

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS

CÁMARA TRIAXIAL DIGITALIZADA

“LG-02”

ASESOR: **Dr. Rubén Herrera Galicia**

Méndez Gómez Jhoan Givanny
De la Cruz López Jesús Alejandro

Marzo 2014



TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS

Índice

1.Introducción.....	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Estado del arte	4
1.3 Justificación	5
1.4 Objetivos	5
1.5 Metodología	5
2.Fundamento teórico.....	7
2.1 Cámara Triaxial	7
2.2 Ensayo Triaxial	8
2.3 Relación esfuerzo-deformación	12
2.4 Sensores	17
3.Desarrollo.....	23
3.1 Acondicionamiento, sensor de desplazamiento y presión	23
3.2 Transmisión y recepción de datos	25
3.3 Configuración Bluetooth-PC	29
3.4 Ensayo en el laboratorio	33
3.5 Software LG-02	38
4. Resultados	44
4.1 Resultados de datos enviados y recibidos	44
4.2 Comparación de resultados	47
4.3 Simulación de placa transmisora	49
5. Conclusión	50
Referencias	51
Anexos	53
Anexo A.-Diseño Pcb transmisor	53
Anexo B.-Código PIC16F877Atransmisor	53
Anexo C.-Especificaciones; celda de carga	55

Anexo D.-Acondicionador Z-SG para celda de carga.....	56
Anexo E.-Placa transmisora	58
Anexo F.- Formato de reporte prueba triaxial rápida	59
Anexo G.- Reporte círculos de Mohr	60

1. Introducción

1.1 Antecedentes

Cuando se somete una masa de suelo a un incremento de presiones producida por algún tipo de estructura, edificación u obra de ingeniería, se generan en él esfuerzos que tratarán de mantener el equilibrio existente en la superficie de él ante la presión externa aplicada. Cuando la carga exterior aplicada tiene una magnitud que supera a la resultante de los esfuerzos interiores de la masa del suelo, se romperá el equilibrio existente y se producirá lo que se denomina Planos de Falla o de deslizamiento, este tipo de sucesos es tratado regularmente por la ingeniería civil.

La rama de la ingeniería civil encargada de estudiar este tipo de sucesos que se llevan acabo en el suelo es la geotecnia la cual estudia las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles del suelo y las rocas por debajo de la superficie para determinar sus propiedades y hacer diseños para estructuras construidas por encima de la superficie cimentaciones superficiales, cimentaciones semi-profundas y cimentaciones profundas. Presas y diques son estructuras que pueden ser construidas de suelo o roca y que para su estabilidad y estanqueidad dependen en gran medida de los materiales sobre los que están asentados o de los cuales se encuentran rodeados.

Una de los equipos utilizado en la actualidad por la ingeniera civil para determinar y obtener parámetros de la resistencia del suelo es la cámara triaxial ,se forma del conjunto de instrumentos, mecanismos de compresión y medición para análisis y estudio de muestras de suelo. Realizando un esfuerzo triaxial a la muestra, para así determinar sus parámetros de esfuerzo-deformación, cuando se aplican presiones laterales y axiales, a través de un ensayo Triaxial es posible obtener una gran variedad de estados reales de carga.

En el campo de la ingeniería civil se utilizan cámaras triaxiales analógicas que utilizan dispositivos mecánicos y analógicos para medir presión y desplazamiento, así poder medir la resistencia de los suelos. Los datos obtenidos durante las etapas del ensayo triaxial, que normalmente son datos de peso, diámetro, altura, presión, deformación, los cuales se grafican para conocer el coeficiente de cohesión y el ángulo de fricción del suelo. Estos parámetros son los que se utilizan como base para el diseño de cimentaciones de edificaciones a construir sobre el suelo examinado.

Las cámaras triaxiales son instrumentos con característica operativa analógica que por consiguiente al leer los datos durante las pruebas se incluyen porcentajes de error e incertidumbre implícita a toda medición. En las diferentes etapas que constituyen el ensayo triaxial interviene el humano para realizar las correspondientes anotaciones acumulando con esto los diferentes tipos de errores que ocurren al obtener una medición. Al tener una interfaz donde visualizar los datos de una manera digital, se aprovecha mejor la utilidad del

instrumento, por la exactitud y precisión de los datos adquiridos, además de agilizar el proceso del ensayo triaxial y lograr mejores resultados.

1.2 Estado del arte

Las cámaras triaxiales modernas cuya finalidad es obtener parámetros del suelo y la relación esfuerzo-deformación a través de la determinación del esfuerzo cortante, son de gran importancia en la construcción de cimentaciones y estructuras ingenieriles, estas varían dependiendo su aplicación, presión y tamaño de muestra que es ingresada en la probeta cilíndrica.

HMA-517 Triaxial, Gilson Company.-Los cilindros de acrílico están diseñados para tener capacidad máxima presión de operación entre 100psi (6.9bar) y 200 psi (13.8bar). El cilindro acrílico descansa sobre una base sólida, circular también diseñados para carga pesada. También se puede utilizar para aplicaciones de paredes flexibles pruebas de permeabilidad. HMA-519 cámara triaxial permite realizar pruebas de ambos suelos y las muestras de asfalto hasta 6 pulgadas (152 mm) de diámetro y 12 pulgadas (305 mm) de altura. [20].

Triaxial HM-4199B, Proveedor: GENEQ, inc. (Dist.) - Montreal, Quebec. Es ideal para los tamaños de muestra de 1,4 "(35 mm) a 3" (75mm). La cámara de acrílico transparente tiene una presión de trabajo de 150 psi (1.000 kPa) y se prueba a 250 psi (1.700 kPa). El nuevo estado de diseño de última generación cuenta con una base sólida por lo que es más fácil centrarse en la prueba de platina y más oportuna puesta a punto. [21].

En la actualidad el uso de pruebas triaxiales en laboratorios de suelos, arroja resultados más precisos en la obtención de los parámetros de resistencia del suelo. Estas pruebas son de mayor confiabilidad al momento de determinar la resistencia del suelo y nos dan opción de conocer en forma más completa las características mecánicas de un suelo.

Sabiendo que para obtener los resultados que arroja la cámara triaxial, se hace una serie de anotaciones en la cual se acumulan errores al leer las mediciones y a su vez aparatos de medición analógicos, se propone como proyecto la automatización de las mediciones, el registro de las cargas aplicadas y las deformaciones durante el proceso completo de una prueba de compresión de una muestra de suelo con una cámara triaxial analógica.

1.3 Justificación

Al mejorar la manera de adquirir los datos durante las diferentes fases de un ensayo triaxial se aprovecha el rendimiento y la eficiencia de la cámara triaxial, automatizando la adquisición de los datos provenientes de las mediciones de los sensores se evita los errores típicos de paralaje y de error humano, visualizando las lecturas en una pantalla LCD, además de agilizar la obtención de los datos ,aplicando la tecnología bluetooth para la transmisión de estos a un programa con interfaz ,da mayor confiabilidad a las mediciones y hace que el usuario obtenga los resultados de los parámetros de la muestra de suelo de manera inmediata sin realizar algún calculo.

1.4 Objetivos

Diseñar e Implementar un sistema, adaptado a una cámara triaxial, capaz de adquirir, señales eléctricas, provenientes de un sensor de desplazamiento y un sensor de fuerza, para procesarlas en un microcontrolador y ser transmitidas a través de módulos bluetooth para ser procesadas por un programa con interfaz en la computadora y mostrar los resultados requeridos en una prueba triaxial rápida.

1.5 Metodología

En la automatización de la cámara triaxial, destacan puntos importantes que se muestran como bloques en la fig.1.1 y se describen a continuación.

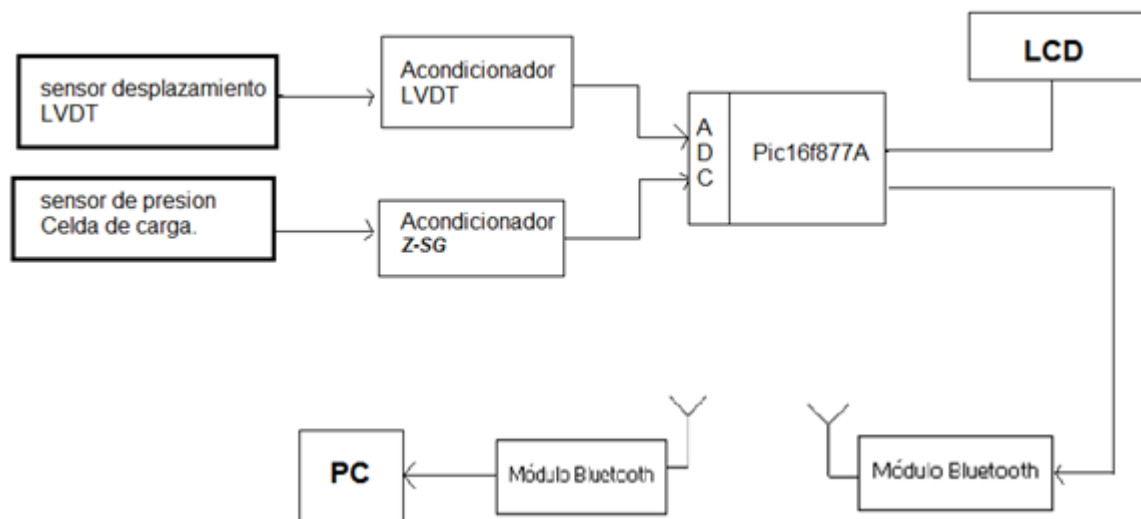


Fig.1.1 Diagrama a bloques del sistema de automatización de la Cámara Triaxial

Las dos señales a manipular en la automatización de la cámara triaxial se obtendrán de un sensor de desplazamiento y un sensor de presión representados en los primeros dos bloques de la figura 1.1 Un sensor LVDT y una celda de carga. El sensor LVDT detecta el desplazamiento que tiene la muestra dentro de la cámara triaxial, mandando un voltaje de salida CA hacia un acondicionador para convertirlo en un voltaje CD utilizable. El sensor de presión, celda de carga, es el encargado de mandar una señal de acuerdo a la presión de una compresora hidráulica que se encarga de ejercer presión sobre la muestra a ensayar.

Los bloques de acondicionador de LVDT y acondicionador Z-SG como su nombre lo indica son los que van a acondicionar, tratar la señal que entregan los sensores para que puedan ser manipulados por el microcontrolador. Después de haber sido acondicionadas las señales provenientes de los sensores de desplazamiento y la celda de carga, estas entraran al convertidor analógico digital integrado en el PIC16f877a, para su conversión entregando los datos al módulo de bluetooth emisor y a la pantalla LCD la cual muestra los valores digitales entregados por los sensores.

Los siguientes bloques corresponden a los módulos de bluetooth, en los cuales viajan los datos dirigidos hacia la PC, el módulo emisor el cual está conectado al microcontrolador envía los datos hacia el módulo receptor integrado en la PC el cual se encarga de capturar los datos para ser manipulados y mostrados en la interfaz, un software que se encarga de las capturas de los datos y sus diferentes cálculos correspondientes a la prueba triaxial.

2. Fundamento teórico

2.1 Cámara Triaxial

La cámara o celda triaxial consiste principalmente de un cilindro con una cubierta superior e inferior de metal (cabezales), donde en el interior de esta es colocada la muestra de suelo de forma cilíndrica a la que se llamará probeta, cuyas dimensiones están en función al tipo de suelo. Una piedra porosa es colocada por encima y por debajo de la probeta luego de ser envuelta en una vaina de látex para protegerla del agua, también existen tubos de entrada y salida instalados en la cámara los cuales están controlados por válvulas que permiten o cortan la circulación de agua o glicerina cuando se desee [15].

Este fluido que llena la cámara mantiene una presión hidrostática de confinamiento (σ_3) constante y simétrica a lo largo de toda la circunferencia de la probeta, asegura la hermeticidad de la cámara por medio de abrazaderas ajustadas a los cabezales. Este equipo permite determinar las características de esfuerzo-deformación y resistencia de un suelo saturado, cuando se aplican presiones laterales y axiales a un espécimen cilíndrico, en la figura 2.2 se muestran las diferentes partes de una cámara triaxial analógica común.

