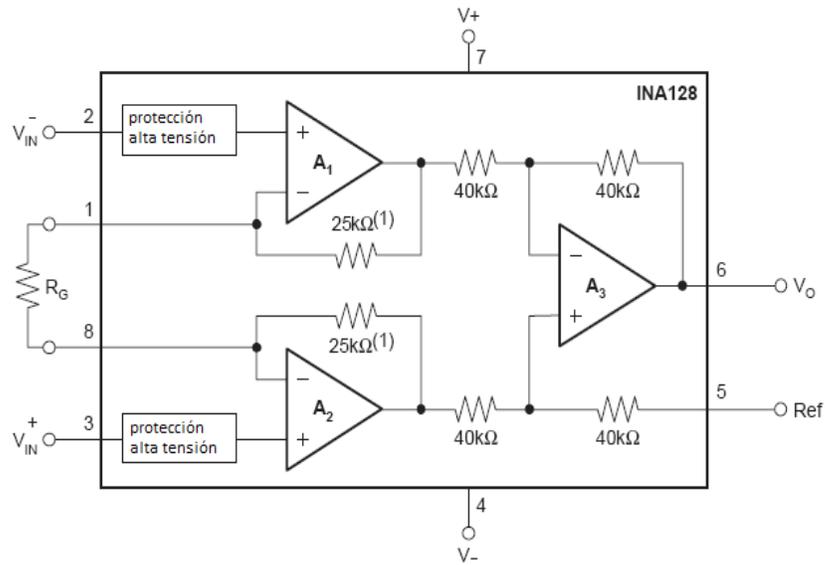


Figura 39. Amplificador de Instrumentación INA128P⁴⁴

Sobre las entradas del amplificador INA128P (Pines 2 y 3), vienen las salidas diferenciales de la celda de carga FC23.

La amplificación interna del dispositivo INA128P, se realiza mediante la EC.34.

$$G = 1 + \frac{50k}{RG} \quad \text{EC.34}$$

Debido a que el rango de la celda de carga es bajo para ser adquirido y digitalizado directamente mediante un microcontrolador; se elige una ganancia adecuada que posibilite el aumento de este rango a magnitudes de voltaje fácilmente adquiridas por este.

Para nuestra aplicación elegimos una ganancia en el amplificador de $G=42$, por lo cual, la resistencia viene dada por la ecuación:

$$RG = \frac{50k}{G - 1}$$

$$RG = 1219$$

El valor más cercano para RG es de 1200 . Donde RG se ubica entre los pines 1 y 8 del Amplificador.

⁴⁴ INA128P Datasheet [En línea]. Texas Instruments.

El valor medido con multímetro de la resistencia, es de $R_G = 1226$. Por lo que de la EC.34 la ganancia G se redefine así:

$$G = 41.78$$

Entonces, dada la amplificación, el nuevo rango de voltajes a la salida del amplificador de instrumentación viene dado por la ecuación.

$$F = \frac{V}{0,00463} \quad \text{EC.35}$$

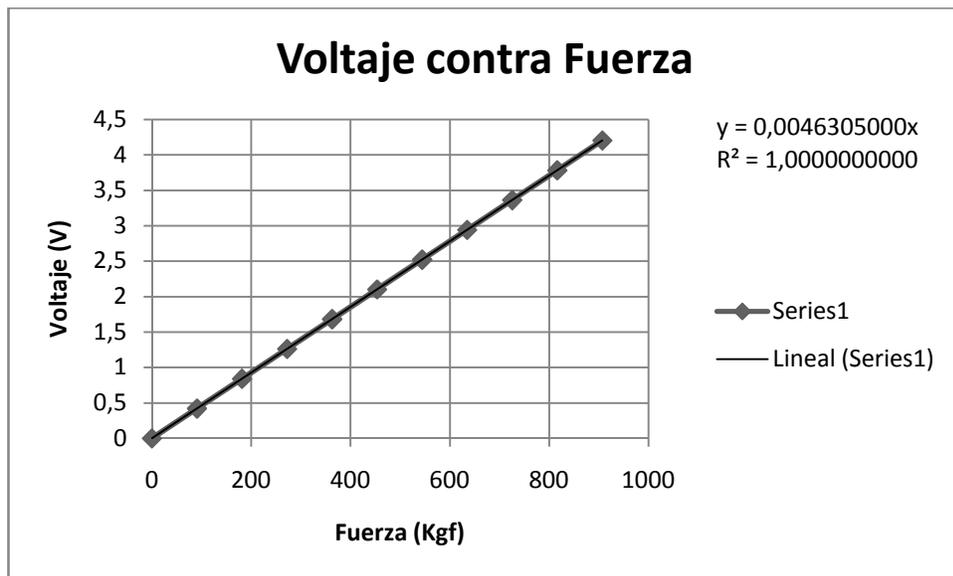


Figura 40. Curva característica para amplificación de voltaje

El valor máximo en teoría que es adquirido por el Microcontrolador es de 4.2V, valor que está dentro del rango de conversión del PIC16F877A, debido a que el voltaje de referencia que se utiliza es de 5 (Voltios). Además se espera que la fuerza máxima aplicada sobre las muestra de suelo, no alcance el máximo valor de sensado de la celda (906 Kgf).

5.8. ADQUISICIÓN DE SEÑALES.

En esta parte del diseño se hace uso de un Microcontrolador PIC16F877A de Microchip, debido a algunas de sus características generales:

- Procesador de arquitectura RISC avanzada.
- Solo 35 instrucciones.
- Todas las instrucciones se ejecutan en un ciclo de reloj, a excepción los saltos que requieren dos.

- Frecuencia de operación de 0 a 20 MHz.
- Hasta 8K palabras por 14 bits para la memoria de programa, tipo Flash.
- Hasta 368 bytes de memoria de datos RAM.
- Hasta 256 bytes de memoria de datos EEPROM.
- Hasta 4 fuentes de interrupción.
- Pila de 8 niveles.
- Reset de encendido (POR).
- Timer de encendido (PWRT).
- Timer de arranque del oscilador (OST).
- Sistema de vigilancia Wachtdog timer.
- Protección programable de código.
- Modo SEP de bajo consumo de energía.
- Opciones de selección de oscilador.
- Programación y depuración serie "In-Circuit" (ICSP) a través de dos pines.
- Lectura / Escritura de la CPU a la memoria flash del programa.
- Rango de voltaje de operación de 2 a 5.5V.
- Alta disipación de corriente de la fuente: 25mA.
- Rangos de temperatura: Comercial, Industrial y Extendido.
- Voltaje de alimentación comprendido entre 2 y 5.5V.
- Bajo consumo de potencia.

5.8.1. Conversor Analógico – Digital. La señal analógica obtenida en la celda de carga y amplificada mediante el amplificador de instrumentación INA128P, pasa a ser convertida a señal digital, mediante el módulo de conversión A/D en el PIC16F877A.

La resolución para el conversor que se usa en el microcontrolador viene dado por la EC:

$$Resolución = \frac{V_{in}}{2^{N-1}} (\text{voltios}) \quad \text{EC.36}$$

Donde:

V_{in} : Tensión de entrada (Voltios).

N: Número de bits del conversor.

Para obtener la resolución para el voltaje de entrada utilizado de 5V.

$$Resolución = \frac{5}{2^{10-1}}$$

$$Resolución = 4.88 \text{ mV}$$

Sin embargo la resolución del conversor puede cambiar, debido a la modificación de tensión de fondo de escala (tensión de referencia). Ya que los PICS permiten cambiar la tensión de referencia en un valor absoluto (de 0 (Voltios) a +Vref) o en margen (de -Vref a +Vref).

Se hace uso de un tiempo de retardo de 10useg en el momento que se da inicio al ADC del Microcontrolador, esto con el fin de lograr una optima adquisición del dato de voltaje recibido del amplificador.

5.8.2. Interrupción exterior por RB0. La medición del ancho de pulso se detecta mediante el flanco de subida y después su flanco de bajada. Se hace uso de esta interrupción, ya que permite configurar el flanco de disparo.

5.8.3. Timer1. Al posibilitarse la interrupción, se inicializa el valor del temporizador (TIMER1) en aquel momento, se cambia la activación de la interrupción por RB0 a flanco de bajada y cuando se produzca la siguiente interrupción por dicho flanco se guarda el valor del temporizador. El ancho de pulso es por tanto la diferencia entre el valor del TIMER1 en el flanco de subida y el flanco de bajada

5.9. MÓDULO LCD.

Para lograr una visualización adecuada de los datos adquiridos por el Microcontrolador, se hace uso de un módulo LCD de 2 líneas de 16 caracteres (2x16) con referencia LCM1602A.

La pantalla LCM1602A se controla mediante el puerto D del Microcontrolador, por medio de 7 pines de control, 4 para el bus de datos (RD4 a RD7) y 3 pines para el flujo y control de los mismos (RD0 a RD2).

A continuación, se hace la descripción del funcionamiento de cada pin utilizado del modulo LCD.

- **Pin 1.** Conexión a tierra (Vss).
- **Pin 2.** Alimentación de corriente (Vdd).
- **Pin 3.** Tensión para ajustar contraste (Vlc).
- **Pin 4.** Llamado RS (Selector de registros). Según su valor (Binario), el modulo LCD interpreta la presencia en el bus de datos de un símbolo, carácter alfa numérico o instrucción.
- **Pin 5.** Llamado R/W (Lectura/Escritura), Según su valor (Binario), se hace la lectura o escritura de caracteres del bus de datos del modulo LCD.
- **Pin 6.** Llamado E (Enable), se encarga de habilitar o deshabilitar el modulo LCD.

- **Pines del 11 al 14.** Utilizadas para el dato que representa una instrucción para el modulo LCD o un carácter alfa numérico.

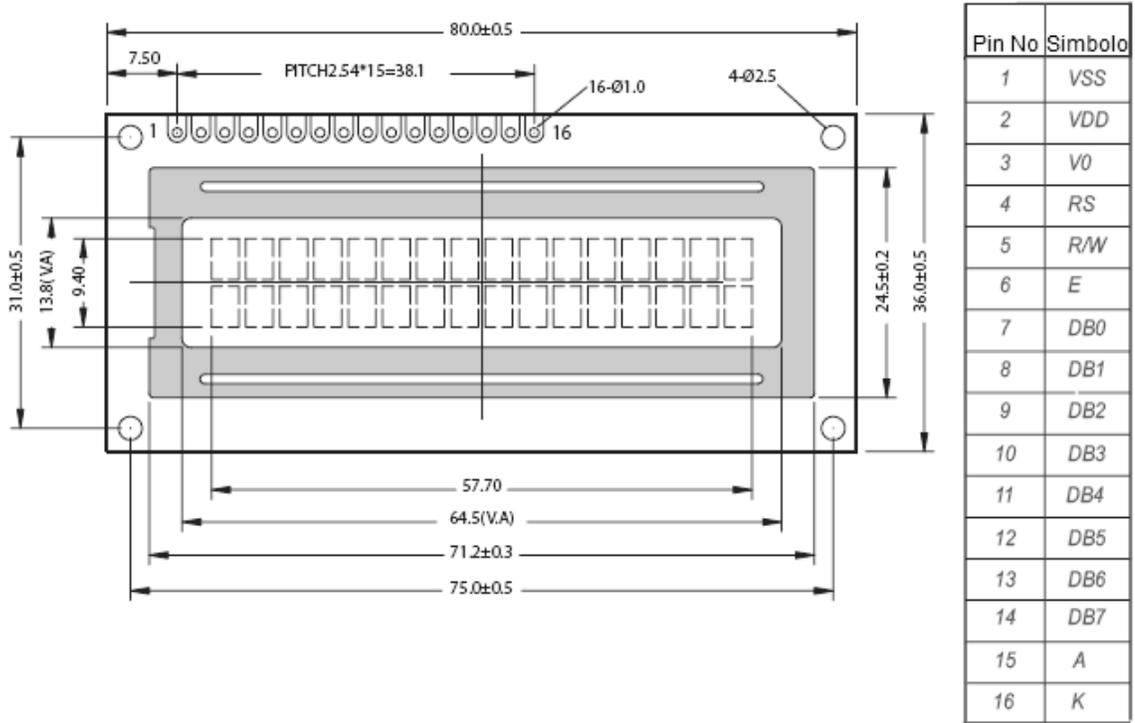


Figura 41. Configuración de pines del modulo LCD⁴⁵

5.10. TRANSMISIÓN SERIAL.

Se hace uso de la transmisión asíncrona, donde la frecuencia de reloj se acuerda antes de la transmisión, configurando la velocidad mientras que la sincronización se realiza durante la transmisión. Cada trama de datos tiene un tamaño fijo y poseen un bit inicial o de arranque (Start) y un bit final o de parada (Stop) que permiten realizar dicha sincronización. La transmisión hace uso de 2 líneas, una transmisora Tx (Pin RC6) y otra receptora Rx (Pin RC7), transmitiendo y recibiendo de manera simultánea. La velocidad utilizada de transmisión es de 9600 baudios sin paridad de bits.

El PIC16F877A utiliza señales TTL en el modulo USART, por lo que se hace uso de un conversor Serial – USB, mediante la tarjeta FT232.

⁴⁵ LCM1602A Datasheet [En línea]. Longtech.

El envío de los datos, tanto de la celda de carga como del encoder, se realiza mediante una sola trama, la cual se decodifica en la aplicación de Labview.

5.10.1. Conversor SERIAL-USB FT232. Este dispositivo gestiona la comunicación con el puerto del PIC. Además con el uso de este, podemos comunicarnos con el PC y mediante la aplicación diseñada en Labview, manejar los datos procedentes del PIC. Este dispositivo además presenta las siguientes características:

- Conversor Serial Asíncrono a USB en un único Chip.
- Resistores integrados en las terminales USB.
- Rango de transferencia desde los 300 baudios hasta los 3Mbaudios a niveles TTL.
- 128 bytes para recepción y 256 para transmisión.
- Rango extendido de operación por temperatura desde -40°C hasta los 85°C.

La configuración del puerto se realiza como en cualquier componente y se pueden variar todas las propiedades que posee el puerto serie.

5.11. PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR PIC16F877A.

A continuación se presenta el código de programación (en Compilador CCS) que se emplea en el Microcontrolador PIC16f877A., para lograr la obtención de los datos entregados por la celda de carga FC23 y amplificados por el amplificador operacional INA128P, además de posibilitar la comunicación con un computador mediante transmisión serial, usando un conversor serial – USB FT232 y la visualización en un módulo LCD.

El algoritmo diseñado, se conforma de un programa principal, que cuenta con varios submenús para la elección respectiva por el usuario de cualquiera de los ensayos a realizar (compresión o corte). Además se hace uso de 4 subprogramas, uno para calibración de la celda de carga, un segundo para realizar la adquisición de datos en la aplicación en Labview; un tercero que se encarga de mostrar los datos sensados y la deformación en el módulo LCD sin comunicación con un computador y un último en el cual se introducen los datos de las medidas de las muestras de suelo (Prismática o cilíndrica) para los dos ensayos respectivos.