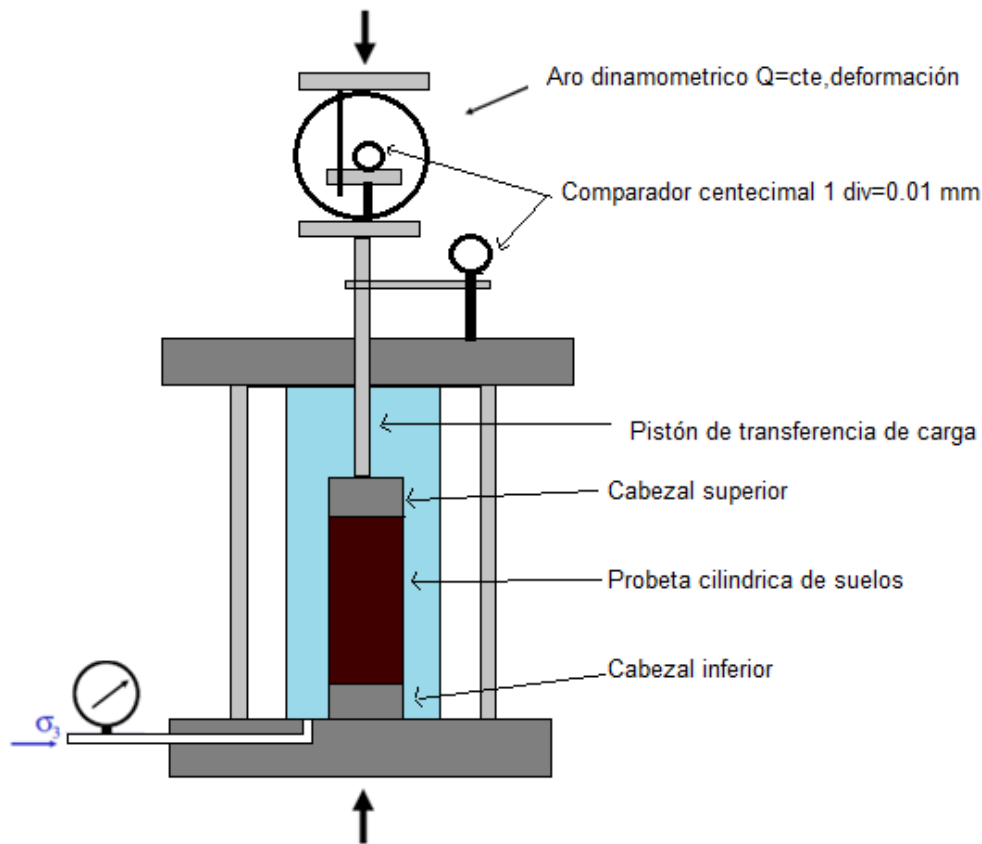


Fig. 2.2 Cámara triaxial típica

2.2 Ensayo Triaxial

Su principal finalidad es obtener parámetros del suelo y la relación esfuerzo-deformación a través de la determinación del esfuerzo cortante. Es un ensayo complejo pero la información que entrega es la más representativa del esfuerzo cortante que sufre una masa de suelo al ser cargada. Consiste en colocar una muestra cilíndrica de suelo dentro de una membrana de caucho o goma que se introduce en una cámara especial y se le aplica una presión igual en todo sentido y dirección. [6].

Alcanzado ese estado de equilibrio se aumenta la presión normal o axial (σ_1), sin modificar la presión lateral aplicada (σ_3), hasta que se produzca la falla. Realizando por lo menos 3 pruebas, con presiones laterales diferentes, en un gráfico se dibujan los círculos de Mohr que representan los esfuerzos de falla de cada muestra y trazando una tangente o envolvente a estos se determinan los parámetros ángulo de fricción (ϕ) y cohesión (c) del suelo.

Dependiendo del tipo de suelo y las condiciones en que este trabajara, las alternativas para realizar el ensayo serán consolidado no drenado (CU), no consolidado no drenado (UU) o consolidado drenado (CD). En una prueba de compresión cilíndrica, la falla ocurre debido al corte, por ello es necesario considerar la relación entre la resistencia al corte y la tensión normal que actúa sobre cualquier plano dentro del cuerpo a compresión.

En una prueba de compresión, una muestra de suelo está sujeta a fuerzas compresivas que actúa en tres direcciones (figura 2.3), en ángulos rectos entre sí, respectivamente; uno en la dirección longitudinal, los otros dos lateralmente. Los tres planos perpendiculares sobre los cuales estas tensiones actúan, son conocidos como los planos principales, y las tensiones como las tensiones principales. Muchos de los problemas de mecánica de suelos son considerados en dos dimensiones, y solo son usadas las tensiones principales mayor y menor. A la influencia de la tensión principal intermedia se le resta importancia.

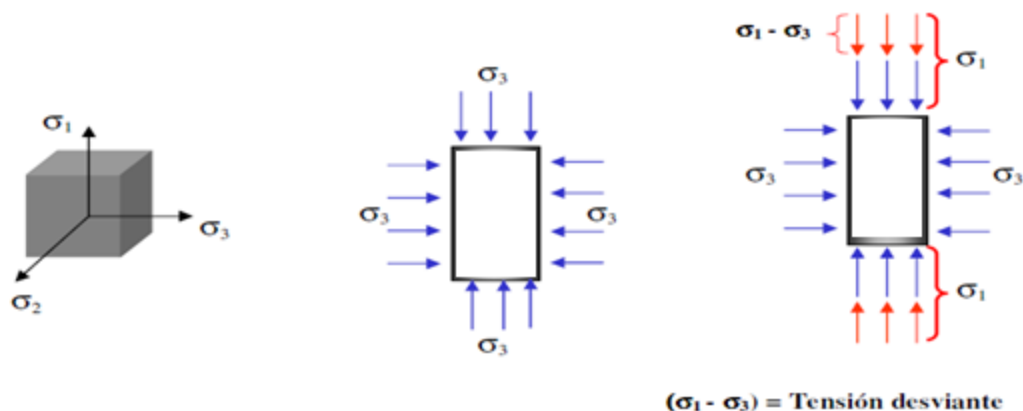


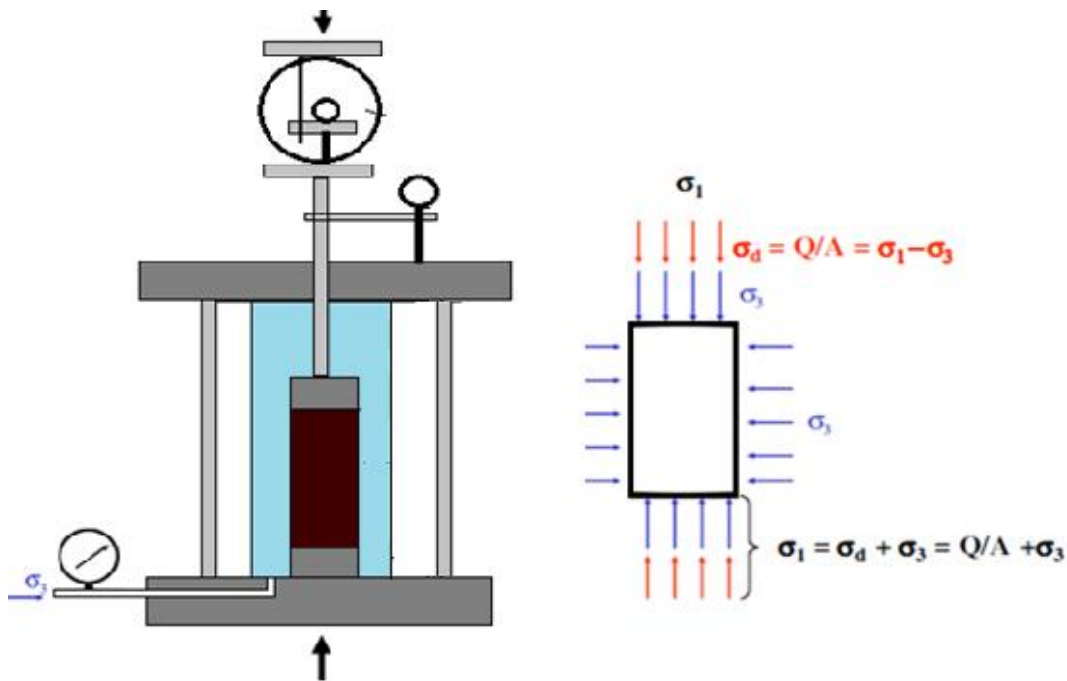
Fig. 2.3 Elemento bajo una tensión Triaxial

En todo tipo de ensayo triaxial tenemos durante su ejecución dos etapas bien diferenciadas [16]:

1° Etapa: consiste en la aplicación de una presión hidrostática (igual en todas direcciones) y que logramos mediante la inyección de líquido a presión. Esta tensión aplicada sobre toda la superficie de la probeta, se conoce con el nombre de Tensión Confinante,.

2° Etapa: se aplica por medio del pistón de la cámara triaxial un esfuerzo vertical que se distribuye a toda el área de la probeta y que se conoce con el nombre de Tensión Desviante. Esta tensión desviante σ_d sale de dividir el esfuerzo Q que se transmite a través del pistón por área de la probeta. Una vez armada la cámara triaxial la misma debe montarse en el marco de carga que puede ser de deformación controlada o de carga controlada. En el marco de carga de deformación controlada se aplica, como su nombre lo indica, una deformación constante a la probeta y se mide en un anillo dinamométrico la fuerza Q que desarrolla la probeta para oponerse a la deformación. fig 2.4.

En la figura 2.4 se muestran las dos diferentes etapas que ocurren en un ensayo triaxial, estas etapas van a depender del tipo de suelo y la condiciones en que este trabajará.



Primera etapa: Aplicamos σ_3 sin aplicar carga.

Segunda etapa: Con la probeta bajo un estado hidrostático de presión, aplicamos la tensión desviante σ_d que medimos en el aro dinamométrico.

Fig. 2.4 Esfuerzos aplicados

Los datos que se deben registrar antes, durante y al finalizar la realización de un ensayo dependerá del tipo prueba y de suelo, pero los principales son los siguientes:

Antes de montar la probeta en la cámara triaxial:

Po: Peso inicial de la probeta.

Do: diámetro inicial de la probeta.

Ho: Altura inicial de la probeta.

Después de haber sido montada en la cámara triaxial:

*ci: Presión de confinamiento.

Hi: Altura inicial de la probeta.

*Hi: Deformación axial de la probeta en cada punto de interés, obtenida del extensómetro correspondiente.

Pi: Carga axial sobre la probeta correspondiente a cada lectura, obtenida de la célula decarga.

*Hf: Deformación axial de la probeta al retornar la carga a cero al finalizar el primero y segundo escalón de carga.

Y al finalizar el ensayo:

Wf: Humedad final de la muestra.

Tipos de pruebas triaxial.- [17] En la actualidad existen dos modalidades de pruebas triaxiales; pruebas de compresión y pruebas de extensión, todo depende de si la muestra varía en aumento o disminución de su dimensión original de altura. Las pruebas triaxiales se clasifican además por su forma de aplicación sobre el espécimen en tres grupos, que son:

Prueba Rápida-Consolidada (consolidado no drenado-CU): la muestra es llevada a la falla por rápido incremento de la carga axial, de manera que no exista cambio de volumen. El hecho esencial de este tipo de ensayos es no permitir ninguna consolidación durante el periodo de falla con la aplicación de la carga axial, esto se logra fácilmente en una cámara de compresión Triaxial cerrando la válvula de salida de las piedras porosas de la bureta (válvula que conecta el interior de la muestra de suelo con el exterior de la cámara de compresión).

Prueba lenta (consolidado drenado-CD): se abre la válvula de la bureta, esto con el propósito de desalojar el agua contenida en los poros de la muestra de suelo que se está ensayando, además se cuenta el hecho de que las velocidades de aplicación de la carga son mucho más lentas que en el ensayo C.U.

Prueba Rápida (no consolidado no drenado-UU): en esta prueba tanto la presión hidrostática como la carga axial son aplicadas sin permitir consolidación en la muestra. Los esfuerzos efectivos no se conocen bien, ni tampoco su distribución en ningún momento.

Procedimiento de la prueba Rápida-Consolidada (*consolidado no drenado CU*).-para registrar los datos necesitan dos operarios; uno para leer el extensómetro y registrar los datos y el otro para leer las variaciones de nivel en la bureta. Por lo demás, las manipulaciones deberán ajustarse a que en un cierto tiempo registrado, se abre la válvula de la bureta por completo.