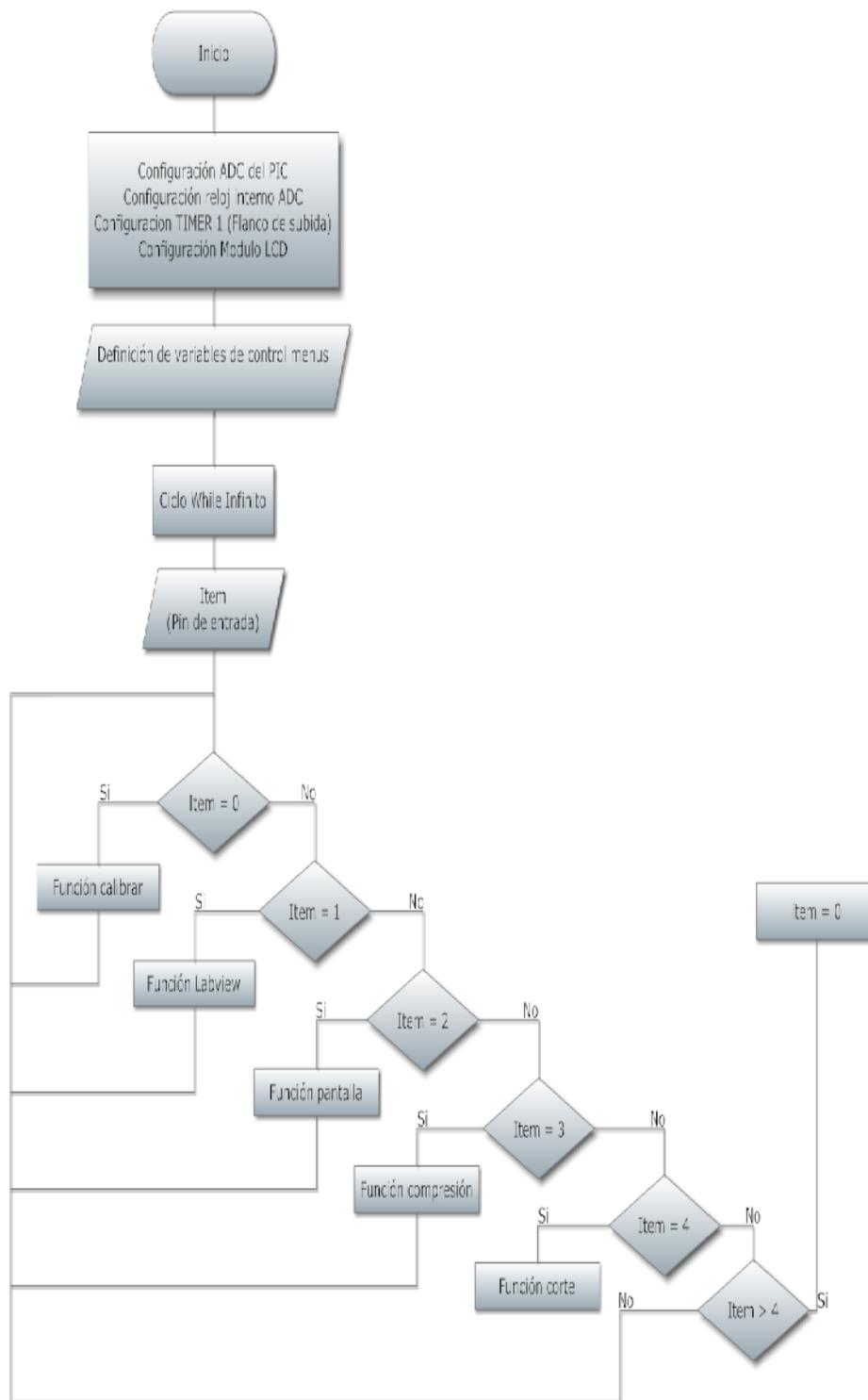


Figura 42. Diagrama de flujo programa principal



Figura 43. Diagrama de flujo función calibrar

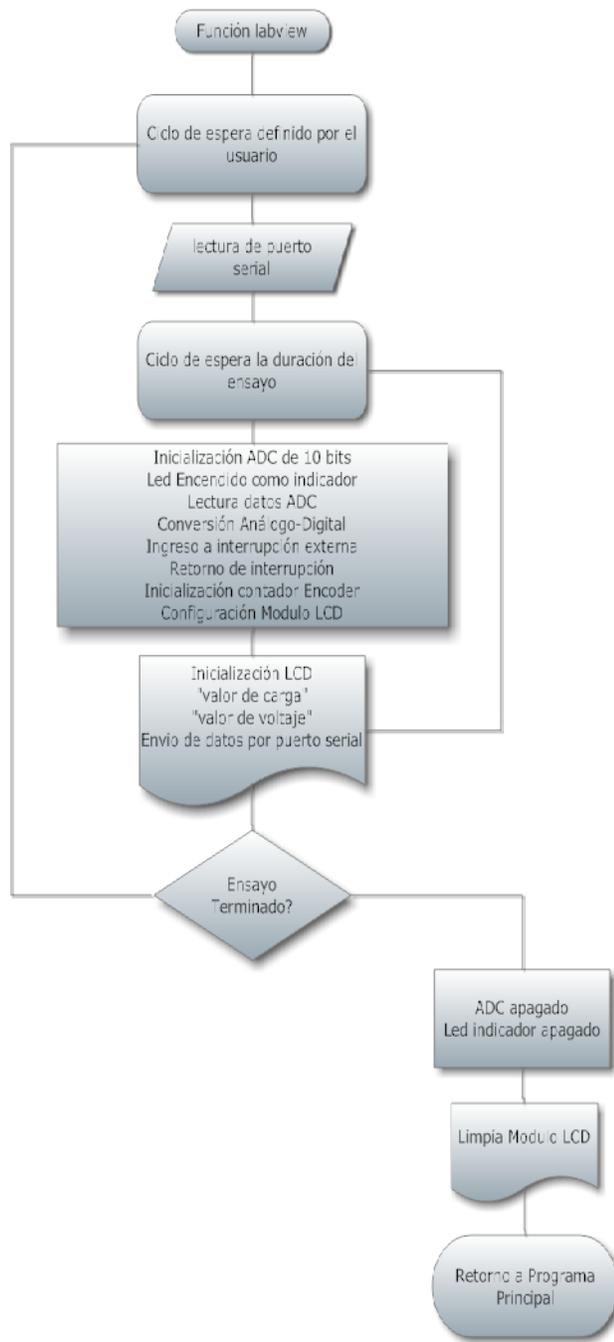


Figura 44. Diagrama de flujo función Labview

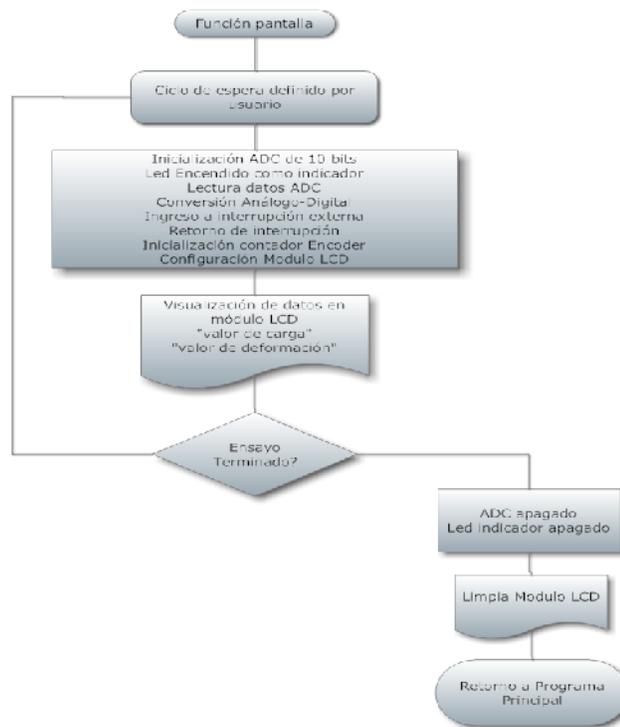


Figura 45. Diagrama de flujo función pantalla

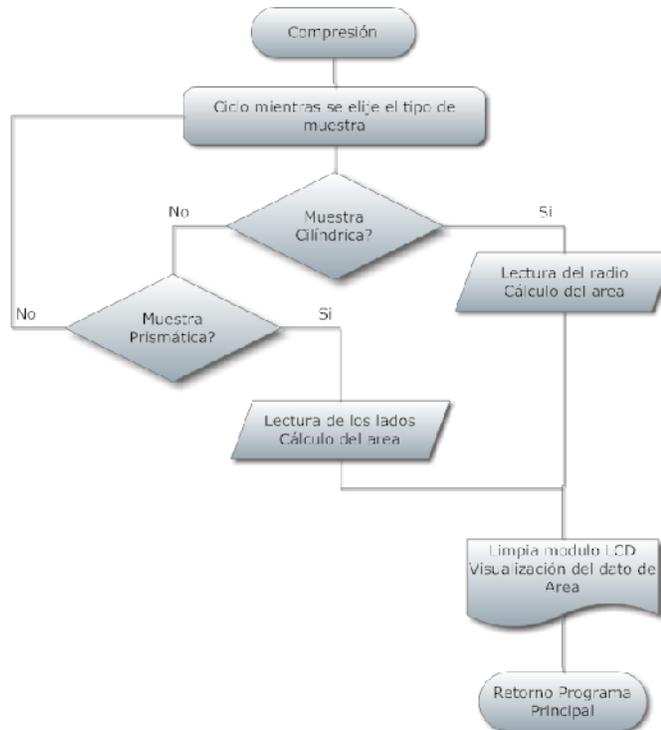


Figura 46. Diagrama de flujo función compresión

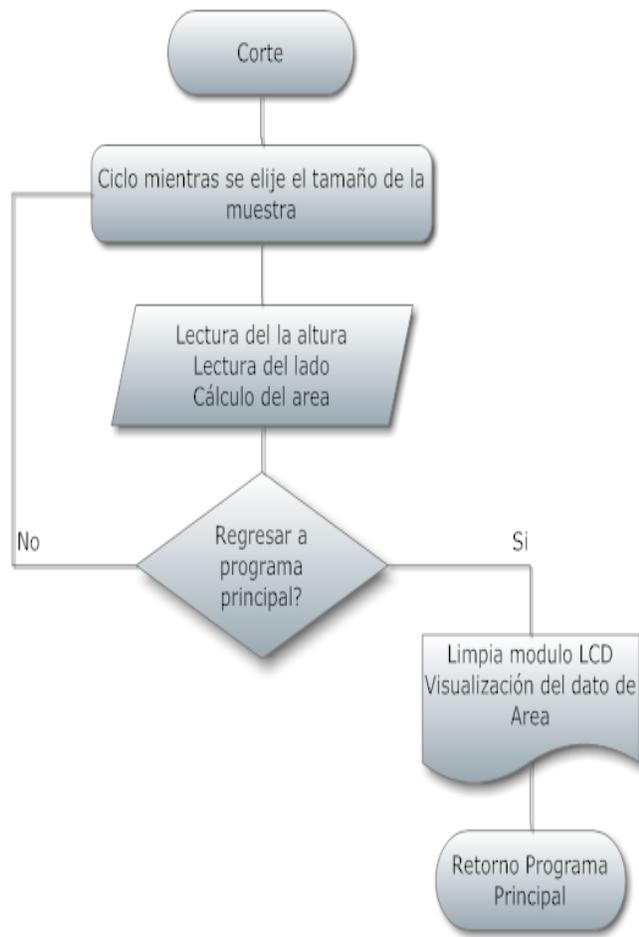


Figura 47. Diagrama de flujo función corte

5.12. SOFTWARE DESARROLLADO EN LABVIEW.

El programa dispone de tres pestañas en el panel frontal las cuales corresponden a:

- Presentación
- Compresión simple
- Corte directo



Figura 48. Presentación en software Labview

La anterior figura, es un submenú para ingresar a la subrutina deseada así como lo muestra el diagrama de bloques:

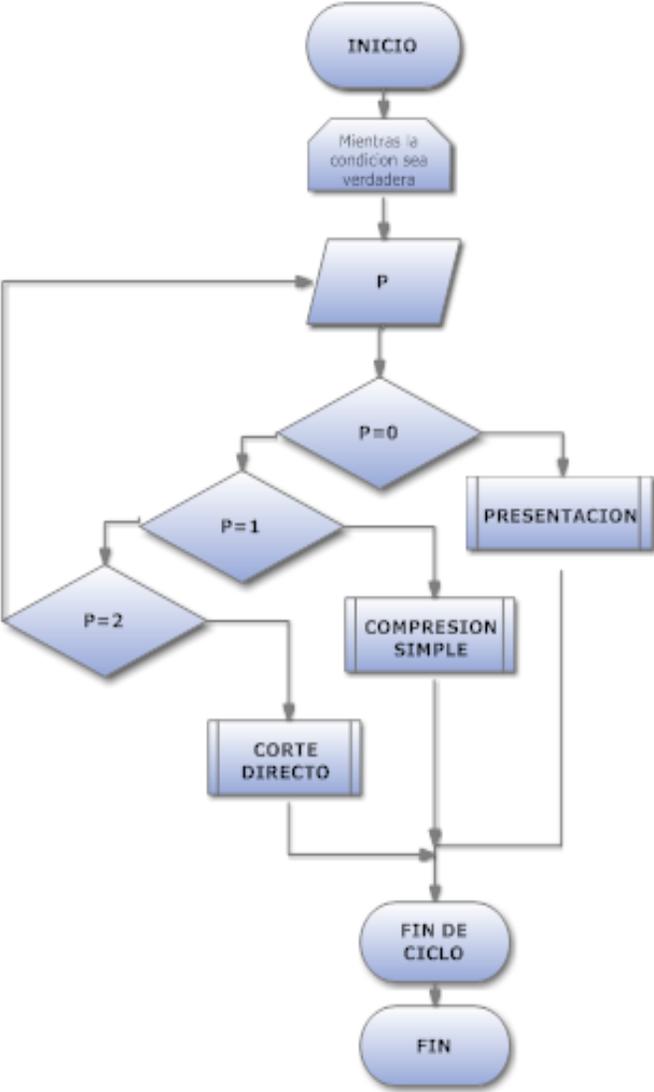


Figura 49. Diagrama de bloques general

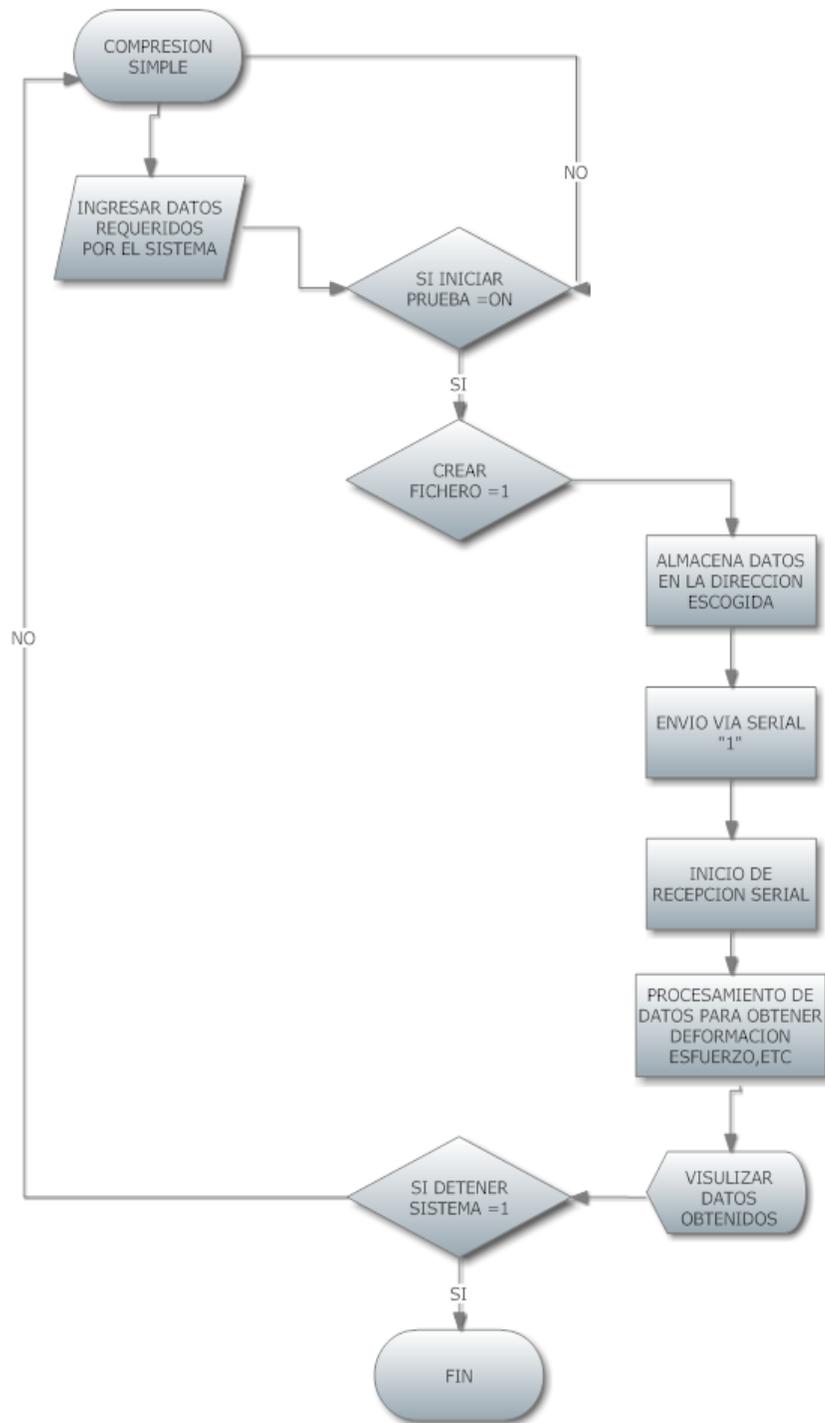


Figura 50. Diagrama de flujo para compresión simple

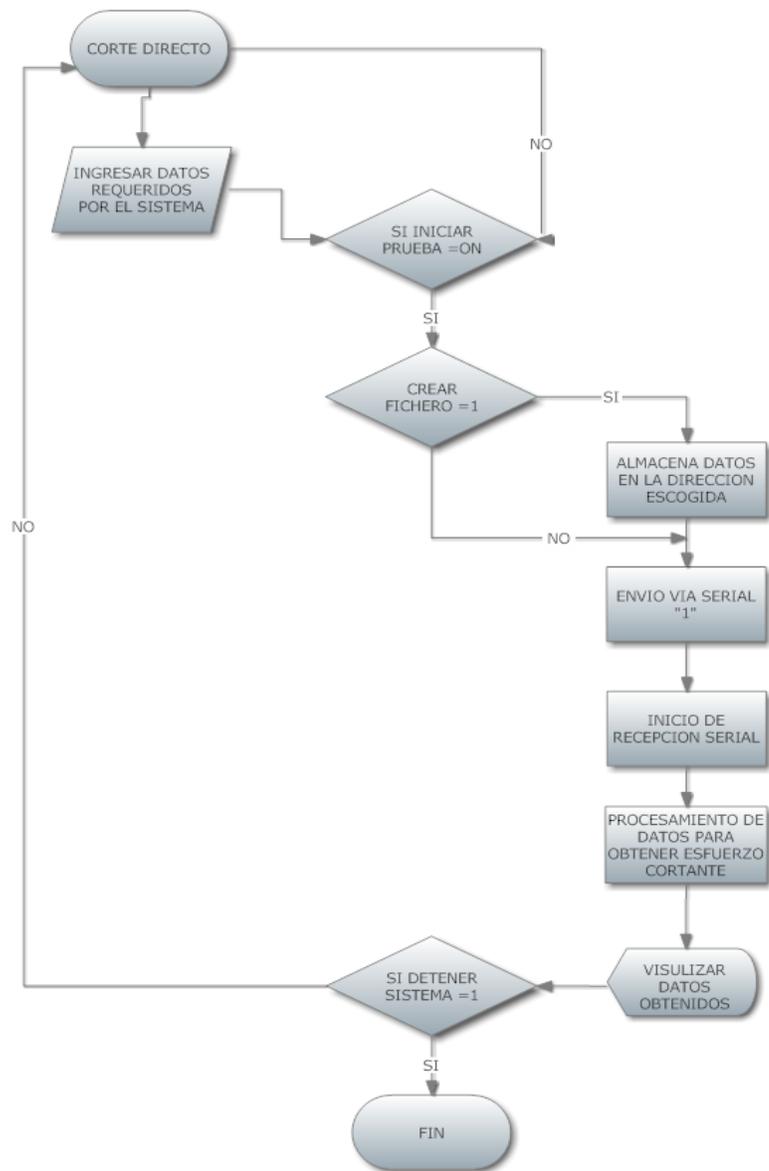


Figura 51. Diagrama de flujo para corte directo

La adquisición de datos para la máquina de corte directo y compresión simple es la misma y se hace por medio del puerto serial.