Esta prueba consta de tres etapas (saturación, consolidación y compresión). Primeramente la probeta es saturada completamente de agua, luego incrementando la presión de cámara es consolidada, esta etapa lleva al suelo a un estado prescrito de volumen y de presión de poros, a partir del cual se pueden medir con exactitud los siguientes cambios de volumen o de presión de poros que ocurrirán durante el ensayo. Finalmente cuando se ha disipado el exceso de presión de poros al valor de la contrapresión original σ_3 se cierran las válvulas de drenaje para empezar la compresión, donde la probeta llegará al punto cedente sin drenado. Cuanto mayor sea la presión de cámara mayor será el esfuerzo desviador necesario para producir la falla.

Se traza gráficas semi-logarítmicas de lecturas del extensómetro y de la bureta contra los tiempos transcurridos (escala logarítmica), simultáneamente al proceso de consolidación.

Procedimiento de la prueba lenta (*consolidado drenado CD*).-En la etapa de consolidación el procedimiento es el mismo de la prueba r-c. La etapa de carga axial y falla la carga axial se aplica en incrementos, permitiendo completo drenaje de la muestra en todo momento. La velocidad de aplicación de las cargas y la magnitud de los incrementos aplicados varían a lo largo de la prueba, sin que pueda establecerse una secuela definida. Los incrementos de carga iniciales pueden ser grandes, posiblemente de un cuarto de la carga de falla prevista, dejando aplicado cada uno hasta obtener, por lo menos, un 75% de consolidación primaria.

Después los incrementos deben ser de mucha menor magnitud y debe dejarse que cada uno obre durante 24 h por lo menos. Al principio no se requiere obtener curvas de consolidación más que para verificar el haber alcanzado la consolidación primaria deseada, a menos que exista una razón especial para trazarlas. No obstante, al final de la prueba sí es preciso disponer de frecuentes lecturas del extensómetro y la bureta, para poder calcular el área corregida de la sección transversal de la muestra. Deben tenerse registros frecuentes de la presión imperante en la cámara y de la temperatura del cuarto.

Procedimiento para la prueba Rápida (*no consolidada no drenada UU*).- En esta prueba no se permite en ningún momento el drenaje. La probeta no es consolidada, por lo tanto no se disipa la presión de poros durante la aplicación de la presión isotrópica de cámara en la etapa de saturación.

Después de establecer la presión de confinamiento en la cámara, se conecta la prensa para aplicar la carga axial, se deben tomar lecturas de deformación y de carga a intervalos regulares, de este último hasta que se produzca la falla o hasta que la deformación alcance un valor considerable (aproximadamente 20%). El

incremento del esfuerzo desviador es bastante rápido, lo que permite que no se disipe la presión de poros y los resultados puedan solo expresarse en términos de esfuerzo total. La duración del ensayo es de 10 a 15 minutos.

2.3 Relación esfuerzo-deformación

Probablemente una de las características ingenieriles más representativas de un material desde el punto de vista de definir su comportamiento se llama la relación esfuerzo-deformación. Estos son, en primer lugar la resistencia del material a los esfuerzos al que se somete, en segundo lugar preocupa la deformabilidad del material expresada en relación a los esfuerzos al que se le aplique, tanto en lo que se refiere a la intensidad o nivel de los esfuerzos, como a la manera en que se ejerzan, incluyendo la velocidad de aplicación.

Una de las principales pruebas de laboratorio que se hace para determinar las características esfuerzo-deformación de los suelos es la prueba triaxial. Es la más común y versátil de las pruebas. También es la prueba más útil para conocer su resistencia. En ella se mide la deformación axial de un espécimen cilíndrico de altura aproximada igual a 2 o 3 veces el diámetro de su base, mientras se le aplica un esfuerzo normal vertical conocido y esfuerzos laterales (presión confinante) iguales en todas las direcciones horizontales.

El espécimen es primero sometido a la presión de confinamiento, dada usualmente por agua a presión dentro de la cámara triaxial, después se incrementa el esfuerzo vertical hasta que el espécimen falla (esfuerzo desviador). En la prueba triaxial puede conocerse el esfuerzo aplicado utilizando un vástago de carga con pesos conocidos (prueba con esfuerzo controlado) o bien puede medirse el esfuerzo empleando una báscula hidráulica y presionando el vástago sobre el espécimen (prueba de deformación controlada). La deformación axial se mide utilizando extensómetros. Con un manómetro, ubicado en la parte superior de la cámara de prueba (figura 2.5) mide la deformación que sufre la muestra. Esta deformación es proporcional al desplazamiento de la cámara de prueba.

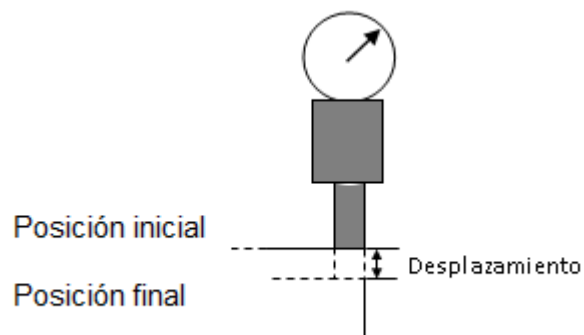


Fig. 2.5 Manómetro

Concluida una prueba los datos obtenidos son registrados en una tabla. Una vez concentrada la información se grafican los datos obtenidos. Se repite la prueba para cada una de las presiones de agua. En una gráfica se concentran los resultados obtenidos de las pruebas a diferentes presiones. Y en base a esta gráfica se determina el ángulo de fricción y la cohesión del suelo. Esta última sirve para calcular la capacidad de carga para la cimentación.

En la figura 2.6 se muestra la capsula que contiene la muestra de suelo a ensayar dentro de la cámara triaxial con agua a presión.

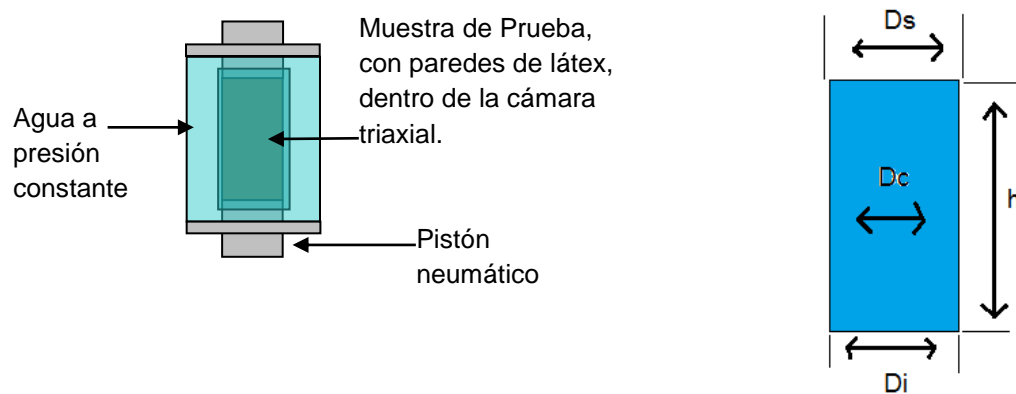


Fig. 2.6 Deformación de la muestra

Ds=Diámetro Superior.
Dc=Diámetro Central.
Di=Diámetro Inferior.
h=Altura de la Muestra.

Cohesión y el ángulo de fricción utilizando los círculos de Mohr.-La modelación o representación matemática del fenómeno de falla al cortante en un deslizamiento se realiza utilizando las teorías de la resistencia de materiales. Las rocas y los suelos al fallar al corte se comportan de acuerdo a las teorías tradicionales de fricción y cohesión, según la ecuación generalizada de Coulomb:

Para suelos saturados.

$$T=c'+(\sigma - \mu)\text{Tan } \phi' \quad (2.1)$$

Para suelos parcialmente saturados.

$$T=c'+(\sigma - \mu)\text{Tan } \phi'+(\mu - \mu_a)\text{Tan } \phi' \quad (2.2)$$

Donde:

τ = Esfuerzo de resistencia al corte.
 c' = Cohesión o cementación efectiva.
 σ = Esfuerzo normal total.

μ = Presión del agua intersticial o de poros.
 μ_a = Presión del aire intersticial.
 ϕ' = Angulo de fricción interna del material.
 ϕ'' = Angulo de fricción del material no saturado.

El análisis de la ecuación de Coulomb requiere predefinir los parámetros, ángulo de fricción y cohesión, los cuales se consideran como propiedades intrínsecas del suelo. La presencia del agua reduce el valor de la resistencia del suelo dependiendo de las presiones internas o de poros de acuerdo a la ecuación de Coulomb, en la cual el factor u está restando al valor de la presión normal. La presión resultante se le conoce con el nombre de presión efectiva σ' .

$$\sigma' = \sigma - \mu \quad (2.3)$$

ϕ' = Angulo de fricción para presiones efectivas.
 c' = Cohesión para presiones efectivas.

Ángulo de Fricción.-El ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de rozamiento, el cual es un concepto básico de la física, coeficiente de rozamiento = $\tan \phi$. El ángulo de fricción depende de varios factores (Bilz, 1995) entre ellos algunos de los más importantes son: Tamaño de los granos, forma de los granos, distribución de los tamaños de granos, densidad.

Cohesión.-La cohesión es una medida de la cementación o adherencia entre las partículas de suelo. La cohesión en mecánica de suelos es utilizada para representar la resistencia al cortante producida por la cementación, mientras que en la física este término se utiliza para representar la tensión. En suelos eminentemente granulares en los cuales no existe ningún tipo de cementante o material que pueda producir adherencia, la cohesión se supone igual a 0 y a estos suelos se les denomina Suelos no Cohesivos.

Puesto que la resistencia al corte depende de los esfuerzos efectivos en el suelo, los análisis de estabilidad se harán entonces en términos de esfuerzos efectivos. Sin embargo, en ciertas circunstancias el análisis puede hacerse en términos de esfuerzos totales y por lo tanto, en general, se necesitará determinar los parámetros de resistencia al corte del suelo en esfuerzos efectivos y esfuerzos totales. Es decir, los valores de c' , ϕ' y c , ϕ .

En la figura 2.7 se muestra la representación de los círculos de Mohr para la obtención del ángulo de fricción y cohesión.

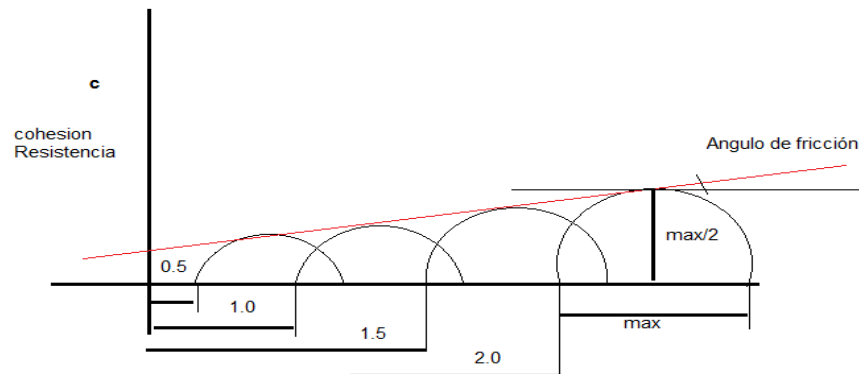


Fig. 2.7 Ángulo de fricción y cohesión mediante Círculos de Mohr

Se dibuja los ejes de coordenadas T , σ (fig.2.8).

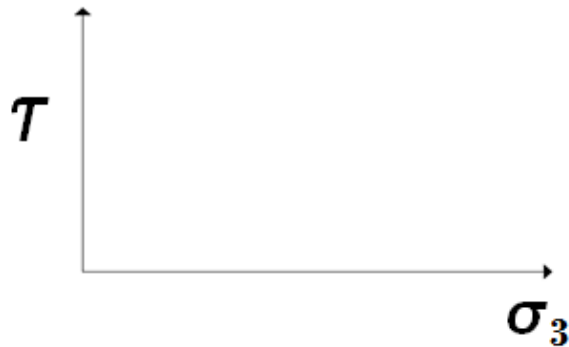


Fig. 2.8 Eje coordenado (T , σ_3)

Con ayuda de un escalímetro decidimos una escala de 1:50 para representar la muestra. Dibujamos los círculos con una separación de 0.5 esta es la presión que le aplicamos a la muestra y para conocer dónde termina el semicírculo se calcula mediante la fórmula $\sigma_1 - \sigma_3$ y así con un compás medimos del punto inicial hasta el punto final y dividimos entre 2 para saber el centro del semicírculo y dibujarlo con la ayuda del compás como se aprecia en la figura 2.9.