Con los otros parámetros que se configuran en el puerto como baudaje, número de bits de datos, paridad, bit de parada y flujo de control de datos. Estos son los datos que generan una trama de transmisión asíncrona. Para esta aplicación, se utiliza una transmisión y recepción de 9600 baudios. Posteriormente se configura el puerto visa de lectura el cual recibirá una trama máxima de 12 bytes.

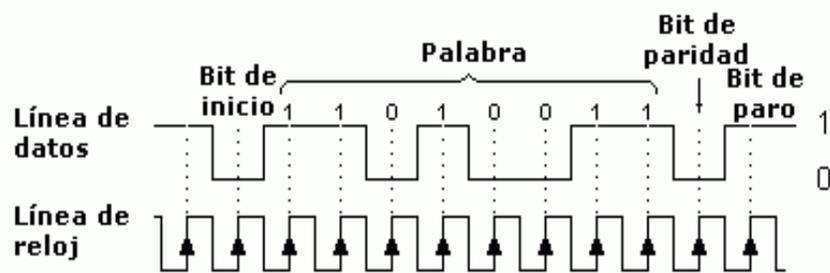


Figura 52. Trama de Transmisión Asíncrona⁴⁶

Después de inicializado el código en el PIC16F877A, este se encuentra a la espera del número 1 en formato cadena, para iniciar la transmisión por medio del puerto serial y comenzar a visualizar la adquisición de datos en la aplicación en Labview.

Los datos que se obtienen en el puerto serial son la medida de la fuerza sensada en un rango de 0 a 4.2 voltios en formato tipo cadena de caracteres; valor que se convierte a número y que se somete a la función de calibración del sensor que se presenta a continuación:

$$V = Fx \quad \text{EC.37}$$

Donde:

V = Valor de voltaje (Voltios)

F = Fuerza (lbf)

x = Pendiente obtenida de los datos de calibración.

La calibración fue realizada en una máquina de compresión que posee una celda de carga con rango de 11000 lbf.

El microcontrolador se encarga de enviar en la trama serial, el valor de voltaje recibido por el sensor. Por tanto se procede a despejar la función de la EC.37, para encontrar el valor de la medida de fuerza ejercida sobre el sensor.

$$F = \frac{V}{x}$$

Los valores obtenidos mediante la calibración del sensor son:

⁴⁶ RIOS, Teresa. Organización de entrada y salida [En línea].

Tabla 9. Datos para la calibración por software

Voltaje (v)	Fuerza (lbf)
0.03	14
0.35	143
0.7	285
1.09	449
1.53	625
1.98	811
2.45	999
2.98	1212
3.49	1415

La ecuación obtenida es:

$$F (Kgf) = \frac{V (voltios)}{0.0025}$$

La función obtenida se agrega en Labview para así tomar el valor en voltaje y convertirlo a unidades de fuerza (Kgf). Por otro lado, el sistema tiene una formula de calibración para deformación en la que adquiere la subtrama proveniente del puerto serial para convertirla a número y posteriormente multiplicar por la constante de calibración.

Más adelante, en el menú principal en panel de control se le pide al usuario que ingrese el tipo de muestra con el que va a trabajar si es cilíndrica o prismática.

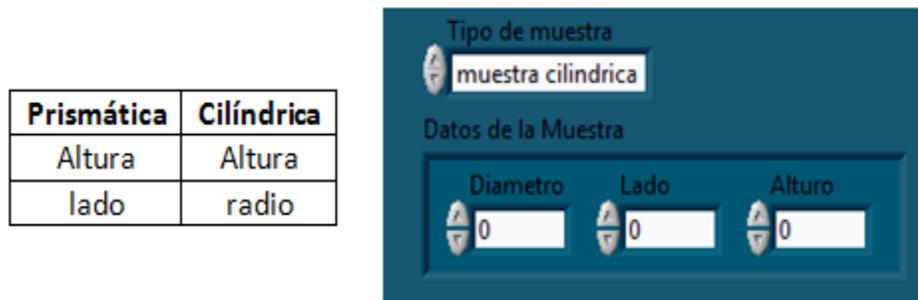


Figura 53. Parámetros de las muestras en el software

El programa le permite al usuario almacenar los valores tanto de carga, esfuerzo, deformación, deformación unitaria, resistencia, área corregida en un archivo de texto, el cual puede ser exportado a otro software especializado para tratamiento de datos.

Se presenta a continuación el panel frontal el ensayo de compresión simple.

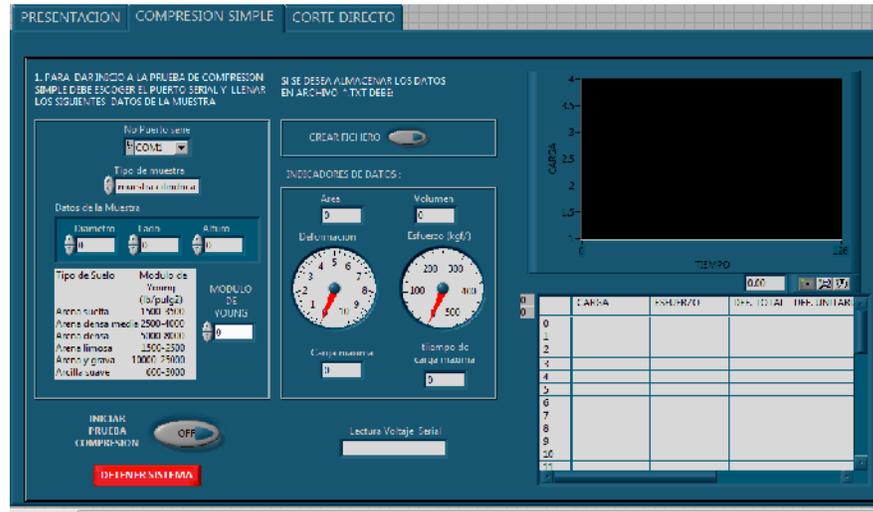


Figura 54. Diagrama subrutina compresión simple

De igual manera que en la parte del tratamiento para el ensayo de compresión simple, para corte directo se utiliza adquisición serial, se envía el número “1” en formato cadena de caracteres, para empezar la adquisición del esfuerzo en el equipo.

Posterior a esto se realiza la conversión de cadena a un número o valor compatible para todos los bloques matemáticos que se utilizan posteriormente, como cálculo del área, volumen, fórmula de calibración del sensor para transformación a kgf.

Los controladores booleanos (botones) son los encargados de posibilitar el encendido o apagado, inicio o fin de los procesos, entre los que se encuentran el inicio de la prueba, y la creación del archivo de almacenamiento de datos en documento de texto; estos pueden ser activados y desactivados en cualquier momento de la ejecución.

El software tiene la salida de sistema mediante un botón denominado DETENER SISTEMA que permite parar todo el proceso al terminar la práctica.

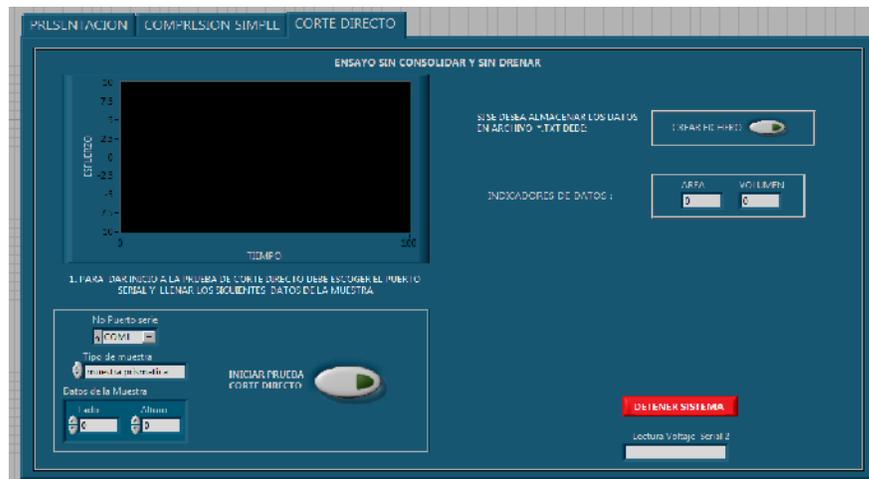


Figura 55. Diagrama de panel de Control de la subrutina de Corte Directo

6. PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se evidencia los resultados obtenidos del Sistema de Adquisición de Datos (SAD), tanto en simulación como en implementación en Hardware, se presenta también los resultados de la calibración realizada sobre el sensor de fuerza (Kgf) y el sistema de medida de Deformación ($\text{cm} \cdot 1^{-3}$).

Además se presentan pruebas obtenidas mediante la aplicación en software, para los dos ensayos respectivos (compresión inconfiada y corte directo), además de un análisis de resultados obtenidos.

6.1. SIMULACIÓN ELECTRÓNICA

La simulación electrónica fue diseñada y simulada en software Proteus 7.6, con resultados óptimos, muy aproximados a los obtenidos en la práctica con el sistema de adquisición de datos implementado. Debido a que no se puede realizar una simulación con la celda de carga FC23, se hace uso de un sensor de presión, con referencia MPX4115, cuyo funcionamiento se aproxima al funcionamiento de la celda. Además con este sensor se obvia la amplificación de voltaje ya que el software de simulación, no cuenta con el dispositivo INA128P para su simulación.

Este sensor que se usa para la simulación, ya cuenta con amplificación interna, por lo que no se observa la necesidad de la amplificación de voltaje en la simulación. El puerto serial es simulado con el VIRTUAL TERMINAL, dispositivo, el cual simula un puerto COM, con todas sus características, y sirve tanto para transmisión como recepción de datos. En síntesis, la simulación presentó muy buenos resultados, que luego fueron evidenciados en el sistema de adquisición de datos diseñado e implementado en hardware.

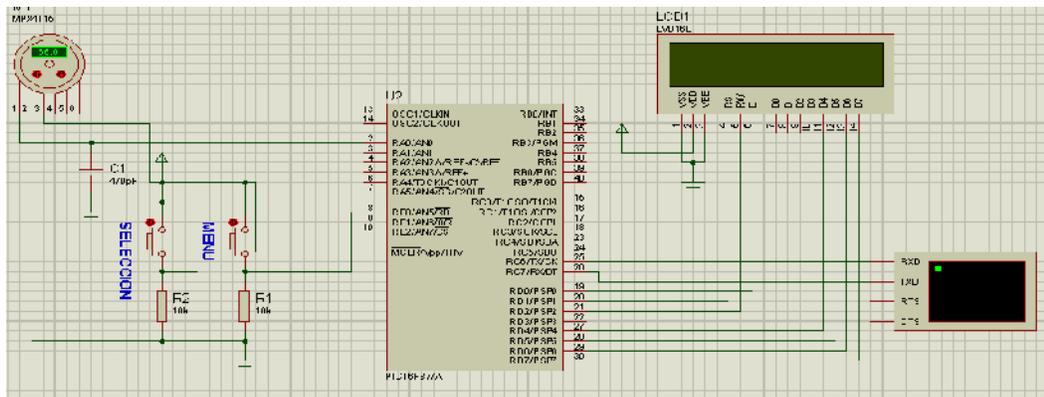


Figura 56. Simulación en Proteus 7.6

6.1.1. Software de calibración de la celda de carga. Debido a que la celda de carga, normalmente mide fuerza sobre ella, siempre va a existir un valor de voltaje transducible, que equivale a la fuerza ocasionada por el aire y la presión atmosférica que está percibiendo. Se hace necesario por tanto, eliminar por software el voltaje digital obtenido por el microcontrolador.

Esto se logra mediante un sub programa en el microcontrolador, denominado "calibrar sistema", sobre el cual, se realiza la adquisición del primer dato de voltaje de la celda, para almacenarlo y más tarde eliminarlo del resto de datos adquiridos.



Figura 57. Sub programa para calibración del sistema

6.1.2. Software de adquisición y transmisión. Fue diseñado para posibilitar la comunicación, con la aplicación diseñada en Labview. El algoritmo, adecua el modulo ADC del microcontrolador para recibir los datos sensados de la celda. Realiza su respectiva conversión a valores digitales y su transmisión por comunicación serial a la aplicación, donde se almacenan y visualizan.

El diseño final, y los resultados fueron óptimos en cuanto a que el sistema funciona con gran eficacia y no se presentan problemas para la comunicación con el software diseñado.

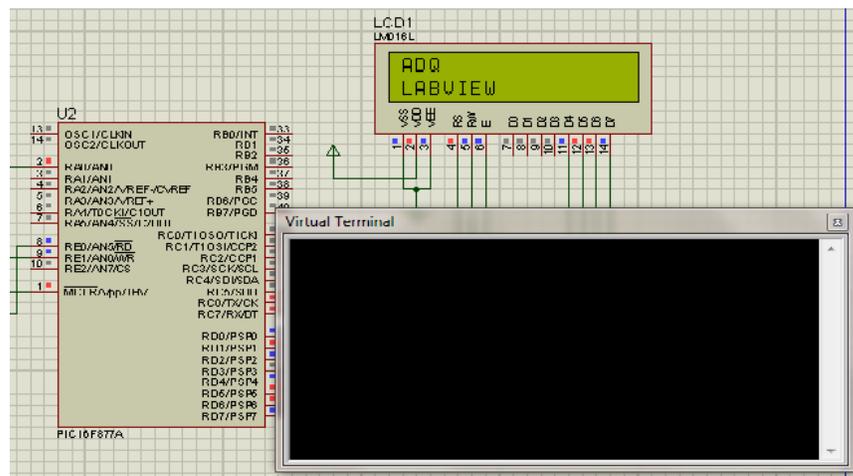


Figura 58. Sub programa de adquisición y envío de datos

6.2. CALIBRACIÓN DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS

6.2.1. Encoder de posición. Se hicieron tres pruebas de la medición de la deformación, a partir del incremento de las opacas en el encoder, el microcontrolador se encarga de calcular la deformación sobre la muestra de suelo.

Se obtuvo iguales resultados en las tres pruebas realizadas. El incremento se logra de manera constante, dependiendo de la velocidad angular de la polea sujeta al mecanismo de acción de las máquinas del laboratorio.

Tabla 10. Datos obtenidos del encoder

Contador de Opacas	Prueba 1 (cm)	Prueba 2 (cm)	Prueba 3 (cm)
2	1,81356	1,81356	1,81356
4	3,62712	3,62712	3,62712
6	5,44068	5,44068	5,44068
8	7,25424	7,25424	7,25424
10	9,0678	9,0678	9,0678
12	10,88136	10,88136	10,88136
14	12,69492	12,69492	12,69492
16	14,50848	14,50848	14,50848
18	16,32204	16,32204	16,32204
20	18,1356	18,1356	18,1356

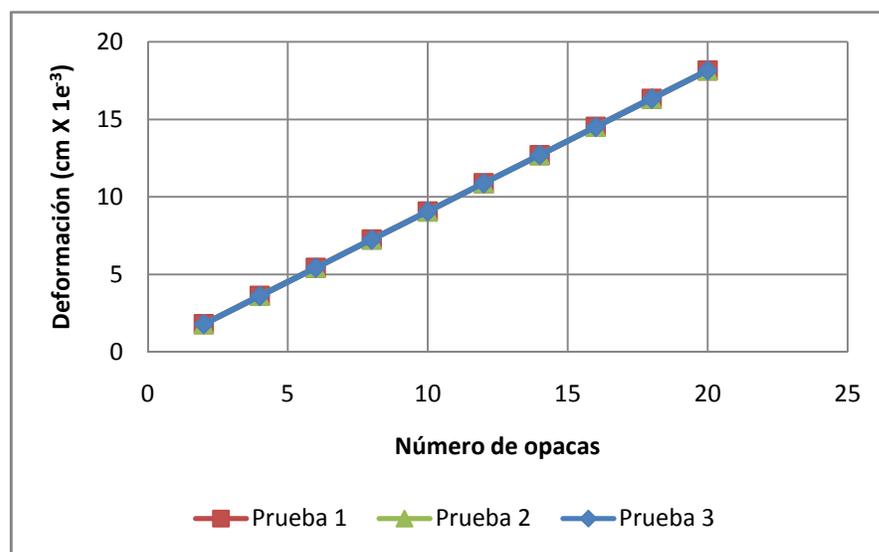


Figura 59. Grafica deformación con el incremento del número de opacas del encoder

La velocidad constante aplicada en el sistema, posibilita que la respuesta del encoder corresponda de manera muy aproximada a la deformación que se presenta en las muestras de suelo. Debido a que cada incremento en la deformación depende del conteo de los flancos de subida de la señal obtenida con el microcontrolador. Esto hace de este sistema muy fiable para la obtención de deformación en las muestras de suelos para cualquiera de los dos ensayos optimizados.

6.2.2. Calibración celda de carga FC23. Se hicieron tres pruebas, sobre las cuales se tenía en cuenta el voltaje de salida del sensor y la medición de fuerza (Kgf) sobre la celda.

Tabla 11. Datos de calibración para celda de carga FC23.

Prueba 1 (Kgf)	Prueba 2 (Kgf)	Prueba 3 (Kgf)	Voltaje (V)	Promedio Resultados (Kgf)
97,866	98,078	98,503	0,4	98,149
194,681	195,101	195,948	0,9	195,2433333
291,495	292,125	293,392	1,3	292,3373333
388,309	389,148	390,836	1,8	389,431
485,124	486,172	488,281	2,2	486,5256667
581,938	583,195	585,725	2,7	583,6193333
678,753	680,219	683,17	3,1	680,714
775,567	777,242	780,614	3,5	777,8076667
872,381	874,266	878,058	4	874,9016667

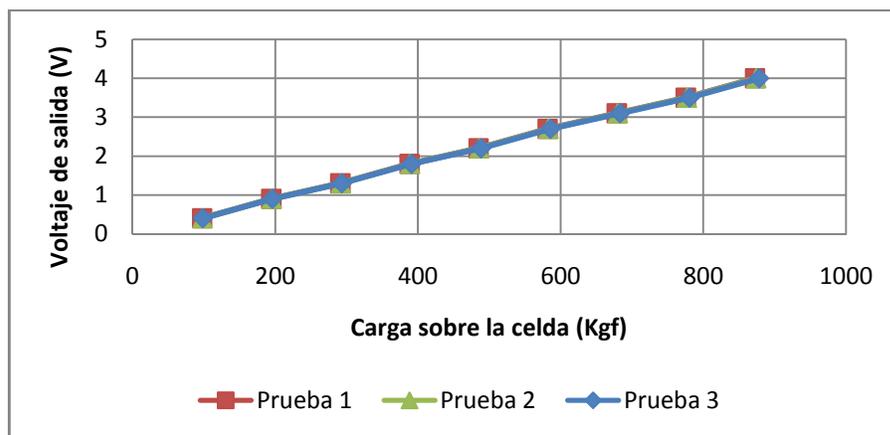


Figura 60. Voltajes de salida de la celda FC23 a diferentes presiones

Observando este comportamiento se procede a encontrar el promedio de los datos para valores de presión medidos en la tabla 7, y con esto, ajustar la ecuación que traduzca el voltaje de salida correspondiente a la fuerza en Kgf.

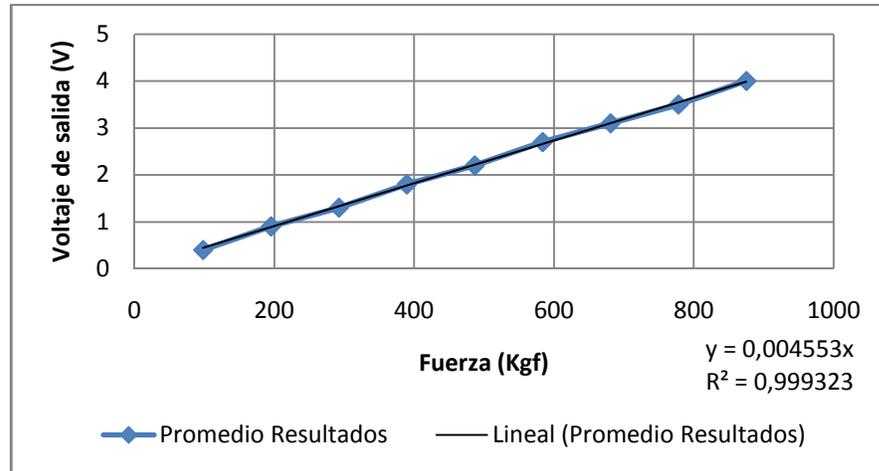


Figura 61. Promedio voltaje de salida de la celda FC23 a diferentes presiones

Con estos resultados se posibilita resaltar la linealidad existente en el sensor, respecto a su voltaje de salida referente a diferentes presiones aplicadas. La ecuación:

$$y = 0,004553x \quad \text{EC.38}$$

Representa de manera muy adecuada, el comportamiento de la celda de carga. De esta forma se garantiza que las medidas realizadas electrónicamente estén acorde a lo mostrado en otros sistemas de medida, como son los anillos de carga de los ensayos respectivos.

6.3. PROBETAS REMOLDEADAS

6.3.1. Muestras remoldeadas para compresión simple. Las dimensiones de las probetas de PVC en las que se remoldea son aproximadamente de 10 cm de altura por 6cm de diámetro parámetros que cumple la condición de las muestras.

Para las diferentes pruebas también se utilizó probetas remoldadas que en su constitución fueron hechas de cemento y suelo; donde el cemento se agregó con el fin de aumentar la resistencia y se hizo en diferentes proporciones así:

Tabla 12. Relación limo arcilloso y cemento

Suelo	Cemento	Relación
4 kilos	500grs	1:8
2Kilos	500grs	1:4
2Kilos	125grs	1:16
2Kilos	0grs	1:0

Las siguientes figuras indican el procedimiento:



Figura 62. Muestras remoldeadas a la derecha muestras de limo arcilloso compactado en la derecha muestras de limo arcilloso y cemento en relación 1:4

Al cabo de dos días se retira las muestras del tubo de PVC y se las empaca en plástico para que no se pierda la humedad hasta el momento de la práctica.



Figura 63. Muestras remoldeadas

6.3.2. Muestras para corte directo. Se realiza sobre la muestra de suelo y se talla una pieza de base cuadrada así:



Figura 64. Muestras para ensayo de corte directo

Posteriormente se retira la muestra y se envuelve en plástico hasta el momento de la muestra para que no pierda las características del suelo.

6.4. PRUEBAS DE COMPRESIÓN SIMPLE.

El análisis estadístico se realizó a pruebas manuales y más tarde, a pruebas realizadas después de la implementación del sistema de automatización.

6.4.1. Pruebas Manuales. Las muestras para las pruebas manuales fueron de un suelo de San Miguel Putumayo. El registro de datos se hace cada 5 divisiones de deformación y después de 100 se hace cada 10 divisiones. Y se presenta una pérdida de datos elevada lo que limita el análisis de otros parámetros en la curva.

Muestra No.1. El tipo de suelo fue un limo arcilloso de color café oscuro y la curva obtenida después del tratamiento de datos se presenta a continuación:

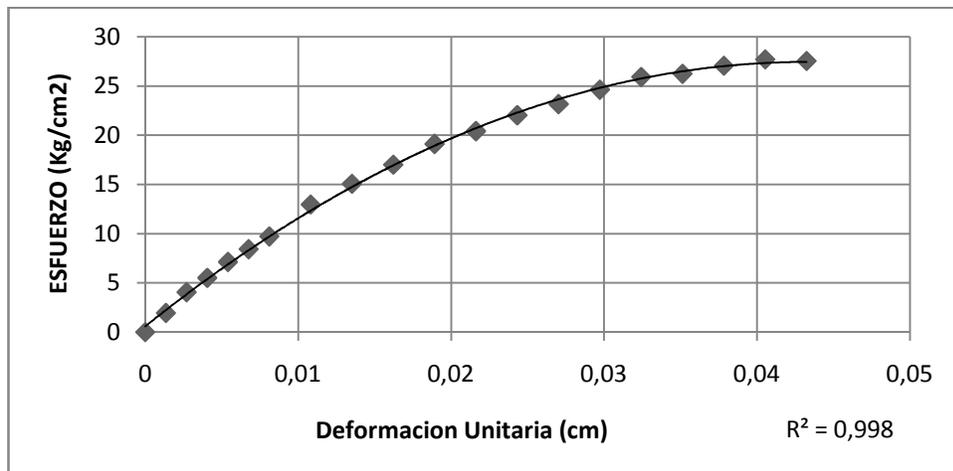


Figura 65. Grafica esfuerzo deformación muestra No.1

Tabla 13. Características de la Muestra No 1

Lado 1	4.00 cm
Lado 2	4.20 cm
Altura	9.00 cm
Área	16.8 cm ²
Volumen	151.2 cm ³
Esfuerzo Máximo(qu)	28.64 Kg/cm ²
C=qu/2	14.32 Kg/cm ²

El círculo de Mohr para el valor de cohesión a partir de la mitad del esfuerzo máximo se presenta a continuación:

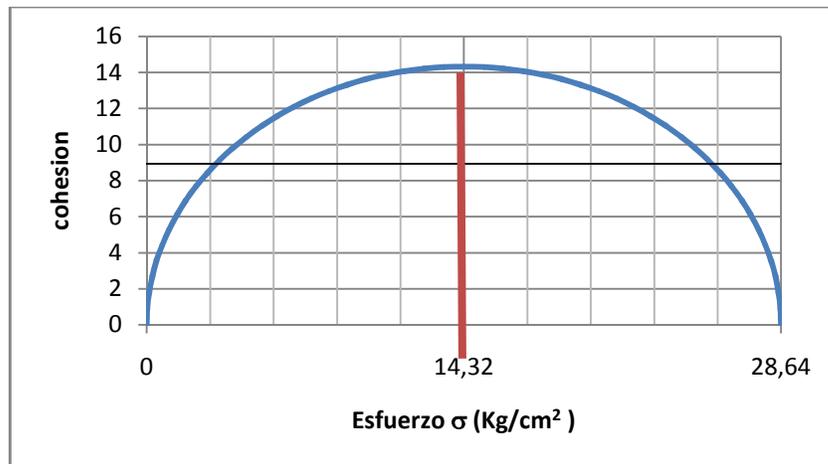


Figura 66. Cohesión para Muestra No.1

Muestra No.2. El tipo de suelo fue un limo arcilloso de color gris y a continuación se presenta la curva resultante de esfuerzo – deformación

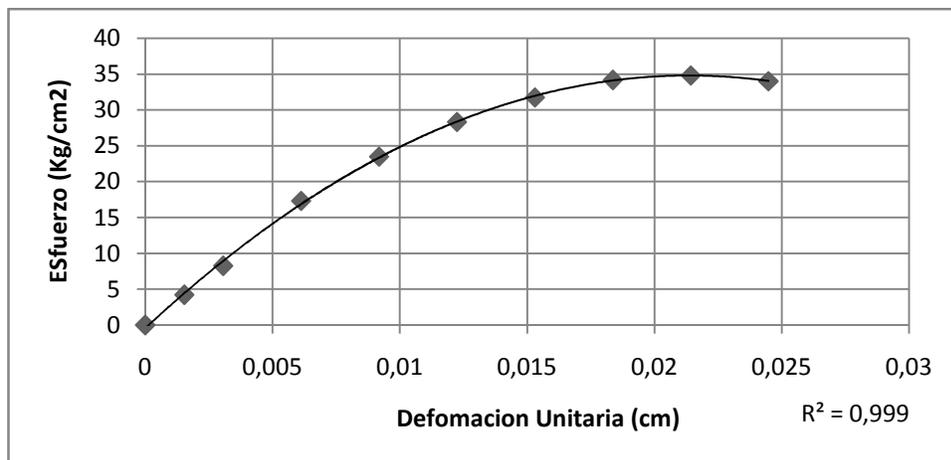


Figura 67. Gráfica esfuerzo deformación muestra No.2

Tabla 14. Características de la Muestra No 2

Lado 1	4.20 cm
Lado 2	4.24 cm
Altura	8.86 cm
Área	17.808 cm ²
Volumen	157.77 cm ³
Esfuerzo Máximo	34.64 Kg/cm ²
C=qu/2	17.32 Kg/cm ²

El círculo de Mohr que corresponde al valor de la cohesión encontrado será:

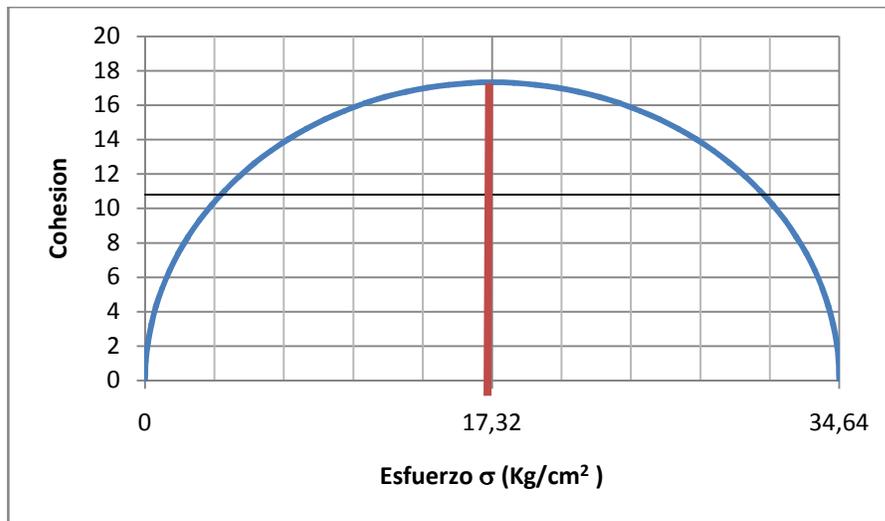


Figura 68. Cohesión para Muestra No.2

Muestra No.3. El suelo para esta prueba era un limo arcilloso con betas de color gris y partículas de arena.

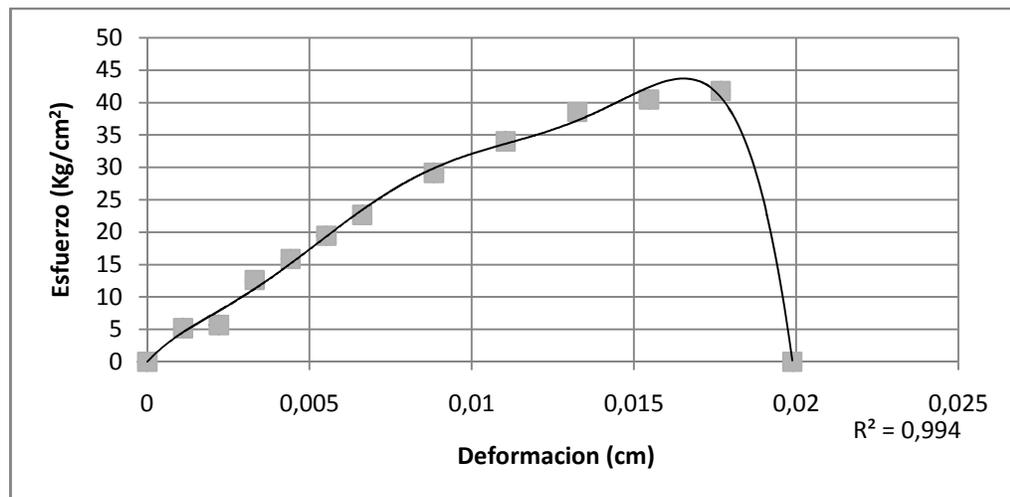


Figura 69. Gráfica esfuerzo deformación muestra No.3

Tabla 15. Características de la Muestra No 3

Lado 1	4.5 cm
Lado 2	4.72 cm
Altura	10.00 cm
Área	21.24 cm ²
Volumen	212.4 cm ³
Esfuerzo Máximo	41.76 Kg/cm ²

$C=qu/2$	20.88 Kg/cm ²
----------	--------------------------

El círculo de Mohr que corresponde a la grafica y hacer el análisis de cohesión se presenta a continuación.



Figura 70. Cohesión para Muestra No.3

6.4.2. Datos obtenidos con la celda FC22.

Prueba con muestra de madera. La muestra prismática fue hecha cumpliendo los parámetros de las muestras.

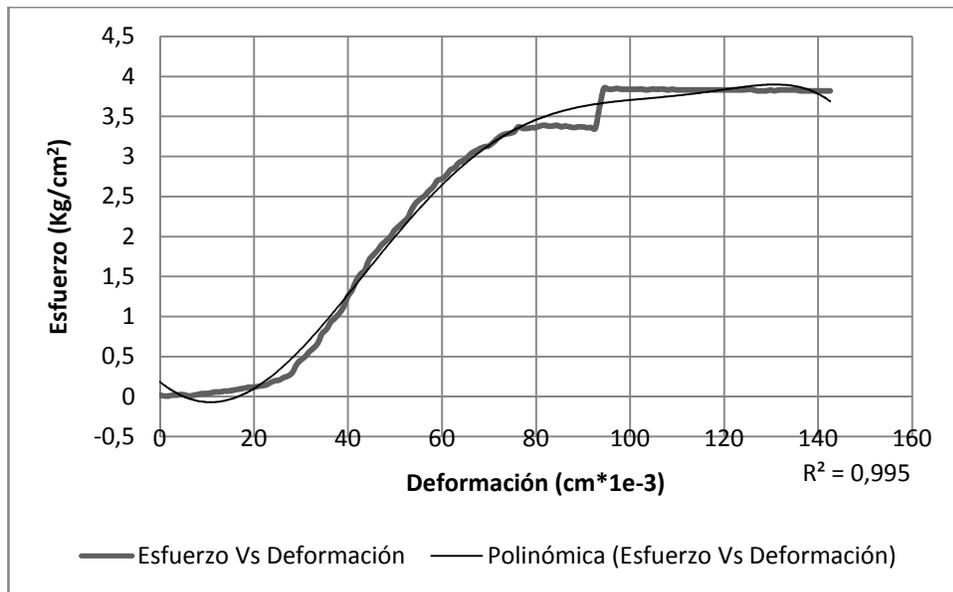


Figura 71. Gráfica esfuerzo - deformación de una muestra de madera

Tabla 16. Características de la Muestra de madera

Lado	5.02 cm
Altura	9.95 cm
Área	25.20 cm ²
Volumen	250.74 cm ³
Esfuerzo Máximo	3.85 Kg/cm ²
C=qu/2	1.925 Kg/cm ²

El círculo de Mohr se presenta a continuación

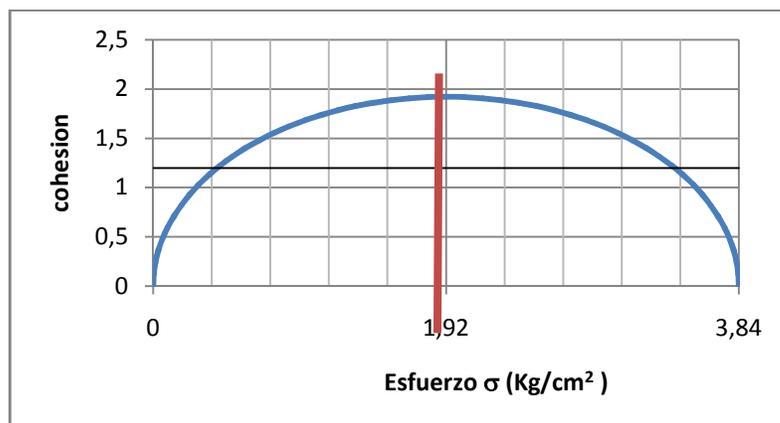


Figura 72. Cohesión para Muestra de madera

Prueba con Cemento. La muestra se realizo con una relación 1:4 de limo arcilloso con cemento gris con un tiempo de secado de 2 días. Se observa que la grafica toma un comportamiento muy cercano al crecimiento exponencial debido a que es un material muy rígido y compacto.