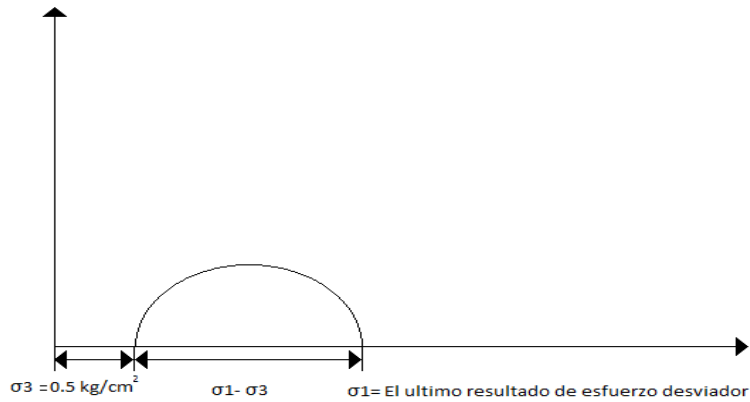


Fig. 2.9 Dibujo de un círculo de Mohr

Ya obtenido el semi círculo se realiza otra prueba, esto para obtener otros círculos. Para ello repetimos los pasos anteriores pero en esta ocasión se ejercerá una presión mayor $\sigma_3 = 1.0$ y otra muestra con 1.5, dando como resultado tres pruebas las cuales nos ayudaran a saber el ángulo ϕ . Obtenidos los resultados procedemos a dibujar el resto de los círculos de Mohr (fig.2.10).

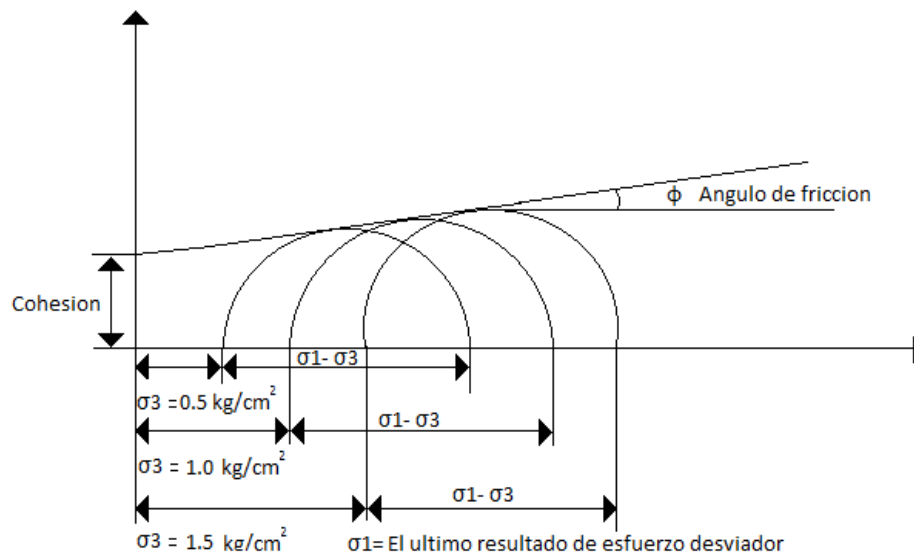


Fig. 2.10 Dibujo de los tres círculos de Mohr y determinación de c y ϕ

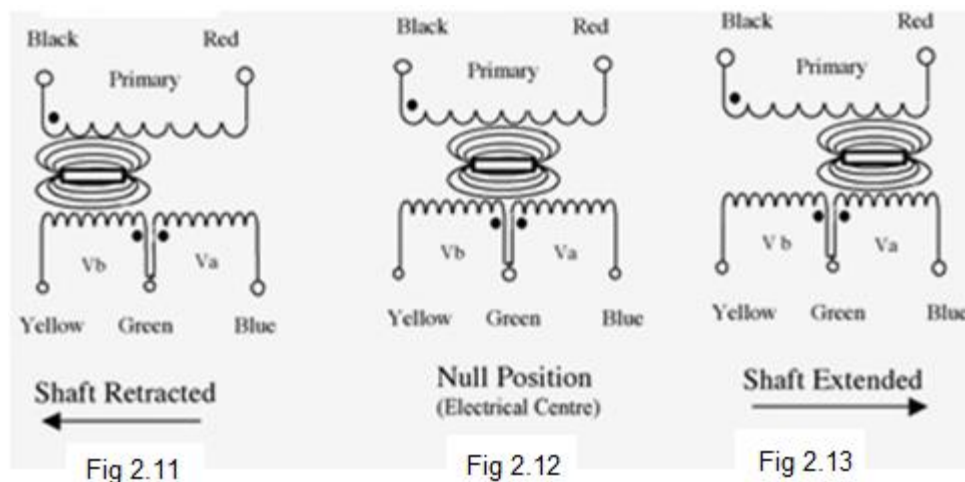
Obtenidos los círculos correspondientes de cada una de las pruebas, se traza una pendiente tangente a los círculos y se grafican.

2.4 Sensores

LVDT.-Es un sensor de posición de la industria establecida que ha sido utilizado durante varias décadas para la medición precisa del desplazamiento. El diseño del sensor consiste en una disposición cilíndrica de una bobina secundaria principal y dos de bobinado en un tubo hueco. Un núcleo cilíndrico separado pasa a través del centro del tubo.

Por su siglas transformador diferencial variable lineal (LVDT) es un dispositivo de medición de posición que provee un voltaje de salida de (CA) proporcional al desplazamiento de su núcleo que pasa a través de sus arrollamientos. El devanado primario se energiza con una constante de amplitud de voltaje de CA a una frecuencia de hasta 12 kHz.

Esto produce un campo magnético alterno en el centro del conjunto de bobinas (Fig. 2.12), que induce una señal de voltaje en el bobinado secundario dependiente de la posición del núcleo en el tubo hueco. El movimiento del núcleo dentro del conjunto de tubo hace que la señal secundaria al cambio (Fig. 2.11 y 2.13). Como los dos devanados secundarios están colocados y conectados, cuando el núcleo está en el centro (Fig. 2.12), una señal de cero se deriva (tensión nula). El movimiento del núcleo desde el centro en cualquier dirección hace que la señal para aumentar (Fig. 2.14). Las espiras de precisión crear una señal de salida con una relación muy lineal para el movimiento mecánico del núcleo.



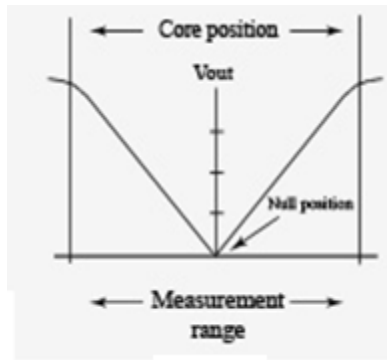


Fig 2.14

La ventaja de utilizar un sensor de posición LVDT es que el núcleo móvil no hace contacto eléctrico con los componentes eléctricos del conjunto (bobinas). Además, el núcleo puede ser alineado con un espacio de aire alrededor de ella y es ideal para aplicaciones donde se requiere una fricción mecánica mínima. El sensor LVDT es ideal en aplicaciones de detección de la posición en que se requiere un sellado completo para una parte, o por completo o inmersión en líquidos y gases.

Puesto que los sensores LVDT son dispositivos inductivos de la bobina primaria es energizado desde una fuente de señal AC (circuito oscilador), el cual luego crea las tensiones inducidas en las bobinas secundarias. Un circuito adicional después convierte (demodula) las tensiones secundarias a una señal de medición utilizable. Modelos de sensores LVDT están disponibles con circuitos de acondicionamiento de señal integrado o separado dependiente de la aplicación de medición.

Acondicionamiento y amplificación de la señal.- El LVDT suministra una señal alterna cuyas variaciones de amplitud y de fase representan la magnitud y el sentido de la fuerza a medir, cuando dicha información es importante hay que emplear un demodulador síncrono, pues solo el proporciona un cero real en la posición neutra del núcleo, en casos menos críticos es suficiente con un demodulador pasivo a base de diodos. Se pierde algo de linealidad pero en cambio se prescinde del reajuste de fase. En la figura 2.15 se muestra este tipo de demodulador. [18]

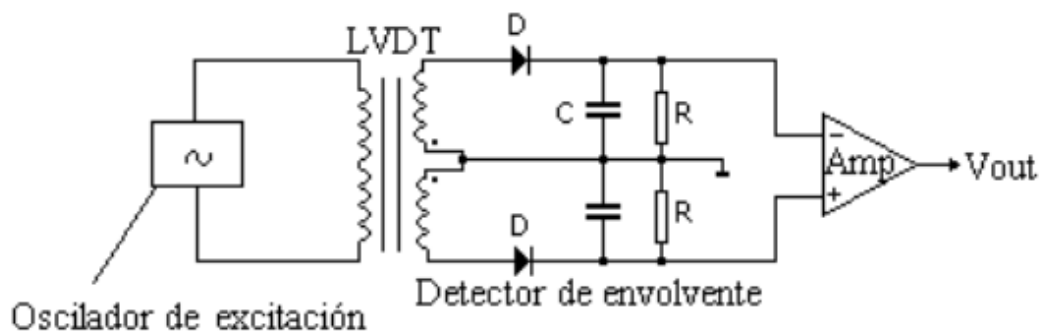
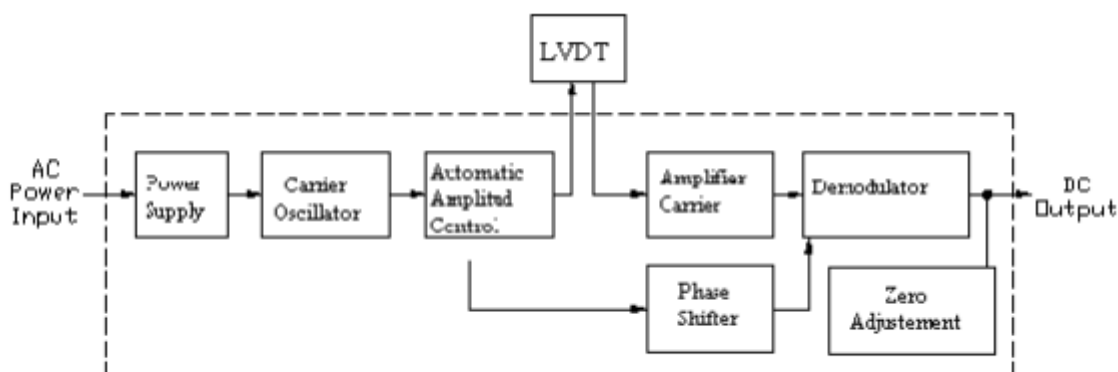


Fig. 2.15 acondicionador LVDT Demodulador.

Un amplia variedad de acondicionadores electrónicos están disponibles, incluyendo productos a nivel chips y nivel placa para aplicaciones OEM así como módulos e instrumentos de laboratorio y listos para usar. En la figura 2.16 se muestran las diferentes etapas de un acondicionador común para un sensor LVDT.



Celdas De Carga.-Una celda de carga es un transductor que es utilizado para convertir una fuerza en una señal eléctrica. Esta conversión es indirecta y se realiza en dos etapas. Mediante un dispositivo mecánico, la fuerza que se desea medir deforma una galga extensiométrica. La galga extensiométrica convierte el (desplazamiento) o deformación en señales eléctricas.

La celda de carga es un componente esencial en cualquier báscula o balanza electrónica y las hay en diferentes modelos y especificaciones. Existe en mercado una muy amplia variedad de celdas de carga, las cuales varían en forma, tamaño, material, entre otras cosas. Los fabricantes de celdas de carga

para medir la presión se vuelcan preferentemente al uso de las galgas extensiométrica en sus diseños.

Celdas de carga de compresión: Como lo dice su nombre, son celdas de carga que miden según su compresión con una excelente estabilidad a largo plazo. En su mayoría, son construidas en acero inoxidable para asegurar la fiabilidad en entornos industriales. Están diseñadas para operar montadas a una superficie plana, y tienen un botón de carga mecanizado como parte integrante de la celda de carga básica. Celda de carga de compresión, En su parte superior tiene un botón de carga para efectuar la medición de presión.

Una celda de carga analógica está constituida por un bloque de metal, que puede ser de aluminio, hierro o acero inoxidable comúnmente, este, en muchos de los casos tiene un hueco en el centro para facilitar la flexión, misma que es utilizada por un juego de extensómetros adheridos a la superficie del bloque de metal en las partes más débiles para convertir dicha flexión en una variación de su impedancia.

Debe de contar con un punto de apoyo y un punto de carga, una vez fija en su punto de apoyo y aplicándole una carga esta se deforma, al igual que los extensómetros, los cuales cambian su impedancia y permiten el paso de corriente eléctrica variando la diferencia de potencial proporcionalmente al incremento de la carga y la deformación de la celda. Este voltaje que se obtiene a la salida de la celda de carga varía desde 0 mV hasta 30 mV en la mayoría de las celdas de carga comerciales.

La forma del elemento elástico usado en estos extensómetros depende de muchos factores incluyendo los rangos de fuerza a medir, límites dimensionales e incluso el costo de producción, la figura 2.17 muestra una selección de diferentes elementos elásticos y nos proporciona sus rango típicos de carga. las flechas indican el eje de cada elemento.

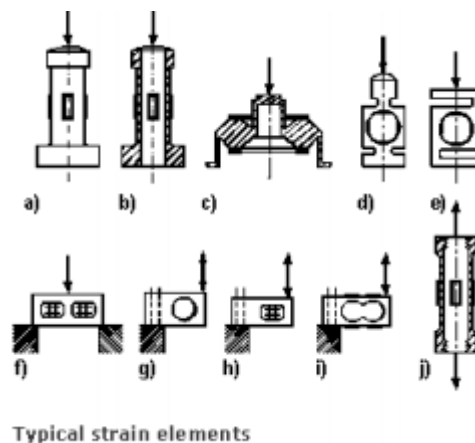


Fig. 2.17 elementos típicos tensión

- a) Cilindro de compresión 50 kN a 50 MN.
- b) Cilindro de compresión (hueco) 10 kN a 50 MN.
- c) Anillo toroidal 1 kN a 5MN.
- d) Anillo 1 kN a 1 MN.
- e) Viga-s 200 N a 50 kN.
- f) Viga de doble fin 20 kN a 2 MN.
- g) Viga de doble pandeo 500 N a 50 MN.
- h) Viga en cortante 1kN a 500 Kn.
- i) Viga de doble pandeo 100 N a 10 Kn.
- j) Cilindro a tensión 50 kN a 50 MN.

El montaje más común utilizado para medir deformaciones mediante galgas es el puente de Wheatstone. Existen tres tipos de montajes básicos: con una, dos y cuatro galgas. La medida se suele realizar por deflexión, es decir midiendo la diferencia de tensiones existentes entre los terminales de salida del sensor [19].

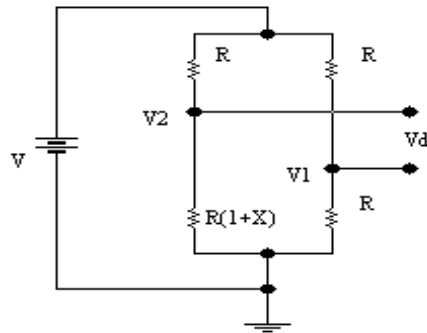


Fig. 2.18 Puente de medida con una galga

Este puente de medida se caracteriza por una baja sensibilidad (figura 2.18). Por otro lado al solo haber una galga esta no está compensada en temperatura.

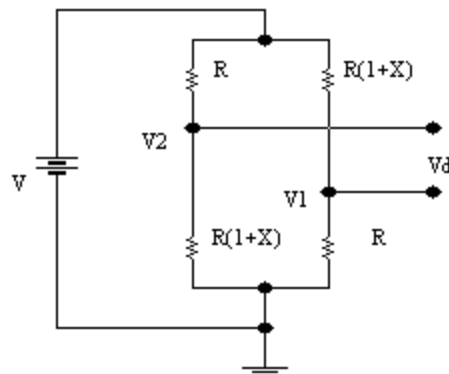


Fig. 2.19 Puente de medida con dos galgas (Medio Puente)

Debido a la utilización de dos galgas se consigue duplicar la sensibilidad del puente respecto al anterior (figura 2.19). Esto permite que para una misma deformación tengamos una mayor señal de salida para una tensión de alimentación dada.

La disposición de las galgas, permiten la compensación en temperatura. La utilización de cuatro galgas (figura 2.20) cuadruplica la sensibilidad del puente respecto al puente de una sola galga. De igual forma que en el caso anterior, las galgas están compensadas en temperatura.

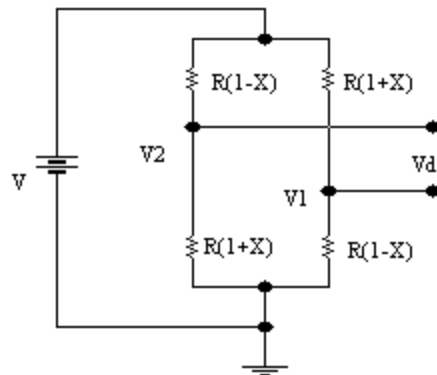


Fig. 2.20 Puente de medida con cuatro galgas (Puente Completo)

3. Desarrollo

3.1 Acondicionamiento, sensor de desplazamiento y presión.

Sensor de desplazamiento LVDT (Trasformador Diferencial Variable Lineal).-

Dispositivo de censado de posición, se basa en el principio inductivo de un transformador de núcleo variable con elementos internos de medida inductivos, provee un voltaje de salida de CA proporcional al desplazamiento de su núcleo que pasa a través de sus arrollamientos, los rangos de medida de estos sensores parten de unos pocos milímetros y pueden llegar hasta los 500mm.

Para poder utilizar la señal de salida del LVDT se utiliza un circuito adicional después del sensor que convierte (demodula) las tensiones secundarias a una señal de medición utilizable. El método de conversión de las señales LVDT, utiliza un número considerable de componentes discretos e integrados, que se compone de cuatro secciones: oscilador/excitador, amplificador de entrada, demodulador y filtro pasa-bajos todas estas secciones están encapsuladas en el acondicionador AD698 que convierte la señal CA del sensor a una salida de voltaje continuo.

El sensor LVDT HS50 detecta el desplazamiento que tiene la muestra dentro de la cámara triaxial, mandando un voltaje al acondicionador AD698 (fig.3.21), filtrada y amplificada para poder ser utilizada por el microcontrolador.

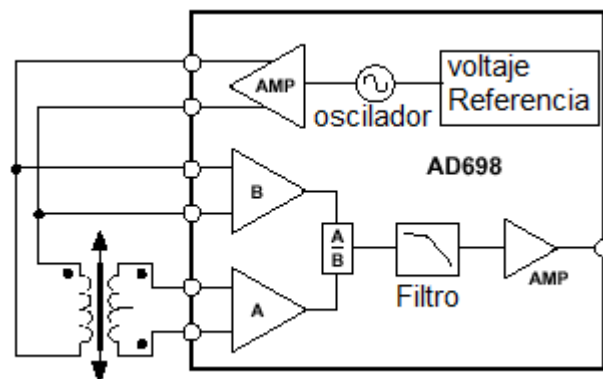


Fig.3.21 Composición básica acondicionador AD698 para LVDT

Sensor de Presión.-Una celda de carga es un transductor que es utilizado para convertir una fuerza en una señal eléctrica a partir de la deformación. La celda de carga tipo compresion en S (figura 3.22) usada tiene una maxima capacidad de 3000lb modelo Isb350,este sensor es el encargado de mandar una señal de acuerdo a la presión de una compresora hidráulica que se encarga de ejercer presión sobre la muestra a ensayar.



Fig.3.22 Celda de carga Isb350.

Para que un microcontrolador pueda recibir la señal del sensor, es necesario de una etapa de acondicionamiento para tratar la señal, en la celda de carga se utiliza el acondicionador Z-SG (figura 3.23), la conexión del sensor y este acondicionador se muestran en el Anexo D así como sus características.

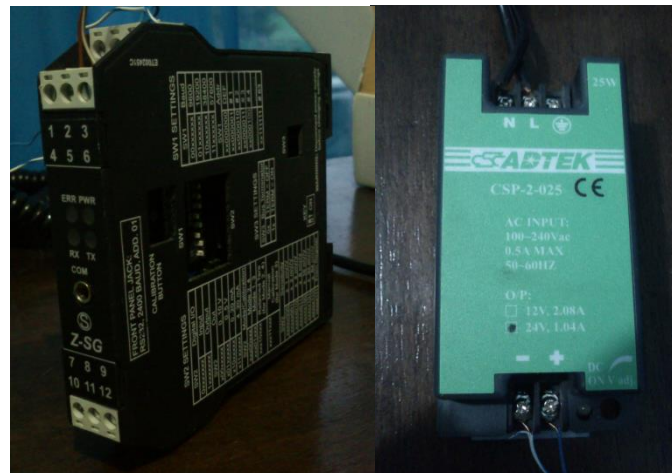


Fig.3.23 Acondicionador Z-SG y fuente de alimentación.

3.2 Transmisión y recepción de datos

Después de haber sido acondicionadas las señales de los sensores para poder ser utilizables, entran para su manipulación en el microcontrolador el cual se encarga de la transmisión de los datos de los sensores a través del módulo bluetooth, esto consiste en la conversión de dichas señales analógicas a digitales, con el microcontrolador PIC16F877A utilizando sus dos entradas analógicas con conversión digital de 10 bits, enviándolas por los pines de transmisión rs232 del microcontrolador [5]. En el reporte final los datos obtenidos de la celda de carga y el lvdt tienen unidades de kilogramos y milímetros, se hizo una conversión de libras a kilogramos para la celda de carga y para el lvdt no se realizó ninguna ya que el sensor entrega sus datos en mm.

Conversión de libras a kilogramos:

$$\text{Equivalente en Kg} = \frac{3000 \text{ Lb}(0.4536 \text{ Kg})}{1 \text{ Lb}} = 1360.8 \text{ Kg} \quad (3.4)$$

Para representar los valores de kilogramos en un rango de 0 a 5 voltios y en resolución de 10 bit, tomamos como referencia el valor máximo de peso que nos entrega la celda de carga, a partir de ahí se realizó la tabla 3.1 en ella no se muestran todos los valores ya que es un rango grande de 0 a 1023.

Tabla 3.1 valores en kilogramos equivalentes en voltios y bits.

Valores en Bits 0-1023	0-5 volts	Kilogramos
1023	5	1360.8
512	2.5	680.4
256	1.2	326.5
128	0.6	163.2
64	0.3	81.6
32	0.1	27.2
16	0.07	19.05
8	0.03	8.16
4	0.019	5.17
2	9.77×10^{-3}	2.65
1	4.88×10^{-3}	1.32

En el caso del sensor LvdT se utilizó la máxima distancia que se puede obtener, que es de 51.5 mm a partir de ahí se generó la tabla 3.2 la cual muestra los equivalentes de en mm de voltios y bits.

Tabla 3.2 valores en milímetros equivalentes en voltios y bits.

Valores en bits 0-1023	0-5 volts	Milímetros
1023	5	51.50
512	2.5	25.75
256	1.2	12.36
128	0.6	6.18
64	0.3	3.09
32	0.1	1.03
16	0.07	0.72
8	0.03	0.30
4	0.019	0.19
2	9.77×10^{-3}	0.10
1	4.88×10^{-3}	0.05

Se diseñó un algoritmo en el software PIC C Compiler ver anexo B, capturando los datos de los sensores con valores de 0 a 1023 cada uno, estos a su vez para su transmisión por los pines rs232 se guardaron en una variable tipo char [15], cada valor de un sensor separado por una letra (a1023.00b1023.00), con el propósito de diferenciar el valor del LVDT y de la celda de carga, estos a su vez son mandados a visualizar en una pantalla LCD para su comparación con la interfaz del software receptor verificando los datos enviados con los datos recibidos, la figura 3.23 muestra el diagrama a flujo del programa.