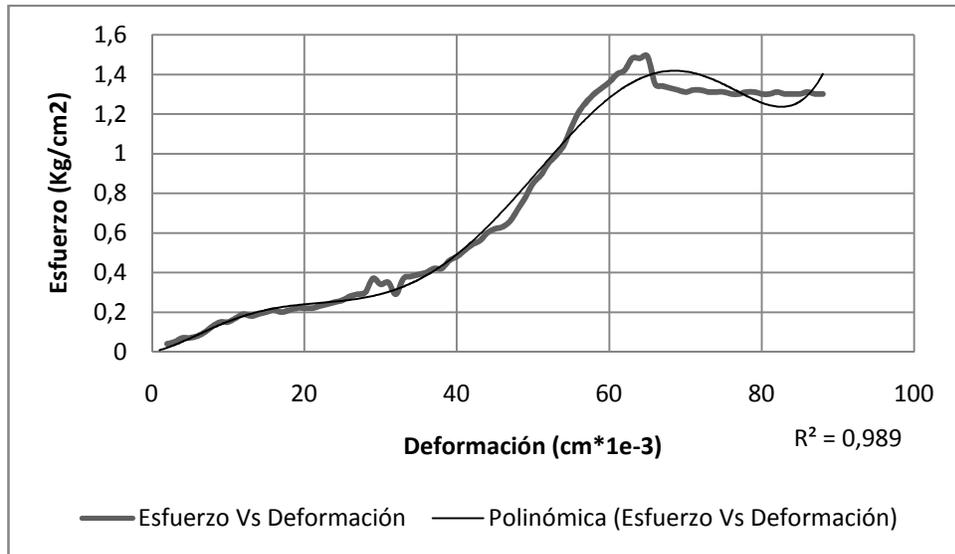


Figura 73. Gráfica esfuerzo - deformación de una muestra mezclada con cemento

Tabla 17. Características de la Muestra de cemento

Diámetro	5.94 cm
Altura	10.1 cm
Área	27.7116 cm ²
Volumen	279.8879 cm ³
Esfuerzo Máximo	1.49 Kg/cm ²
C = qu/2	0.745 Kg/cm ²

El círculo de Mohr de la curva es el siguiente:

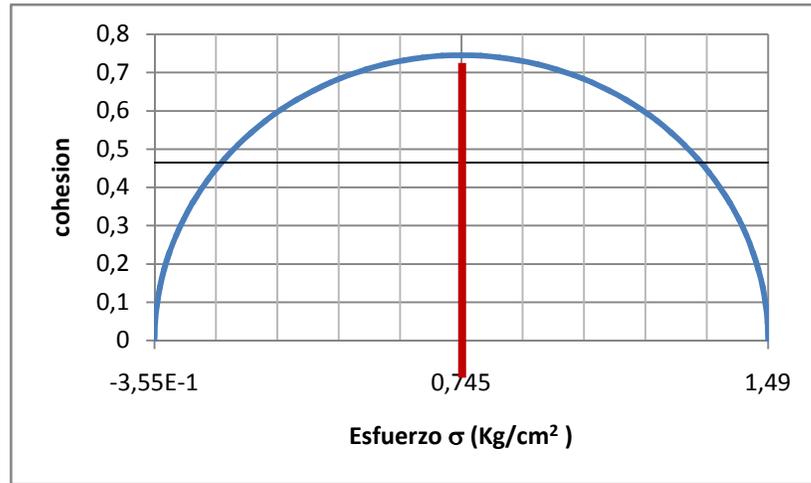


Figura 74. Cohesión para muestra de cemento

6.4.3. Datos obtenidos con la celda de carga FC23

6.4.3.1. Pruebas con muestras sin gradar.

Muestra No.1. Las muestras usadas fueron remodeladas de limo arcilloso extraído en la región de Chimayoy.

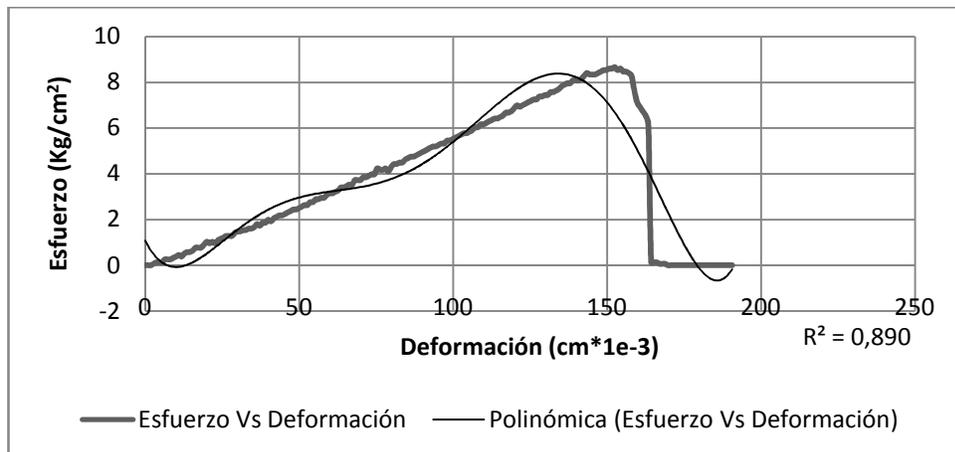


Figura 75. Gráfica esfuerzo - deformación de una muestra mezclada con cemento

Tabla 18. Características de la Muestra No 1 de cemento

Diámetro	6.02 cm
Altura	10.04 cm
Área	28.46 cm ²
Volumen	285.73 cm ³
Esfuerzo Máximo	8.66 Kg/cm ²
C=qu/2	4.33 Kg/cm ²

Con un coeficiente de correlación $R=0.9433$ lo que permite afirmar que el polinomio se comporta muy similar a la muestra en un 94.33%

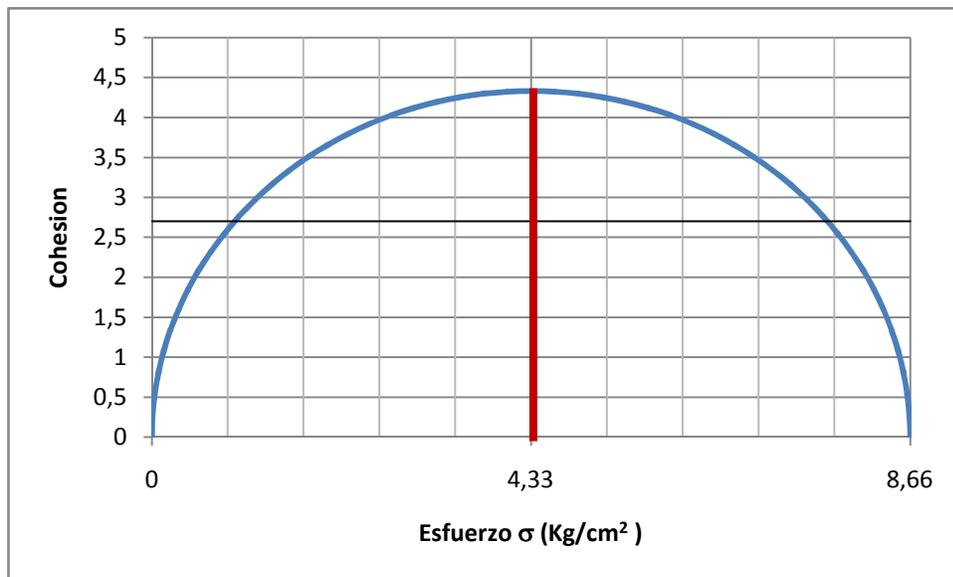


Figura 76. Cohesión para muestra No.1

Muestra No.2. Es una muestra de limo arcilloso. A los datos almacenados se les aplica una regresión polinomial de 6 grado; la curva del modelo matemático, tiene un comportamiento similar al de la muestra como se aprecia en la siguiente grafica:

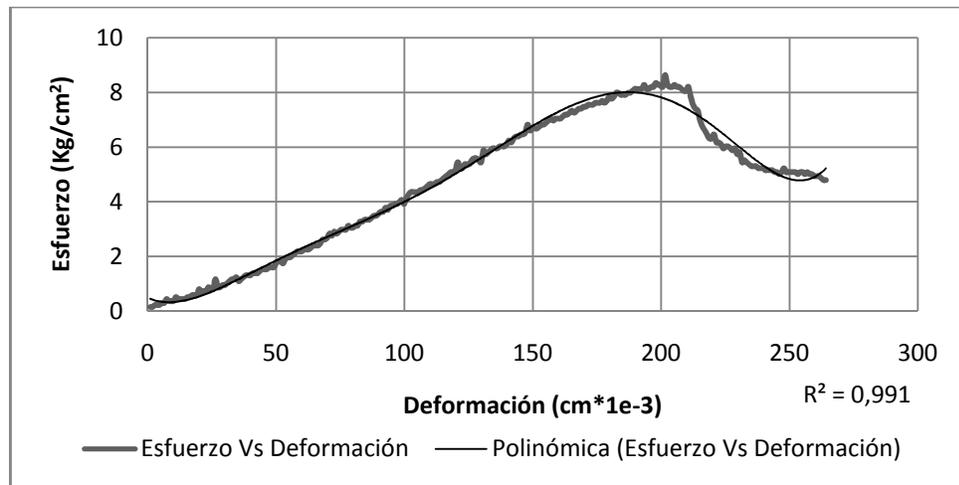


Figura 77. Gráfica esfuerzo - deformación de una muestra de limo arcilloso

Tabla 19. Características de la Muestra No 2

Diámetro	5.64 cm
Altura	10.12 cm
Área	24.98 cm ²
Volumen	252.83 cm ³
Esfuerzo Máximo	8.64 Kg/cm ²
C = qu/2	4.32 Kg/cm ²

El coeficiente de correlación es $R=0.9954$ esto significa que el polinomio se acerca en un 99.54% a la curva generada por la muestra.

El círculo de Mohr correspondiente es:

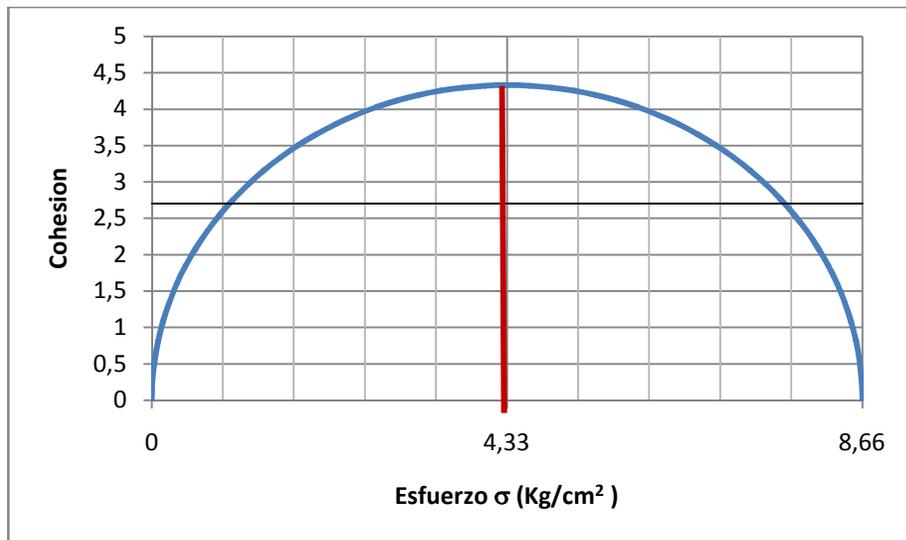


Figura 78. Cohesión para muestra No.2

Muestra No.3:

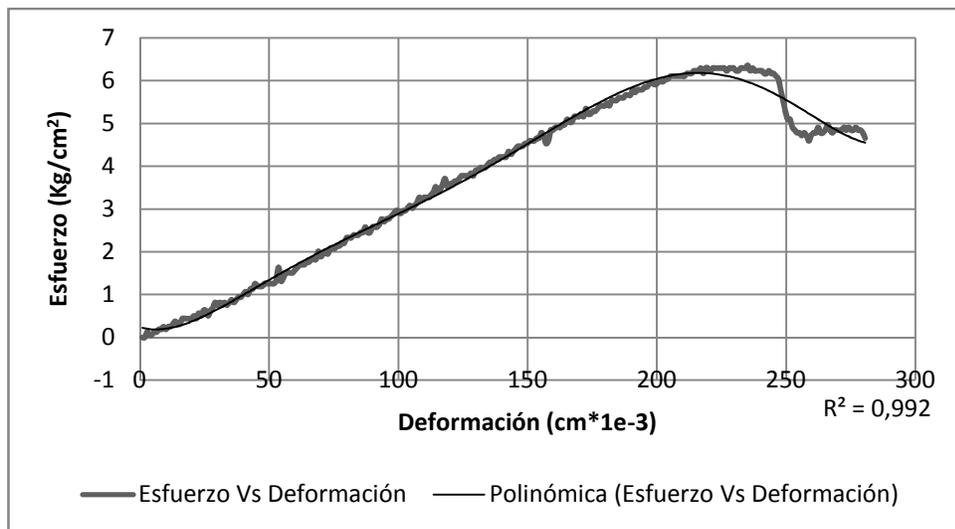


Figura 79. Gráfica esfuerzo - deformación de una de las muestras

Tabla 20. Características de la Muestra No 3

Diámetro	6.06 cm
Altura	9.88 cm
Área	28.84 cm ²
Volumen	284.96 cm ³
Esfuerzo Máximo	6.35 Kg/cm ²
C=qu/2	3.175 Kg/cm ²

El coeficiente de correlación es de $R=0.9959$ lo que significa que el polinomio se acerca en un 99.59% al comportamiento de la muestra.

Su círculo de Mohr se presenta de la siguiente manera:

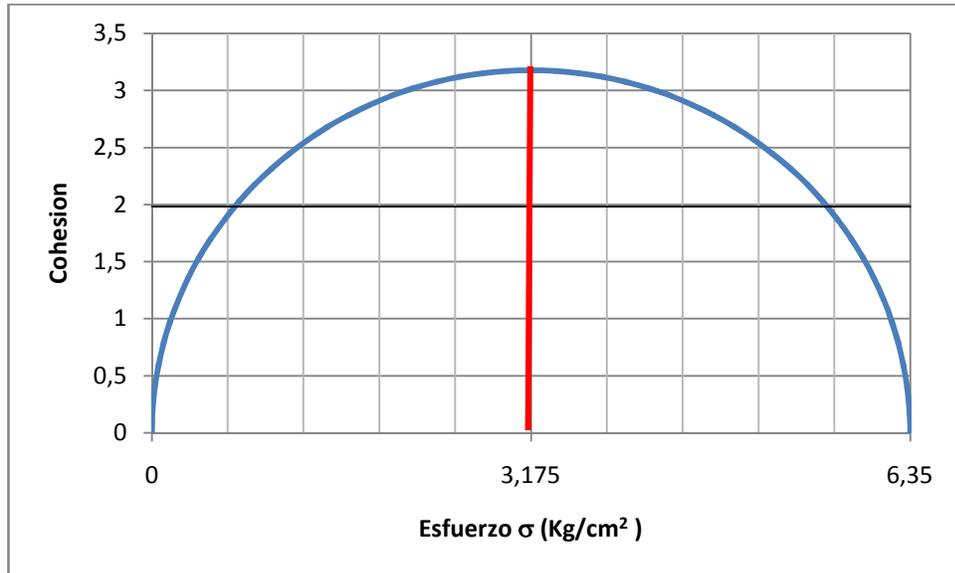


Figura 80. Cohesión Muestra No.3

6.4.3.2. Pruebas con muestras gradadas. Estas muestras son remoldeadas de limo arcilloso extraído en la región de Chimayoy. Se hace uso de un tamiz No.14, este suelo se gradó con el fin de aumentar la cohesión entre las partículas.

Gradada No.1

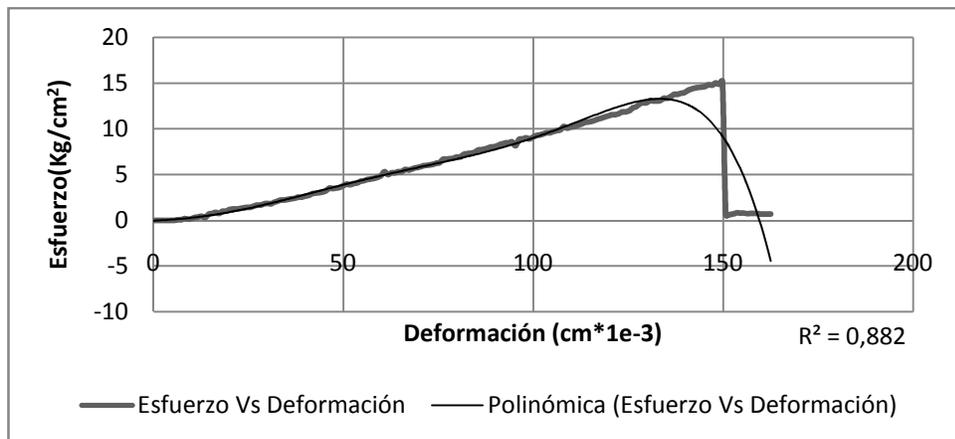


Figura 81. Gráfica esfuerzo - deformación de una muestra gradada

Tabla 21. Características de la Muestra gradada No 1

Diámetro	6.12 cm
Altura	10.16 cm
Área	29.416 cm ²
Volumen	298.872 cm ³
Esfuerzo Máximo	15.17 Kg/cm ²
C=qu/2	7.58 Kg/cm ²

Se aprecia que el coeficiente de correlación es $R=0.9391$; es decir que el polinomio se acerca un 93.91% al comportamiento registrado por la muestra.

El círculo de Mohr correspondiente se presenta para poder facilitar el análisis del valor de cohesión del suelo:

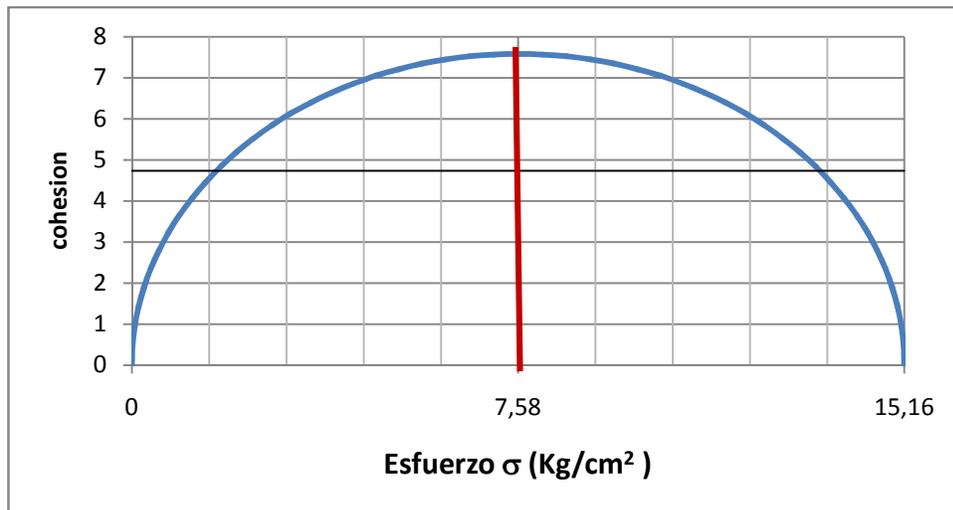


Figura 82. Cohesión para muestra gradada No.1

Gradada No.2

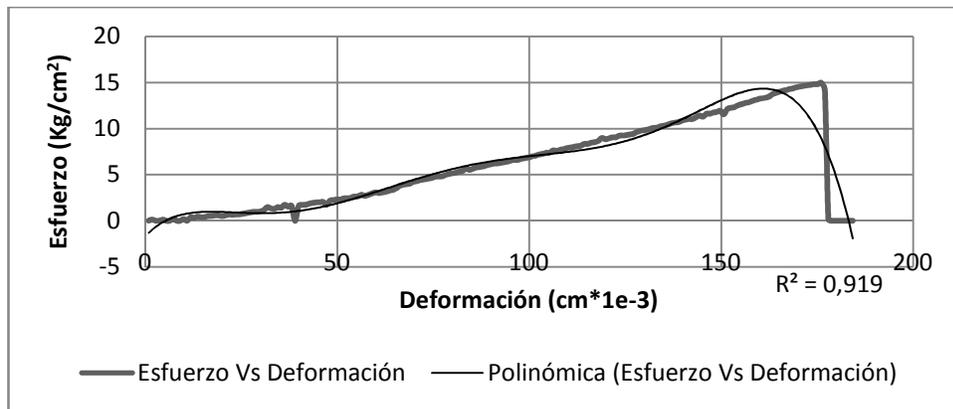


Figura 83. Gráfica esfuerzo - deformación de una muestra gradada

Con un coeficiente de correlación $R=0.9586$ lo que permite afirmar que el polinomio se comporta muy similar a la muestra en un 95.86%.

Tabla 22. Características de la Muestra gradada No 2

Diámetro	6.00 cm
Altura	10.02 cm
Área	28.274 cm ²
Volumen	283.308 cm ³
Esfuerzo Máximo	6.516 Kg/cm ²
C=qu/2	3.258 Kg/cm ²

El círculo de Mohr correspondiente es:

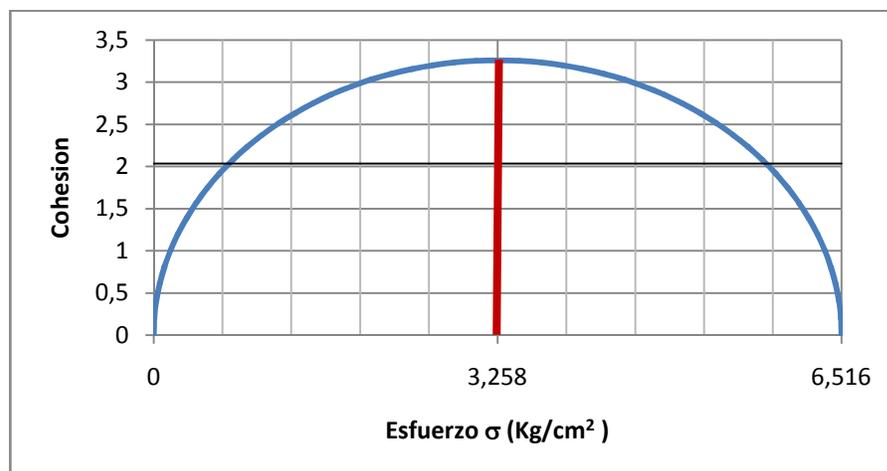


Figura 84. Cohesión para muestra gradada No.2

Análisis resistencia vs saturación: se tomaron las muestras seleccionadas se las organizo de mayor a menor valor de resistencia y según su grafica se puede dar apreciación del grado de saturación de las muestras de suelo.

Tabla 23. Tabla de Resistencia de las muestras analizadas

Muestra	Resistencia (Kg/cm ²)
2	34.64
1	28.64
3	20.88
8	15.16
6	8.66
9	6.516
7	6.35
4	3.84
5	1.49

La grafica correspondiente se presenta a continuación:

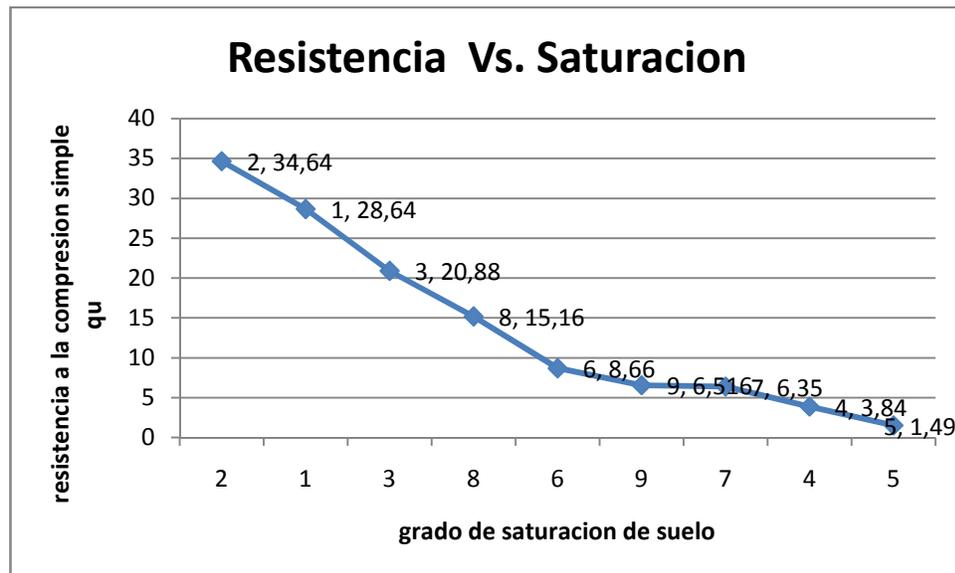


Figura 85. Resistencia Vs Saturación de las muestras en compresión simple

Con la anterior figura, se puede concluir que la practica número dos fue de un suelo con mayor resistencia, mayor tenacidad y por ende fragilidad y con menor grado de saturación entre sus partículas.

Mientras que la muestra de suelo número 5, tiene mayor grado de saturación y menor resistencia y la energía que almacena es baja.

6.5. PRUEBAS OBTENIDAS PARA ENSAYOS DE CORTE DIRECTO.

Para este tipo de ensayos se procedió a sensar la fuerza horizontal, sobre 3 tipos de muestras similares, pero con una carga normal diferente, que aumenta para distintos ensayos, las características de las muestras y los resultados se presentan a continuación.

6.5.1. Ensayo No 1.

Tabla 24. Características físicas de muestras para ensayo No. 1

Características / Muestras	Muestra No. 1	Muestra No. 2	Muestra No. 3
Lado muestra	4,9 cm	4,97 cm	4,9 cm
Espesor muestra	2 cm	2 cm	2 cm
Peso húmedo muestra	61 gr	58,2 gr	56,4 gr
Peso seco muestra	41,6 gr	44 gr	44.6 gr
Área	24,01 cm ²	24,70 cm ²	24,01 cm ²
Carga	13 kg	26 kg	38.5 kg
Presión Normal	0.5 Kg/cm ²	1.0 Kg/cm ²	1.5 Kg/cm ²

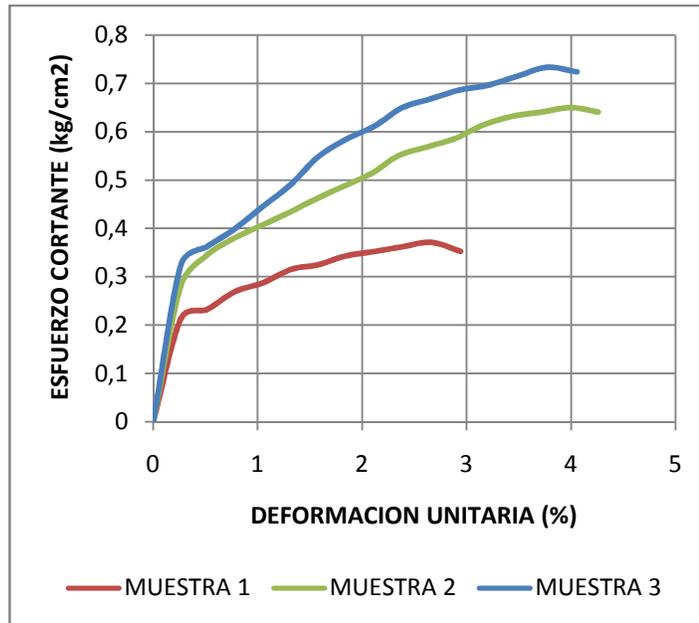


Figura 86. Esfuerzos Cortantes para muestras del ensayo No.1

A continuación se presenta el envolvente de falla para el ensayo No.1.

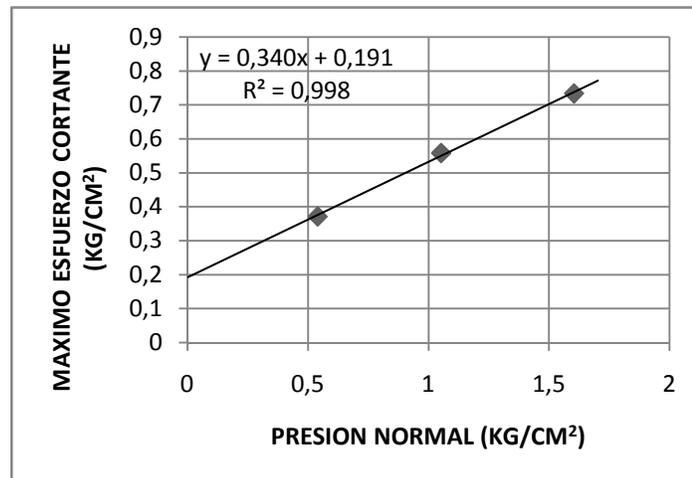


Figura 87. Envolvente de falla para Ensayo No.1

6.5.2. Análisis del ensayo No.1

Las variables a determinar con este ensayo, son Cohesión (c) y Angulo de Fricción (ϕ).

De la ecuación anterior:

$$c = 0.340m + 0.191 \quad \text{EC.38}$$

Se calcula la cohesión (c) de las muestras, haciendo m=0:

$$c = 0,191 \text{ (Cohesión)}$$

El ángulo de fricción (ϕ), se calcula mediante:

$$\phi = \text{Arctan}(0.340)$$

EC.39

$$\phi = 18.77^\circ \text{ (ángulo de fricción)}$$

6.5.3. Ensayo No 2.

A continuación se presentan las características de las tres muestras del ensayo respectivo:

Tabla 25. Características físicas muestras para ensayo No. 2

Características / Muestras	Muestra No. 1	Muestra No. 2	Muestra No. 3
Lado muestra	4,92 cm	5 cm	4,96 cm
Espesor muestra	2,04 cm	1,97 cm	1,98 cm
Peso húmedo muestra	74,56 gr	63,85 gr	68.86 gr
Peso seco muestra	68,33 gr	57,76 gr	59,29 gr
Área	24,3064 cm ²	25 cm ²	24,60 cm ²
Carga	13 kg	26 kg	38.5 kg
Presión Normal	0.5 Kg/cm ²	1.0 Kg/cm ²	1.5 Kg/cm ²

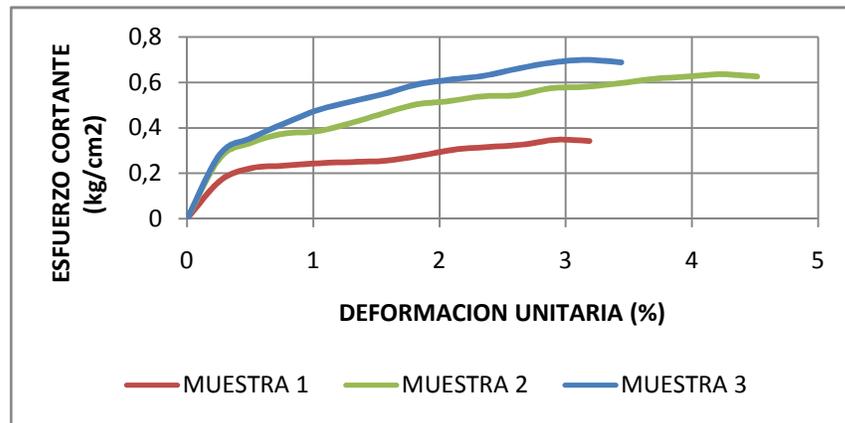


Figura 88. Esfuerzo cortante versus deformación unitaria para el ensayo No. 2

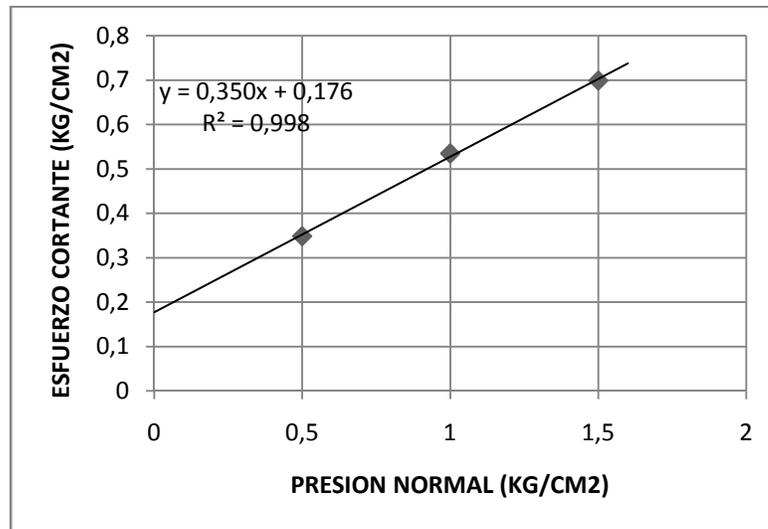


Figura 89. Envolvente de falla para ensayo No 2

6.5.4. Análisis del ensayo No.2

Las variables a determinar con este ensayo, son Cohesión (c) y Angulo de Fricción (ϕ). Utilizando el método del ensayo No.1 y las ECS número 38 y 39, se obtiene:

$$c = 0.176 \text{ Cohesión}$$

$$\phi = 19.29^\circ \text{ ángulo de fricción}$$

6.5.5. Ensayo No 3.

A continuación se presentan las características de las muestras:

Tabla 26. Características físicas muestras para ensayo No. 3

Características / Muestras	Muestra No. 1	Muestra No. 2	Muestra No. 3
Lado muestra	5,08 cm	5,08 cm	5,06 cm
Espesor muestra	2,0 cm	2,0 cm	2,0 cm
Peso húmedo muestra	48,36 gr	45,76 gr	44,56 gr
Peso seco muestra	36,13 gr	36,42 gr	36,76 gr
Área	25,81 cm ²	25,81 cm ²	25,60 cm ²
Carga	13 kg	26 kg	38,5 kg
Presión Normal	0.5 Kg/cm ²	1.0 Kg/cm ²	1.5 Kg/cm ²