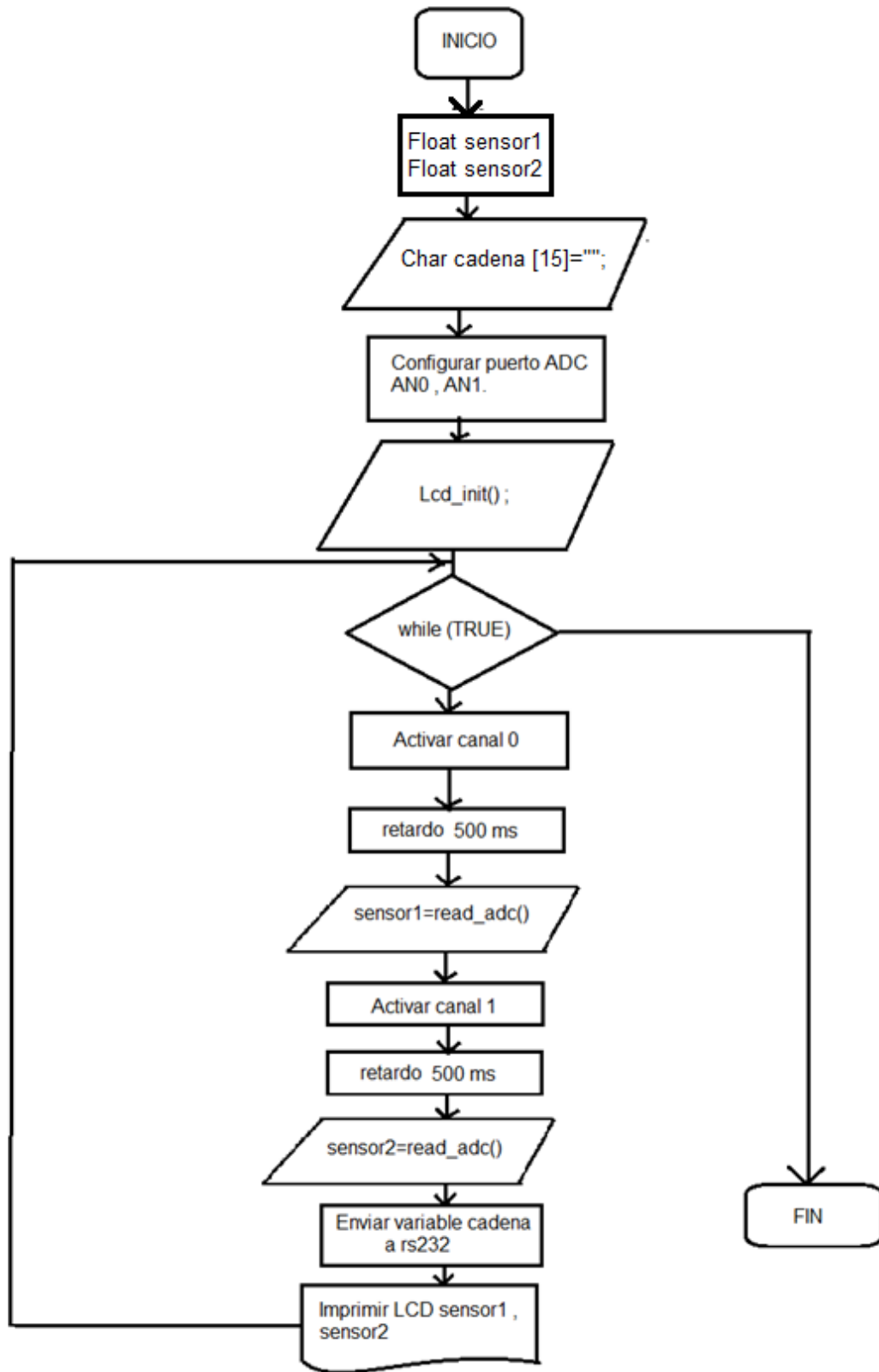


Fig. 3.24 Diagrama de flujo etapa de transmisión.

Programación receptor.-Como la recepción de los datos está a cargo del bluetooth de la PC, la programación receptora se lleva a cabo en la interfaz en el software BUILDER C++ en él se maneja la clase *AnsiString* , una clase especialmente diseñada para la manipulación de cadenas de caracteres. Como los datos de los sensores fueron encapsulados en una cadena en la etapa de transmisión, con la ayuda de esta clase y sus diferentes métodos se separaron los datos del LVDT y de la Celda de carga. El método *SubString(posición , cantidad)* devuelve una nueva cadena que es una subcadena de la propia. La subcadena contiene “cant” caracteres y comienza desde “pos”.

Ya sea cualquier número de 0-1023.00 para cada sensor estos se les agregó una diferenciador es decir la letra **a** y **b**, la letra **a** para el sensor LVDT y la letra **b** para la celda de carga (a1023.00b1023.00) con el método *SubString*, los diferenciadores y las condiciones los datos fueron separados dentro de BUILDER C++ a partir de esto se realizó la tabla 3.3.

Tabla 3.3 condiciones para capturar las variables.

Posición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	a	0	.	0	0	b	0	.	0	0						
	a	0	0	.	0	0	b	0	0	.	0	0				
	a	0	0	0	.	0	0	b	0	0	0	.	0	0		
	a	0	0	0	0	.	0	0	b	0	0	0	0	.	0	0

Tomando como referencia la posición de **b** se encapsularon los datos de los sensores en dos subcadenas de la cadena original, se creó una variable *AnsiString sub* y otra *AnsiString sub2* en la primera se guarda el dato del LVDT con la posición y cantidad de datos y en la otra el dato de la celda de presión. Para la primera fila se toma encuentra la condición cuando **b** se encuentre en la posición 6 y **a** en la posición 1 con el método *SubString* se guarde en la variable *sub* los valores que estén de la posición 2 a la posición 5 y en la variable *sub2* los valores de la celda de carga que estén de la posición 7 a la 10.

Posteriormente los valores de *sub* y *sub2* son convertidos de *AnsiString* a valores *int* (enteros) para su mejor manipulación dentro del programa ,siguiendo este método se condicionan las demás filas para cuando **b** se encuentra en la posición 7 ,8 y 9, asegurando y evitando error en los datos recibidos por el puerto COM virtual creado por el dispositivo bluetooth.

3.3 Configuración Bluetooth-PC

Las señales ya convertidas en valores digitales y encapsuladas en una variable salen del microcontrolador por la terminal TX del PIC16F877A con protocolo RS232 conectadas al módulo bluetooth (fig.3.25), el módulo bluetooth JY-MCU [12] con configuración de fabrica de 9600 Baudios de velocidad, contraseña "1234" necesaria para la conexión con la PC ,transmite y recibe por las terminales TXD y RXD ,se conecta de la siguiente manera (fig.3.26):

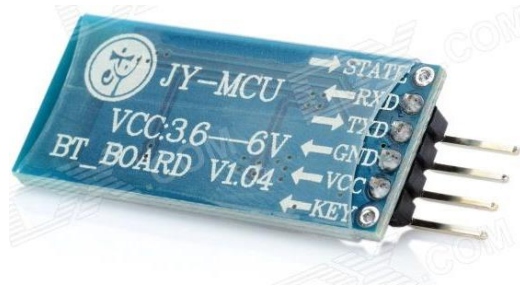


Fig. 3.25 Módulo Bluetooth JY-MCU

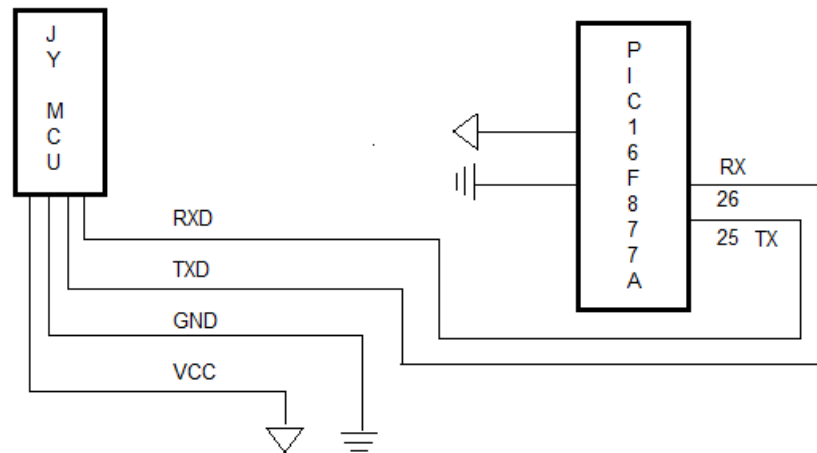


Fig. 3.26 Conexión Bluetooth –PIC

Para que pueda haber conexión entre el módulo Bluetooth y la PC a utilizar debe haber un apareamiento entre estos dispositivos como toda comunicación bluetooth, la PC crea un puerto COMxx virtual por medio del cual hace una conexión con el dispositivo que hostea al adaptador. Por defecto este COMxx viene en 9600 Baudios a 8 bits, pero este puede ser cambiado de manera mucho más sencilla desde la configuración del dispositivo.

Se utiliza el dispositivo bluetooth integrado en la PC como receptor de datos. Para el apareamiento del módulo JY-MCU con el bluetooth integrado se utiliza el software del dispositivo bluetooth de la PC. Para instalar los controladores necesarios se debe encender el módulo bluetooth insertado en la placa transmisora ver anexo A, con el propósito que sea detectado por la PC, se agrega como un dispositivo cualquiera (fig.3.27), ya detectado el dispositivo se selecciona y se sigue la configuración, en este caso el nombre del dispositivo no ha sido cambiado, es reconocido con el nombre de Linvor (fig.3.28).

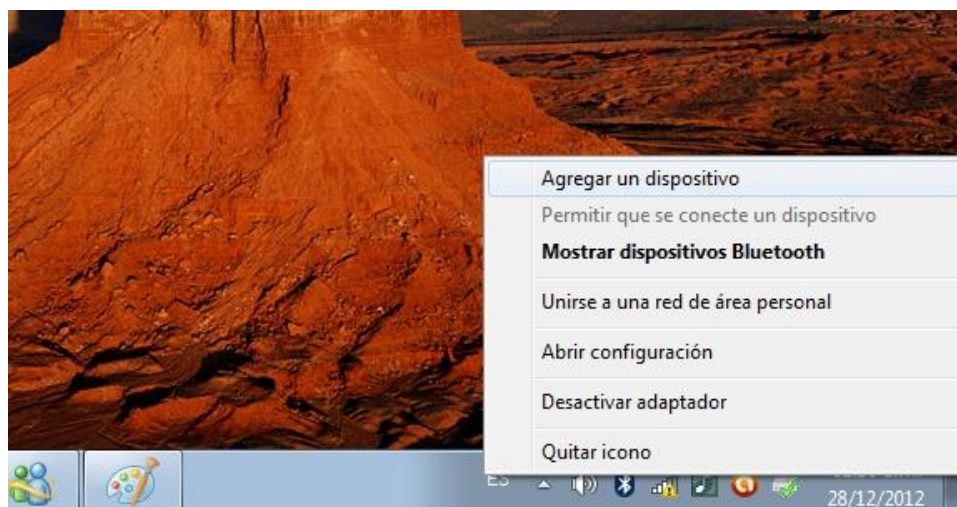


Fig. 3.27 Se agrega un nuevo dispositivo

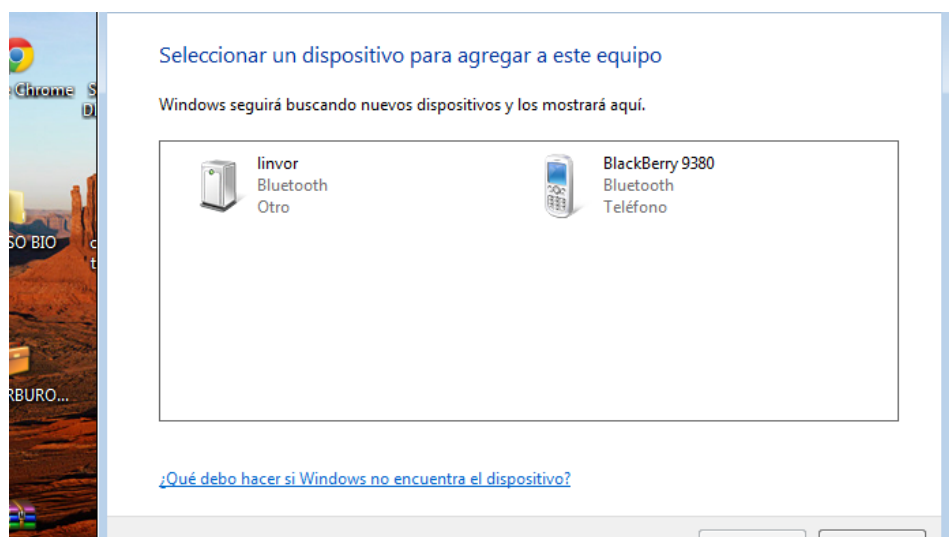


Fig.3.28 Selección del dispositivo detectado

Aparecerá una ventana con tres opciones de emparejamiento (fig. 3.29) como nuestro dispositivo viene con contraseña seleccionamos la segunda opción “escribir código de emparejamiento del dispositivo” en este caso es la primera vez que el módulo es emparejado con una PC y el código no ha sido modificado, entonces se procede a ingresar el código de fábrica el cual es “1234”, para que se pueda realizar la conexión ver figura 3.30.

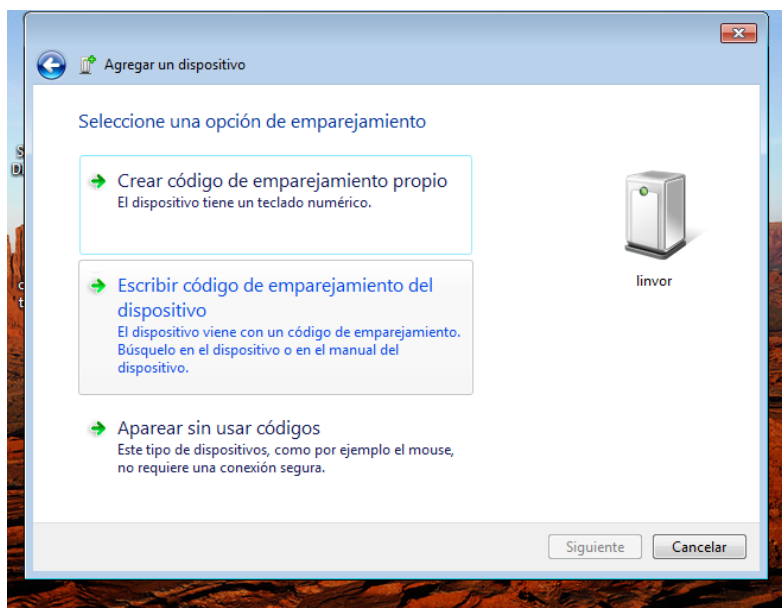


Fig. 3.29 Código de emparejamiento.

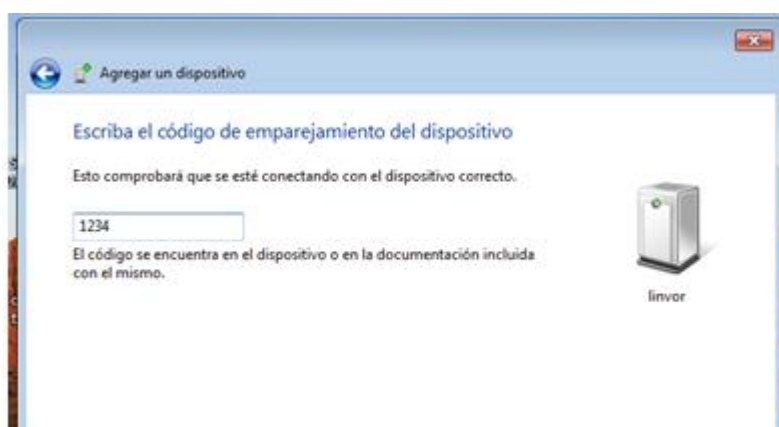


Fig. 3.30 Código de emparejamiento.

Automáticamente la computadora empezará a buscar e instalar los controladores necesarios a través de Windows Update (fig.3.31) para ello es importante que esté conectada a internet, después de cierto tiempo saldrá una nueva ventana indicando que el dispositivo ha sido agregado correctamente al equipo.

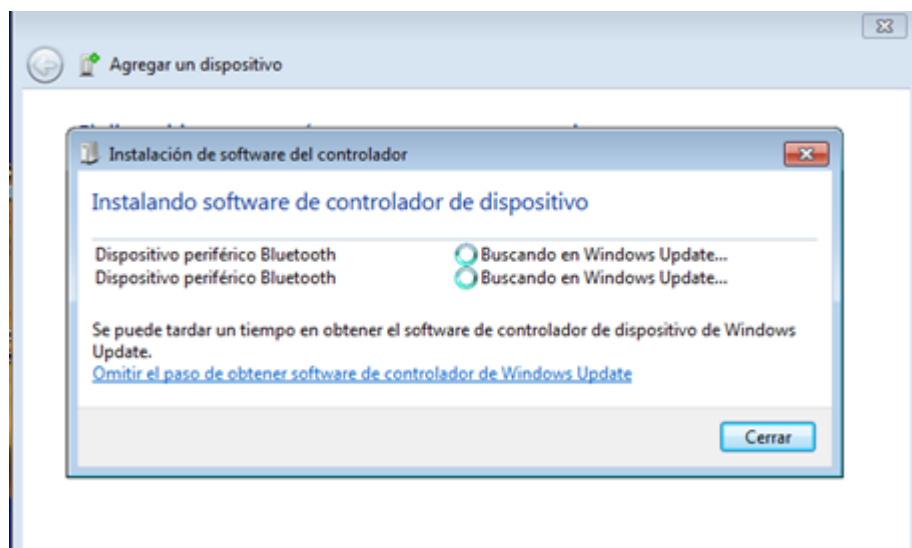


Fig. 3.31 Instalación controladores

El software asigna puertos virtuales para el dispositivo bluetooth y para poder usarlo para la recepción de los datos enviados por la placa transmisora donde se encuentran los sensores, estos puertos son asignados dependiendo los puerto que se encuentren en uso en la PC, para este dispositivo fue asignado el puerto COM28 y COM29, pero es el puerto 28 que da paso a los datos(fig.3.32).

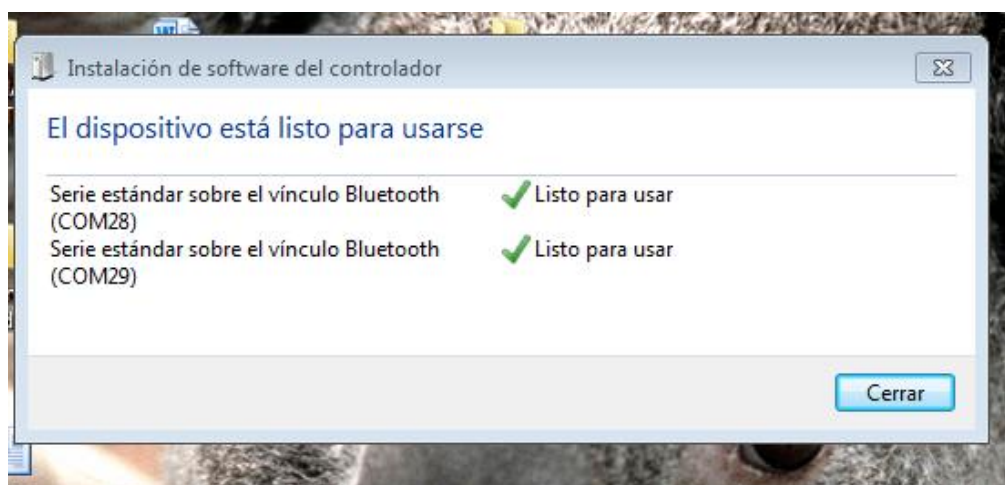


Fig. 3.32 Asignación de puerto COM

3.4 Ensayo en el laboratorio

El ensayo de compresión triaxial es el más usado para determinar las características de esfuerzo-deformación y de resistencia al esfuerzo cortante de los suelos. El ensayo consiste en aplicar esfuerzos laterales y verticales diferentes, que tratan de reproducir los esfuerzos a los que está sometido el suelo en condiciones naturales y estudiar su comportamiento.

Consiste en colocar una muestra cilíndrica de suelo dentro de una membrana de caucho o goma, que se introduce en una cámara especial y se le aplica una presión igual en todo sentido y dirección. Alcanzado ese estado de equilibrio, se aumenta la presión normal o axial (σ_1), sin modificar la presión lateral aplicada (σ_3), hasta que se produzca la falla.

Tipo de prueba: Prueba Rápida (no consolidado no drenado-UU).-El ensayo permite estimar los valores cohesivos " c " y el ángulo de fricción interna " ϕ ", siendo éstos los parámetros resistentes del suelo ensayado. Antes de realizar la prueba triaxial se debe contar con los materiales necesarios y las mediciones correspondientes de la muestra a la que se pretende someter al proceso esfuerzo – deformación.

Equipo necesario.-El equipo de ensayo triaxial necesario utilizado para realizar el ensayo rápido con escalonamiento de presiones de confinamiento consta de las siguientes partes:

*Cámara triaxial: está conformada por un cilindro, una base y una tapa. El cilindro está construido con un material transparente que puede soportar altas presiones internas, la base es metálica y posee tres conexiones al exterior con sus correspondientes válvulas y la tapa, también metálica, posee una válvula de purga de aire.

*Prensa de compresión: es de accionamiento mecánico y posee un dispositivo que permite variar la velocidad con que se aplica la carga vertical sobre la probeta.

*Sistema para aplicar la presión de confinamiento: consiste fundamentalmente de dos partes: un compresor de aire que es accionado eléctricamente y posee un tanque de reserva de aire comprimido y un tanque intermediario en donde la presión de aire es transmitida al agua que se utiliza para llenar la cámara triaxial y aplicar la presión de confinamiento.

*Elementos de medición: los mismos se utilizan para medir la presión de confinamiento y vertical aplicadas sobre la probeta, así también el acortamiento que sufre la misma durante la ejecución del ensayo. La presión de cámara se mide mediante un manómetro analógico, la presión vertical mediante una célula de carga eléctrica y el acortamiento de la probeta mediante un extensómetro analógico.

- Balanza con una precisión de 0.01 g.
- Vernier.
- Elementos menores: moldeador de probeta, cuchillo, membrana, colocador de membrana, bandas elásticas y entre otros.

Procedimiento para la prueba.- Primero moldeo de la probeta, para este ensayo se utilizará una probeta de suelo cohesivo compactado mediante el procedimiento de compactación del ensayo Harvard miniatura. Extraer la muestra de 2 a 3 metros del suelo, durante el transporte se envuelve en plástico para conservar la humedad ver fig. 3.33.



Fig. 3.33 Extracción del suelo y tamaño de la muestra.

La muestra extraída debe ser de un tamaño de 8cms aproximadamente debido a que es el tamaño que nos pide la cámara triaxial. En la fig. 3.34 la muestra es cortada con un cúter en forma de "V" evitando la comprensión de la tierra en corte directo de esta forma evitaremos que la tierra sea comprimida y así obtener una muestra sin compresión alguna.



Fig. 3.34 Forma de obtener la muestra

Después se le da una forma cilíndrica apoyándonos con un molde y desgastando las imperfecciones con el cúter este procedimiento lleva mucho tiempo debido a que hay que tener cuidado de no romper la muestra ya que es demasiado frágil ver figura 3.35.



Fig. 3.35 Forma de la muestra.

- 2- Se toman los siguientes datos de peso de la muestra (W_m), Diámetro superior (D_s), Diámetro central (D_c), Diámetro inferior (D_i), Altura de la muestra (H_m), antes ingresar la muestra a la cámara triaxial, en la figura 3.36 se muestra como el usuario mide con los diferentes instrumentos la muestra a ensayar.



Fig. 3.36 Medidas y el peso de la muestra

- 3- Se coloca la muestra de manera vertical para introducirlo al látex apoyado de un tubo de aluminio (fig.3.37) que cuenta con una pequeña manguera en el centro para succionar el aire en las paredes del tubo. Enseguida se introduce el látex dentro del tubo, procurando que ambos extremos salgan y se dobla hacia afuera.
- 4- Tomando la manguera del tubo y succionando el aire, se inserta en la muestra con mucho cuidado para no dañarlo, evitando romper la muestra debido a su fragilidad.



Fig. 3.37 *Tubo para contraer el látex*

- 5- Al terminar de colocar la muestra se desenrolla los extremos del látex, asegurando que cuente con las tapas metálicas en la parte inferior y superior ya que en ellas se ejercerá la carga (fig.3.38). Enseguida se ensambla la cámara asegurando de que cada extremo cuente con un empaque de hule que evitara la entrada de agua a la muestra.



Fig. 3.38 *Muestra aislada contra el agua*

- 6- Se llena la cámara con agua con una presión de 0.5 Kg/Cm^2 procurando de tener abierto una válvula de salida de aire hasta salir agua en ese momento se cierra ver figura 3.39.



Fig. 3.39 *Llenado de agua*

- 7- Se calibra los equipos en cero (fig. 3.40) para ello se gira la manigueta para elevar la muestra hasta moverse el galvanómetro, en ese momento se detiene y se calibra.



Fig. 3.40 Calibración de los galvanómetros

- 8- Tomar nota de acuerdo a la deformación por cada 0.25 este proceso lleva mucho tiempo por lo cual se debe estar pendiente del avance de la prueba, son necesarias dos personas debido a que uno observa el avance de la prueba mientras que la otra persona toma nota de los datos. Este procedimiento lleva como tiempo aproximado de 15 a 30 minutos. Hasta el punto de ruptura, este se presenta en el momento que la lectura de presión disminuya debido a que se somete con una presión continua y al romperse observamos este cambio.
- 9- A continuación se detiene el motor y se quita la presión para vaciar el recipiente de la cámara, abriendo la válvula de aire y esperando el regreso del agua. Se retira la muestra con la manigueta se desacopla y se procede a sacar la muestra con mucho cuidado para evitar romperla y ver el punto de ruptura (fig. 3.41).