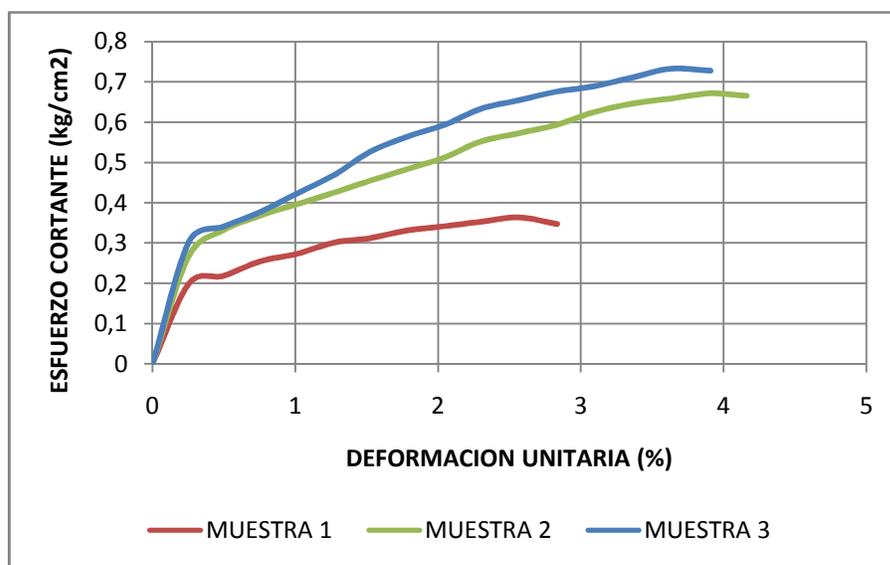


Figura 90. Esfuerzo cortante versus deformación unitaria para el ensayo No. 1

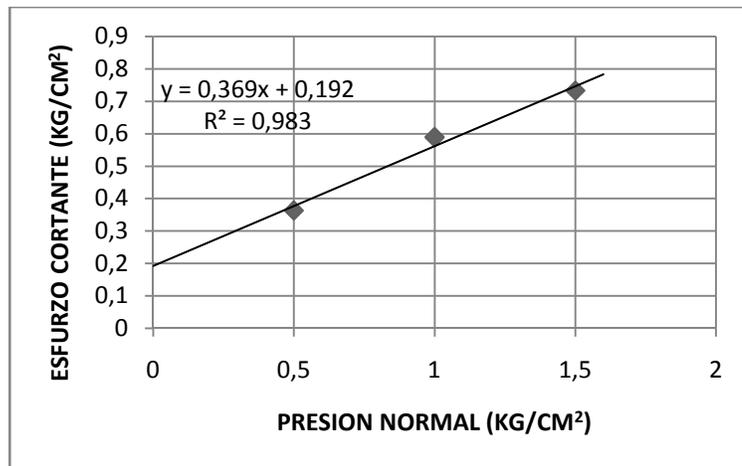


Figura 91. Envolvente de falla para ensayo No 1

6.5.6. Análisis del ensayo No.3. Mediante las ECS. Número 38 y 39, se obtiene las variables para este ensayo

$c = 0,192$ Cohesión

$\phi = 20.25^\circ$ ángulo de fricción

6.5.7. Análisis Final para ensayos de corte directo. Sobre un suelo, se puede calcular tanto los esfuerzos normales, como los cortantes; además de su cohesión, así como el ángulo de fricción.

Todo esto, con el fin de observar que tan óptimo es esté para la construcción de una obra civil. Se puede apreciar además, la deformación de un suelo al poner una carga extrema y la resistencia que soporta al esfuerzo cortante. Cabe comentar que estos ensayos son solo aproximaciones de la realidad, ya que aunque el suelo en realidad alcanza la falla por esfuerzo cortante, no se puede predecir el punto exacto por el cual se va a presentar esta.

CONCLUSIONES

- El ensayo de compresión simple desarrollado en este trabajo, permite encontrar la resistencia máxima del suelo, el esfuerzo a la compresión y la deformación tanto total como unitaria, así como también deducir matemáticamente el módulo de Young a partir de la deformación.
- La toma continua de datos permite apreciar otras características del suelo como son fragilidad, la proporcionalidad, la zona elástica, elástica-plástica, zona plástica y el punto de ruptura. También posibilita encontrar datos más precisos de trabajo y energía a partir de la gráfica o si se utiliza la regresión polinomial, la integral de dicha función.
- Se desarrolló, un sistema de adquisición de datos de deformación y esfuerzo, mediante un sensor infrarrojo y una celda de carga. Las señales son adecuadas mediante un microcontrolador y enviados por transmisión serial a una aplicación de monitoreo diseñada en Labview. El sistema maneja gran precisión en los datos obtenidos, siendo 2 cifras decimales para los datos de la celda de carga y milésimas de centímetros para la deformación de la muestra de suelo. Lo cual evidencia la exactitud, fiabilidad y aproximación entre los datos obtenidos mediante el sistema y los reales.
- El sistema se puede emplear para análisis de esfuerzo y deformación, en un gran número de materiales en el ámbito de ingeniería civil, siempre y cuando el esfuerzo presentado de estos no supere las 2000 lbf, que es el rango máximo de la celda de carga.
- Se trabajó con suelos extraídos de la región, más exactamente limos arcillosos, debido a esto, se obtuvo resultados parecidos entre las distintas muestras talladas y remoldeadas, ya que el tipo de material era de características similares.
- Se obtuvo un sistema automatizado, económico en comparación con los actuales sistemas que se encuentran en el comercio nacional. Esta alternativa, resulta tecnológicamente adecuada en contraste con las equivalentes en el mercado, además con ciertas características como su fácil instrumentación y mantenimiento.

RECOMENDACIONES

- Se puede realizar un simulador de comportamiento de suelos tanto de compresión como de corte realizando ensayos con muestras similares para hacer un acercamiento matemático del comportamiento de dicho suelo frente a determinado esfuerzo; además esto puede convertirse en una herramienta didáctica que puede ser desarrollada para docentes y estudiantes de ingeniería civil.
- Revisar el diseño mecánico de la máquina de corte directo, debido a que presenta fallas en su sistema mecánico y por ende en los ensayos y para su mejor aprovechamiento adicionar una celda de carga, para realizar el sensado del esfuerzo tangencial, que debido a la carencia de este, la adquisición de este esfuerzo no puede lograrse.
- Incentivar a los estudiantes de ingeniería electrónica a la posibilidad de automatizar los montajes análogos existentes en la Universidad, y a la Universidad, en su apoyo para dichos proyectos, ya que estos equipos automatizados serán para uso y servicio del alma mater.
- Mejorar el sistema de puesta a tierra del laboratorio de suelos de la universidad de Nariño.
- Las máquinas deben tener mantenimiento adecuado para lograr una mayor duración de las mismas. Engrasar sus partes, mantenerlas alejadas del agua y un buen manejo general, se consignan como un requisito para la duración de las mismas, además de posibilitar una mejor adquisición de datos, para el sistema diseñado.

BIBLIOGRAFÍA

ALVAREZ, Cintia. Motor eléctrico [En línea].
<<http://www.slideshare.net/cintiaestefania/motor-electrico>> [citado en 10 de Septiembre de 2008]

Aprendiendo Meteorología [En línea].
<<http://nimbus.com.uy/aprendiendo.html>> [citado en 6 de Abril de 2005]

ARANGO, Antonio. Manual de laboratorio de mecánica de suelos. 3 Ed. Colombia: Universidad Nacional.

ARENY P, Ramón. Sensores y acondicionadores de señal. 4 Ed. México: Marcombo.480p.

AZKELAND, Donald R. Ciencia e ingeniería de los materiales. 3 Ed. México: International Thomson Editores, 1998. 854p.

BOWLES, Joseph E. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. 2 Ed. México: McGraw-Hill. 1994. 213p.

BOYLESTAD, Robert. Electrónica: Teoría de Circuitos y dispositivos electrónicos. 8 Ed. México: Pearson Education, 2003. 517p.

CALLISTER, William. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. 1 Ed. España: Reverté. 2007. 896p.

CAMILLONI, Inés, Meteorología General [En línea].
<http://meteorologiageneral.at.fcen.uba.ar/teo/T_7.pdf> [citado en 24 de Enero de 2011]

CAPRILE, Sergio. FT232: Interfaz USB genérica [En línea].
<http://www.cika.com/soporte/AppNotes/CAN-025_InterfazUSB_FT232.pdf> [citado en 23 de Diciembre de 2004]

CHENG, Liu. Soil Properties: Testing, Measurement and Evaluation. 1 Ed. Estados Unidos: Prentice Hall. 1984.

Definición de acceso remoto [En línea].

<<http://www.alegsa.com.ar/Dic/acceso%20remoto.php>> [citado en 8 de Junio de 2010]

Descripción general del pic16f877 [En línea].

<<http://es.scribd.com/doc/48739820/101172-pic16f877-en-espanol1>> [citado en 13 de Febrero de 2011]

Ensayo de corte directo [En línea].

<http://icc.ucv.cl/geotecnia/11_nuestro_laboratorio/laboratorio/corte/cd.html> [citado en 6 de Julio de 2010]

Estabilidad de taludes [En línea].

<http://es.wikipedia.org/wiki/Estabilidad_de_taludes> [citado en 8 de Septiembre de 2011]

FC23 Datasheet [En línea]. Meas-spec.

<<http://pdf.directindustry.com/pdf/msi-sensors/force-sensor-fc23-series/9250-123722.html>>

GARCIA BREIJO, Eduardo. Compilador C CCS y Simulador PROTEUS para Microcontroladores PIC, México: Alfaomega, 2008. 263p.

GIANCOLI C, Douglas. Física: Principios con aplicaciones. Ed.6. México: Pearson education. 2006. 848p.

INA128P Datasheet [En línea]. Texas Instruments.

<<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/e/0z4laizq1f029xpqa0apf50ep93y.pdf>>

JIMENEZ, Darwin. Diagramas esfuerzo-deformación de hule blando [En línea].

<<http://www.ensayodetraccion.8m.com>> [citado en 11 de Septiembre de 2007]

K.H, Head. Manual of soil laboratory testing. 2 Ed. Inglaterra: Pentech Press. 1994.

LAMBE, William. Mecánica de Suelos. 1 Ed. México: Limusa, 1979. 582p.

LCM1602A Datasheet [En línea]. Longtech.

<<http://www.adrirobot.it/datasheet/LCD/PDF/LCM1602A.pdf>>

La presión atmosférica [En línea].

<<http://www.infoaventura.com/reportaje.asp?Id=33>> [citado en 23 de Enero de 2006]

LM7805 Datasheet [En línea]. Fairchild Semiconductors.
<<http://www.fairchildsemi.com/ds/LM%2FLM7805.pdf>>

LM7905 Datasheet [En línea]. National Semiconductors.
<<http://www.national.com/ds/LM/LM7905.pdf>>

Manual de motores eléctricos [En línea].
<<http://es.scribd.com/doc/2448049/Manual-de-motores-electricos>> [citado en 16 de Abril de 2009]

MAYAGOITIA B, José de Jesús. Tecnología e ingeniería de Materiales. México: McGraw Hill. 259p.

MAYNE, JORDI, Sensores, Acondicionadores y Procesadores de señal [En línea].
<<http://es.scribd.com/doc/28531735/Sensores-Acondicionadores-y-Procesadores-de-Senal-Jordi>> [citado en 17 de Marzo de 2010]

Métodos Energéticos: Energía de deformación [En Línea].
<<http://cuedelcivil.blogspot.com/2010/10/metodos-energeticos-energia-de.html>> [citado en 24 de Mayo de 2010]

MORA R, Lena, HERNANDEZ G, Jorge. The bambo mat board: A new technological proposal [En línea]. 2008.
http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732008000300006&script=sci_arttext

Optical encoder Project. [En línea].
<<http://mitros.org/p/projects/encoder/>> [citado en 14 de Enero de 2011]

PIC16F877A Datasheet [En línea]. Microchip.
<<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41291D.pdf>>

Poleas y correas [En línea].
<<http://8dinv04.blogspot.com/2010/07/movimiento-circular-ruedas-de-friccion.html>> [citado en 14 de Junio de 2010]

Prueba de compresión simple: Suelos [En línea].
<<http://www.ingenieriaciviltips.com/2011/05/prueba-de-compresion-simple-suelos.html>> [citado en 1 de Diciembre de 2010]

RIOS, Teresa. Organización de entrada y salida [En línea].
<<http://www.monografias.com/trabajos37/entrada-y-salida/entrada-y-salida2.shtml>> [citado en 13 de Septiembre de 2006]

Sensores de posición [En línea].

<<http://www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/Componentes/SPOSICION.htm>> [citado en 23 de Febrero de 2008]

Taludes y laderas [En línea]. Ediciones UPC. 2001.

<<http://www.edicionsupc.es/ftppublic/pdfmostra/AR07307M.pdf>> [citado en 2001]

Teoría de hilados. 1 Ed. México: Limusa. 1999.125p. p75

TERZAGHI, Karl, MORETTO, Oreste. Mecánica de suelos en la ingeniería practica. 3 Ed. Argentina: El Ateneo, 1963, 681p

VILCHEZ G, Ramón. Deformación Simple [En línea].

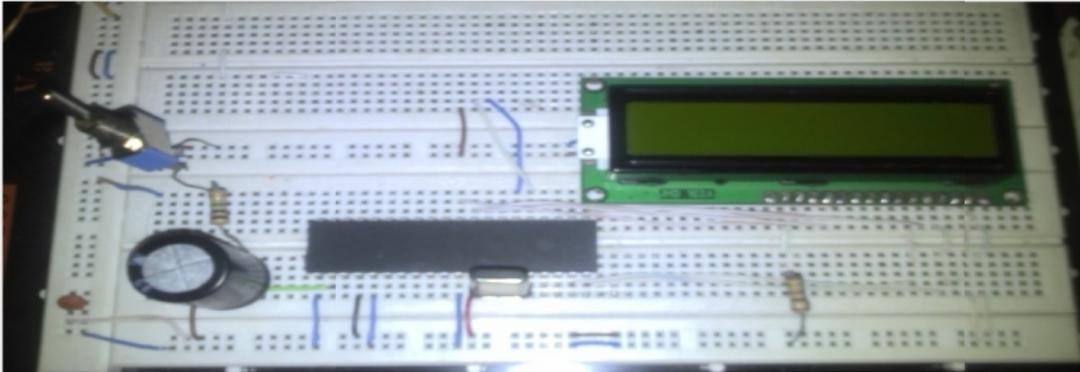
<<http://www.slideshare.net/vilchez/deformacin>> [citado en 13 de Junio de 2008]

ANEXOS

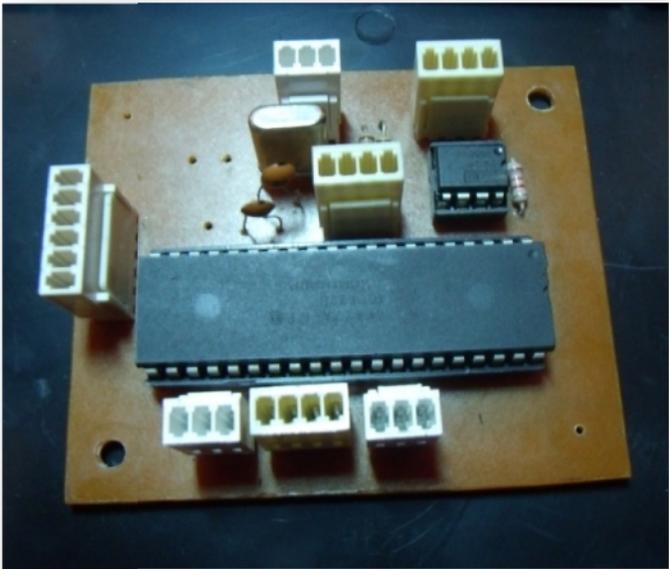
ANEXO A. Fotografías evidencias del Proyecto de grado

CIRCUITO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Prototipo No.1:



Prototipo No.2:



Celda de Carga:



Sistema para Lectura de Deformación:



SISTEMA DE ADQUISICIÓN

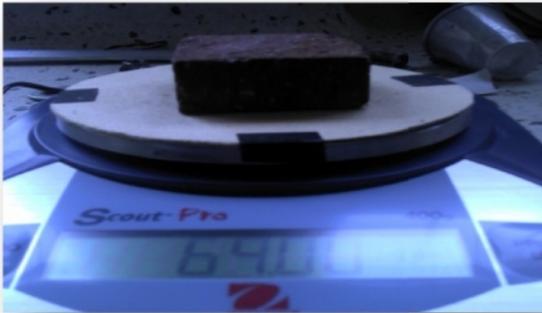




EXTRACCIÓN MUESTRAS CHIMAYOY



PRÁCTICA DE CORTE DIRECTO



PRÁCTICA COMPRESIÓN SIMPLE



ANEXO B. Código de Programación en Lenguaje C (Compilador CCS)

```
#include <16F877A.h> //libreria PIC16F877A
#device adc=10      //ADC de 10 bits
#FUSES XT,HS,NOWDT,NOPUT, NOPROTECT, NODEBUG, NOBROWNOUT, NOLVP, NOCPD
#use delay(clock=4000000) //Reloj de 4MHz
#use rs232(baud=9600,bits=8,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7) //Transmisión serial
#include <math.h>   //Libreria herramientas matemáticas
#include <stdio.h>
#include <lcd.c>    //Libreria Modulo LCD
#use standard_io(C) //Configuracion puerto C estandar
#use standard_io(E) //Configuracion puerto E estandar

enum funciones {cal,lab,pan,com,cor}; //Asigna un valor a cada elemento
                                     //med=0, cal=1 , ini=2 , com=3 , cor=4

//Variables globales
int16 caracter,adc,adc2;
float digital,digital2,voltaje,AP,fuerza,h,altura,radio,area,esfuerzo,deformacion;
int16 TFB,aux,num; // Tiempo flanco de bajada
                  // Valor final del ancho de pulso
int1 nuevopulso=0; // Entra otro pulso
int1 cambio=0;     //Cambio de flanco de disparo

#int_ext //Interrupcion Externa (Por RB0)
void funcion_ext_int(){ //Función Interrupción
port_b_pullups(TRUE);
if(cambio==0){ //Flanco de Subida
set_timer1(0); //Inicializa TMR1
ext_int_edge(0,H_TO_L); //Configurar para flanco bajada
cambio=1; //Control de cambio de flanco
} else { //Flanco de Bajada
TFB=get_timer1(); //Valor del Timer1 para el Flanco de bajada
ext_int_edge(0,L_TO_H); //Configurar para flanco subida
cambio=0; //Control de cambio de flanco
if(nuevopulso==0){ //Fin de pulso
nuevopulso=1; //Pulso a calcular
}
}
}

void calibrar(void){ //Función de Calibración
set_adc_channel(0); //Setup ADC
adc=read_adc(); //Inicia ADC
delay_us(10);
digital=5.0 * adc /1024.0; //Factor de conversion Binario-Voltaje
AP=0; //Reinicia Contador encoder
lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc,"Calibracion"); //Visualizacion LCD
printf(lcd_putc,"\nRealizada");
delay_ms(800);
printf(lcd_putc,"\f");
}

void labview(void){ //Función de Adquisición de datos mediante Labview
```

```

aux=1;                //Variable auxiliar
while (aux == 1){
lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc,"Iniciar ADQ\r");//Vizualizacion LCD
printf(lcd_putc,"\nEn Labview");
caracter=getch();     //Lectura dato puerto serial
printf(lcd_putc,"\f");
while (caracter=='1') {
set_adc_channel(0);   //ADC por AN0
adc2=read_adc();     //Lectura ADC
digital2=5.0 * adc2 /1024.0;
voltaje=digital2-digital;
fuerza=(voltaje*1000000.0)/4781.0; //Conversion Voltaje-Fuerza
enable_interrupts(int_ext); //Habilitación interrupción RB0
enable_interrupts(global); //Habilitación general
lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc,"\f = %3.4f Kgf", fuerza);
printf(lcd_putc,"\nEsf = %5.2f Kg/cm2", AP);
printf("%5.3f%5.3f\r",fuerza,AP); //Trasmision datos Fuerza-Deformacion
delay_ms(100);
if(nuevopulso==1){   // ¿ Pulso nuevo?
AP=AP+1.0;           // Ancho de pulso en microsegundos de Timer1...
nuevopulso=0;       //Pulso medido
}
if (input(PIN_E1) == 1) { //Si se pulsa el botón de selección
setup_adc(ADC_OFF);    //ADC Apagado
printf(lcd_putc,"\f");
printf(lcd_putc,"Adquisicion");
printf(lcd_putc,"\nDetenida");
delay_ms(500);
printf(lcd_putc,"\f");
caracter='2';
aux=2;
}
}
}
}
}

```

```

void pantalla(void){ //Función de Visualización en pantalla LCD
aux=1;
while (aux == 1) {
set_adc_channel(0);
adc2=read_adc();
delay_us(10);
digital2=5.0 * adc2 /1024.0;
voltaje=digital2 - digital;
fuerza=(voltaje*100000.0)/564.0;
esfuerzo=fuerza/area;
enable_interrupts(int_ext); //Habilitación interrupción RB0
enable_interrupts(global); //Habilitación general
lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc,"\fE= %5.2f mpulg", deformacion);
printf(lcd_putc,"\nD= %5.2f Kg/cm2", esfuerzo);
if(nuevopulso==1){ // ¿ Pulso nuevo?

```

```

    AP=AP+1.0;           // Ancho de pulso en microsegundos de Timer1...
    nuevopulso=0;       //Pulso medido
    deformacion=(AP*357)/1000;
  }
  delay_ms(100);
  if (input(PIN_E0) == 1){
    aux=2;
    setup_adc(ADC_OFF);
    printf(lcd_putc, "\f");
    lcd_gotoxy(1,1);
    printf(lcd_putc, "Adquisicion");
    printf(lcd_putc, "\nDetenida");
    delay_ms(400);
    printf(lcd_putc, "\f");
  }
}
}

void compresion(void) {
  num=0;
  radio=2;
  aux=1;
  while (aux==1) {
    if (input(PIN_E0) == 1) { //Detecta botón de selección
      num++; //Si pulsa aumenta la variable
      delay_ms(200); //Para evitar rebotes
    }
    lcd_gotoxy(1,1);
    printf(lcd_putc, "MUESTRA");
    if (num > 2) { //Si la variable supera el número de opciones
      num = 0;
    }
    if (num == 1) {
      printf(lcd_putc, "\nCILINDRICA"); //Para la muestra cilindrica
      if (input(PIN_E1) == 1) { //Detecta botón de selección
        printf(lcd_putc, "\f");
        aux=2;
        while (aux==2) {
          if (input(PIN_E0) == 1) { //Detecta botón de selección
            radio=radio+0.10; //Si pulsa aumenta el radio de la muestra
            delay_ms(200); //Para evitar rebotes
          }
          lcd_gotoxy(1,1);
          printf(lcd_putc, "Radio Muestra");
          printf(lcd_putc, "\nr = %3.1g", radio);
          delay_ms(200);
          if (radio > 4) { //Si la variable supera un valor de radio permitido
            radio = 2;
          }
          if (input(PIN_E1) == 1) { //Para el calculo del area transversal
            area=(radio*radio)*pi;
            printf(lcd_putc, "\f");
            aux=3;
          }
        }
      }
    }
  }
}

```



```

while (aux==2) {
  if (input(PIN_E0) == 1) { //Detecta botón de selección
    radio=radio+0.10; //Si pulsa aumenta el lado
    delay_ms(200); //Para evitar rebotes
  }
  lcd_gotoxy(1,1);
  printf(lcd_putc,"Lado Muestra");
  printf(lcd_putc,"nr = %3.1g", radio);
  delay_ms(200);
  if (radio > (5.5)) { //Si la variable supera un valor permitido
    radio = 3.5; } //Se regresa a un valor minimo
  if (input(PIN_E1) == 1) { //Para el calculo del area
    area=(radio*altura);
    printf(lcd_putc,"%f");
    aux=3;
  }
  }
  }
  }
  }
  lcd_gotoxy(1,1);
  printf(lcd_putc,"Lado %3.2g", radio);
  printf(lcd_putc,"nArea = %3.2g cm2", area);
  delay_ms(800);
  printf(lcd_putc,"%f");
}

void run_func(int numfunc){ //Asignación de la función a realizar
                          //viene dada por la variable "item"
  switch(numfunc) {
    case cal: //Envia a funcion calibrar
      calibrar();
      break;
    case lab: //Envia a funcion labview
      labview();
      break;
    case pan: //Envia a funcion pantalla
      pantalla();
      break;
    case com: //Envia a funcion compresion
      compresion();
      break;
    case cor: //Envia a funcion corte
      corte();
      break;
  }
}

void main() { //PROGRAMA PRINCIPAL
  setup_adc_ports(AN0); //ADC mediante pin A0
  setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL); //ADC con reloj interno
  setup_timer_1(T1_INTERNAL | T1_DIV_BY_1); // Configuración TIMER1
  ext_int_edge(0,L_TO_H); // Configurar para flanco subida
  cambio = 0; // Control de cambio de flanco
}

```

```

char item;          //Variables de funciones
char n_menus = 5; //Número de funciones
lcd_init();        //Inicio modulo LCD
lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc,"UDENAR");
printf(lcd_putc,"\nLAB SUELOS");
delay_ms(1000);
lcd_putc("\f");

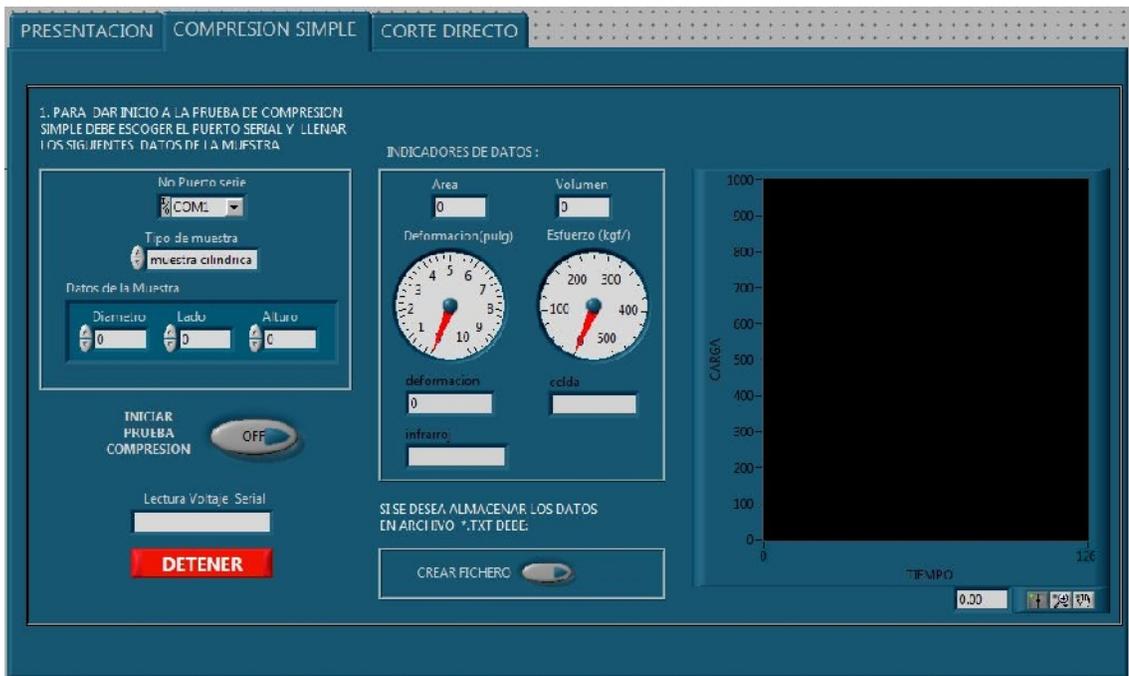
while (1) {
if (input(PIN_E0) == 1) { //Detecta botón de selección
    item++;                //Si pulsa aumenta la variable
    delay_ms(200);        //Para evitar rebotes
    lcd_putc("\f");      } //Limpia caracteres en modulo LCD

if (item > (n_menus-1)) { //Si la variable supera el número de Menus
    item = 0; }           //Reinicio de menus
switch (item) {          //Indica distintos menus segun operario
case 0:
    lcd_gotoxy(1,1);
    printf(lcd_putc, "CALIBRACION");
    printf(lcd_putc, "\nDEL SISTEMA");
    lcd_gotoxy(1,1);
    break;
case 1:
    printf(lcd_putc, "ADQUISICION");
    printf(lcd_putc, "\nEN LABVIEW");
    lcd_gotoxy(1,1);
    break;
case 2:
    printf(lcd_putc, "VISUALIZACION");
    printf(lcd_putc, "\nMODULO LCD");
    lcd_gotoxy(1,1);
    break;
case 3:
    printf(lcd_putc, "ENSAYO DE");
    printf(lcd_putc, "\nCOMPRESION");
    lcd_gotoxy(1,1);
    break;
case 4:
    printf(lcd_putc, "ENSAYO DE");
    printf(lcd_putc, "\nCORTE DIRECTO");
    lcd_gotoxy(1,1);
    break;
}
if (input(PIN_E1) == 1) //Si se pulsa el botón de selección
{delay_ms(200);
printf(lcd_putc,"\f");
run_func(item);} //se llama a la función correspondiente
}
}

```

ANEXO C. Aplicación en Software Labview 2009

PANEL DE CONTROL



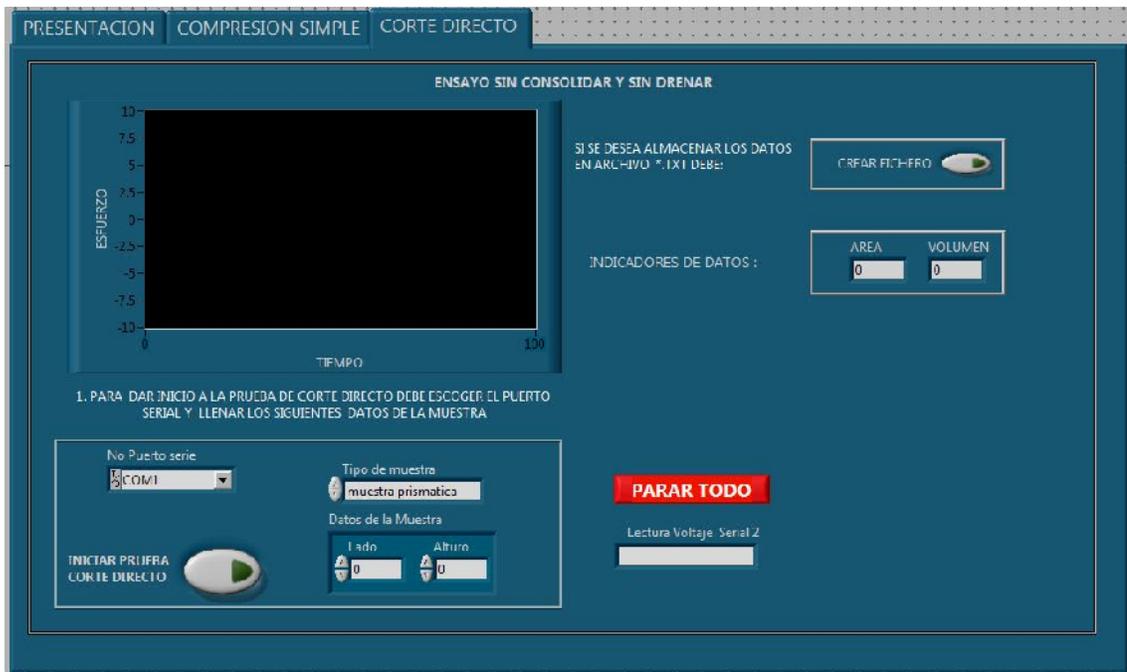
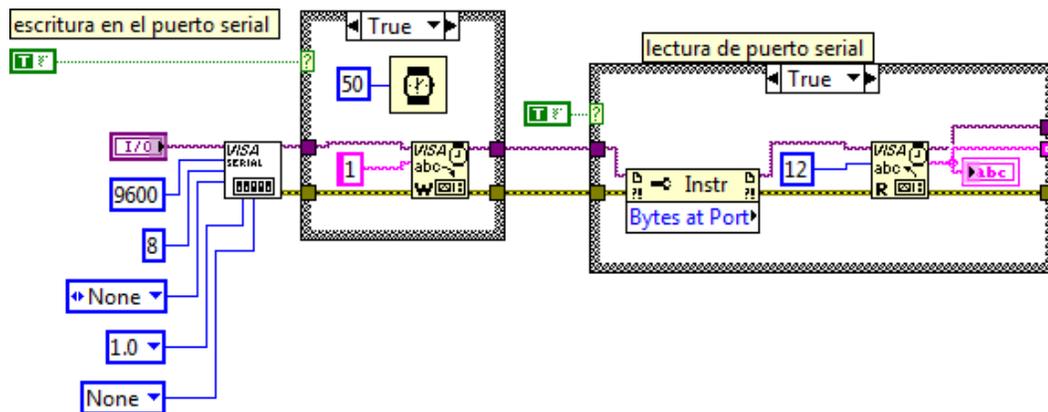
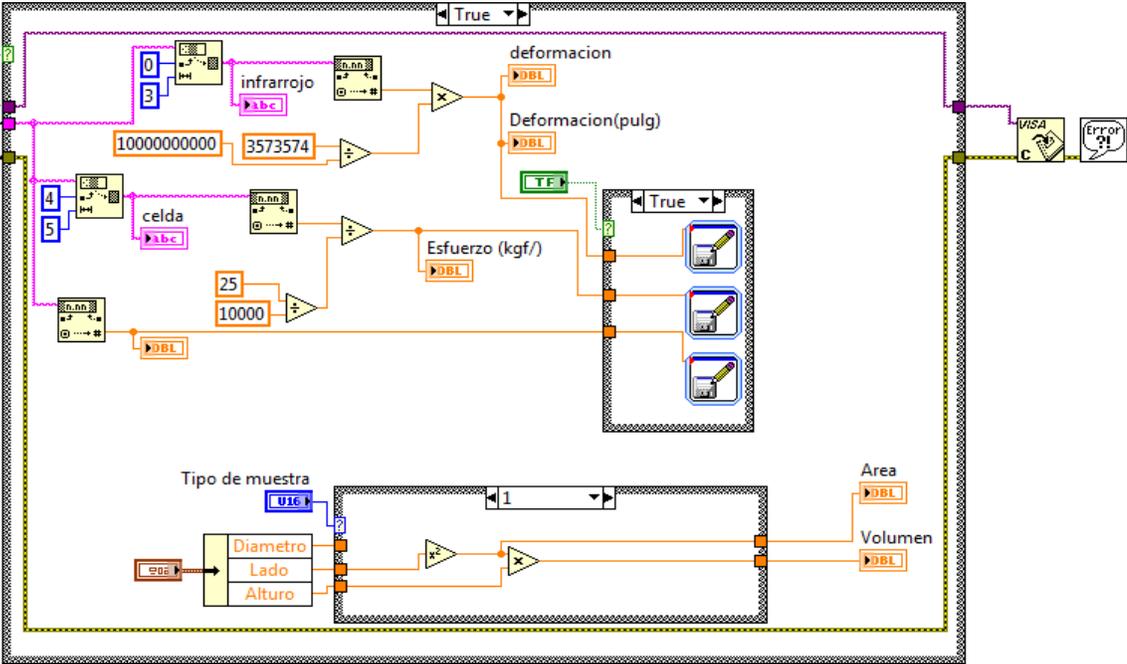


DIAGRAMA DE BLOQUES

Transmisión serial empleada en compresión y en corte directo



Compresión inconfiada



Corte directo