Fig. 3.41 Extracción de la muestra y punto de ruptura

3.5 Software LG-02

El software LG-02 ,es una interfaz hecha en el programa BUILDER C++ en él se visualiza los datos de la prueba triaxial medidas de la muestra y de la cápsula a ensayar ,cumple la función de recibir ,mostrar los datos de los sensores y realizar las operaciones necesarias que se llevan a cabo en una prueba triaxial rápida no consolidada no drenada. La interfaz cuenta con cuatro pestañas, *configuración bluetooth*, *círculos de Mohr*, *Reporte Excel* y *Cerrar aplicación* cada una de estas se van abriendo en el transcurso de la prueba (figura 3.42).

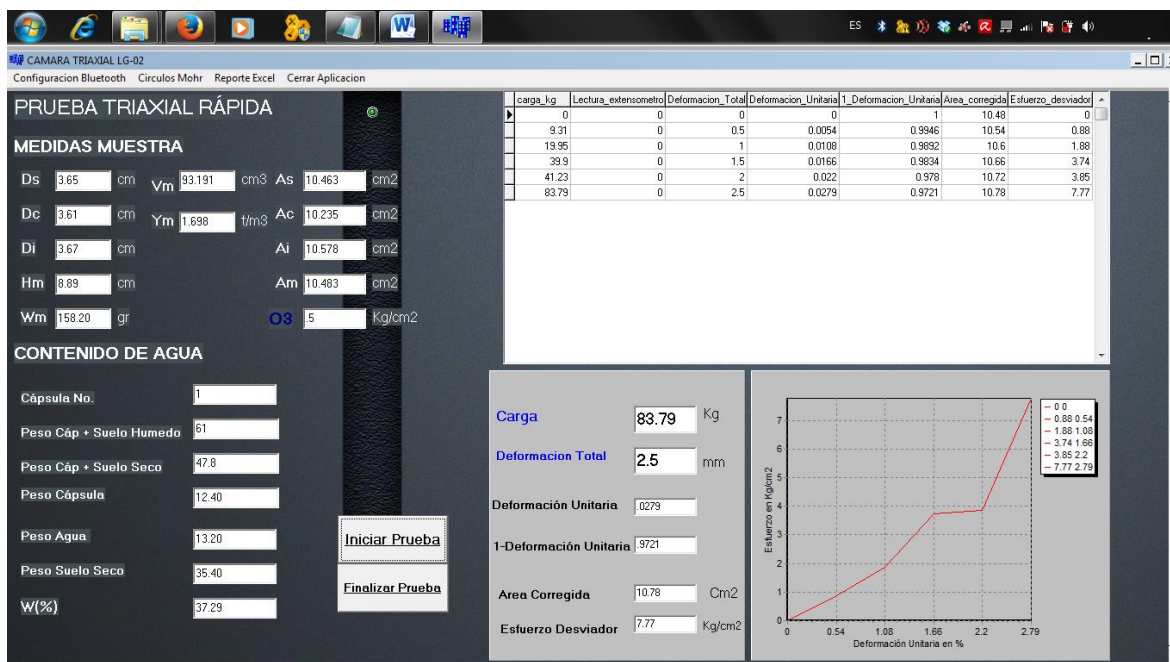


Fig. 3.42 Programa LG-02

Para iniciar la prueba se necesita colocar el número de puerto COM que fue asignado por la PC al bluetooth para poder recibir los valores de los sensores, esto se realiza en la pestaña de *configuración bluetooth* como se muestra en la figura 3.43, dentro de la pestaña se encuentran tres opciones , Asignar Puerto COM ,Abrir Puerto y Cerrar Puerto.

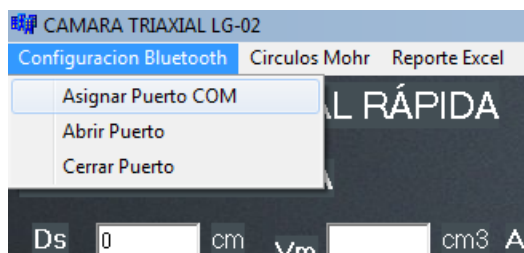


Fig. 3.43 configuración bluetooth

Primeramente se asigna el puerto COM a utilizar y luego se selecciona la opción de Abrir Puerto. Para comenzar la prueba es necesario estar conectado al puerto, para visualizar la conexión del puerto en la parte superior fuera de la pestaña se localiza un led indicador que enciende cuando el puerto se encuentra en uso.

The screenshot shows the 'PRUEBA TRIAXIAL RÁPIDA' window. It has a menu bar with 'Configuracion Bluetooth', 'Circulos Mohr', 'Reporte Excel', and 'Cerrar Aplicacion'. The window is divided into two main sections: 'MEDIDAS MUESTRA' and 'CONTENIDO DE AGUA'. In the 'MEDIDAS MUESTRA' section, there are input fields for Ds (3.65 cm), Vm (93.191 cm³), As (10.463 cm²), Dc (3.61 cm), Ym (1.698 t/m³), Ac (10.235 cm²), Di (3.67 cm), Ai (10.578 cm²), Hm (8.89 cm), Am (10.463 cm²), Wm (158.20 gr), and Q3 (5 Kgl/cm²). The 'CONTENIDO DE AGUA' section has input fields for 'Cápsula No.' (1), 'Peso Cáp + Suelo Humedo' (61), 'Peso Cáp + Suelo Seco' (47.8), 'Peso Cápsula' (12.40), 'Peso Agua' (13.20), 'Peso Suelo Seco' (35.40), and 'W(%)' (37.29). There are buttons for 'Iniciar Prueba' and 'Finalizar Prueba'.

Fig. 3.44 Datos muestra y cápsula.

Una vez asignado y abierto el puerto en la ventana principal el usuario ingresa los datos de la muestra(fig.3.44): diámetro superior (Ds), diámetro central (Dc), diámetro inferior (Di), altura de la muestra (Hm), peso de muestra (Wm) y Q3 ,capturados estos se obtienen los valores de : área superior(As),área central(Ac) ,área inferior(Ai) ,área de la muestra(Am),volumen de la muestra (Vm) y peso específico (Ym).

Fórmulas utilizadas para calcular las diferentes áreas de muestra:

$$As = \frac{\pi D_s^2}{4} \quad (3.5)$$

$$Ac = \frac{\pi D_c^2}{4} \quad (3.6)$$

$$Ai = \frac{\pi D_i^2}{4} \quad (3.7)$$

$$Am = (A + (4 \cdot As) + Ai) / 6 \quad (3.8)$$

$$Vm = hm \cdot Am \quad (3.9)$$

$$Ym = Wm / Vm \quad (3.10)$$

Se ingresan las medidas y el número de cápsula que contiene a la muestra de suelo a comprimir: peso cápsula + suelo húmedo, peso cápsula + suelo seco, peso cápsula y se obtienen los valores de : peso agua, peso suelo seco y W%. Capturadas las medidas de la muestra de suelo y de la cápsula, en la ventana principal del programa se encuentran dos botones (fig.3.46):

Iniciar prueba.- calcula los valores que se están recibiendo por bluetooth de los sensores, inicializa las operaciones de la prueba, el registro de los datos enviados a la base de datos y la gráfica de esfuerzo vs deformación unitaria.
Finalizar prueba.- como su nombre lo indica se presionará cuando la muestra de suelo haya fallado y la prueba haya terminado.

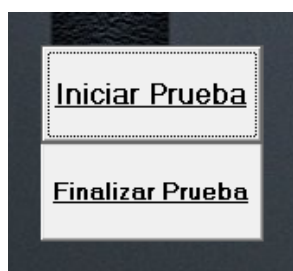


Fig. 3.45 Botones de iniciar y finalizar prueba.

Una vez presionado el botón de iniciar prueba, con los datos ingresados y el valor de los sensores en tiempo real se empezará a calcular (fig.3.46) los valores de deformación total, deformación unitaria, 1-deformación unitaria, área corregida y esfuerzo desviador y se irán mostrando conforme a los cambios de los sensores.

Fórmulas utilizadas para obtener los datos de la muestra conforme a la variación de los sensores.

$$\text{Deformación unitaria} = \text{deformación total} / (\text{altura de la muestra} * 10). \quad (3.11)$$

$$1\text{-deformacion unitaria} = 1\text{- Deformación unitaria}. \quad (3.12)$$

$$\text{Área corregida} = \text{área de la muestra} / 1\text{- Deformación unitaria}. \quad (3.13)$$

$$\text{Esfuerzo desviador} = \text{carga} / \text{área corregida}. \quad (3.14)$$

 A screenshot of a software window displaying calculated data. It contains six rows, each with a label, a text input field, and a unit. The values are: Carga (83.79 Kg), Deformacion Total (2.5 mm), Deformación Unitaria (.0279), 1-Deformación Unitaria (.9721), Área Corregida (10.78 Cm2), and Esfuerzo Desviador (7.77 Kg/cm2).

Carga	83.79	Kg
Deformacion Total	2.5	mm
Deformación Unitaria	.0279	
1-Deformación Unitaria	.9721	
Área Corregida	10.78	Cm2
Esfuerzo Desviador	7.77	Kg/cm2

Fig. 3.46 Datos calculados

En la parte superior derecha de la ventana se encuentra una tabla, en ella se van registrando y mostrando los datos calculados requeridos a partir del cambio de la deformación total es decir incrementos de 0.5 mm que a su vez se envían a la base de datos para después ser utilizados en el reporte.

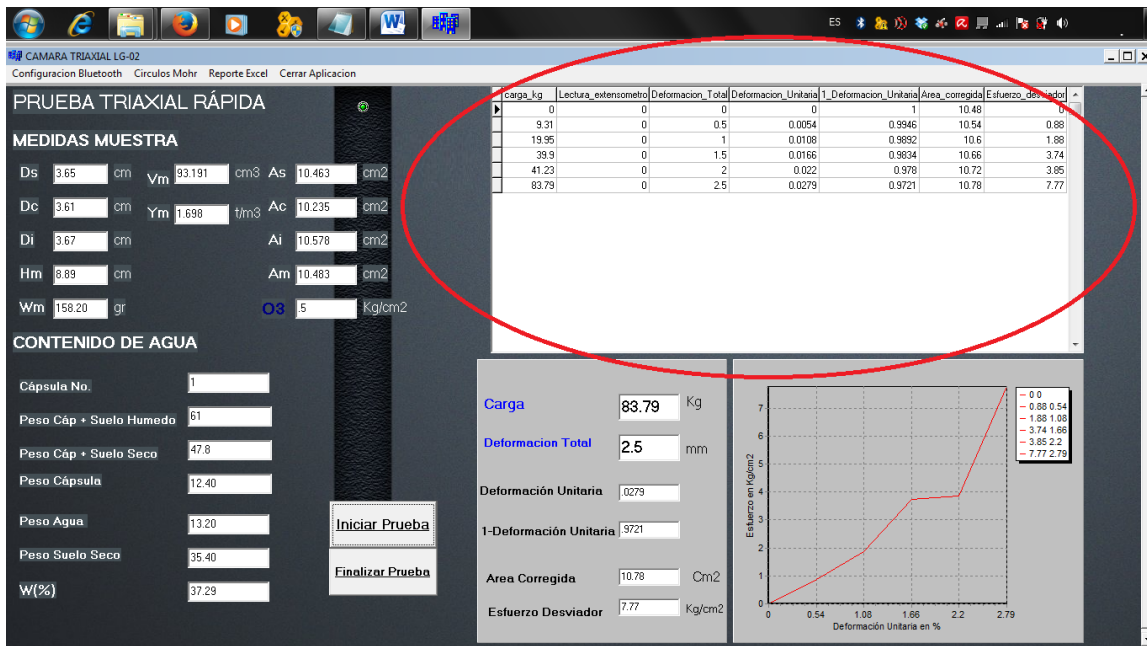


Fig. 3.47 Tabla datos obtenidos

En la parte inferior de la interfaz se encuentra una gráfica (fig.3.48) que se irá creando conforme a los datos obtenidos, en ella se visualiza la deformación unitaria en porcentaje contra el esfuerzo desviador, muestra el comportamiento del material al ir aplicando presión sobre ella.

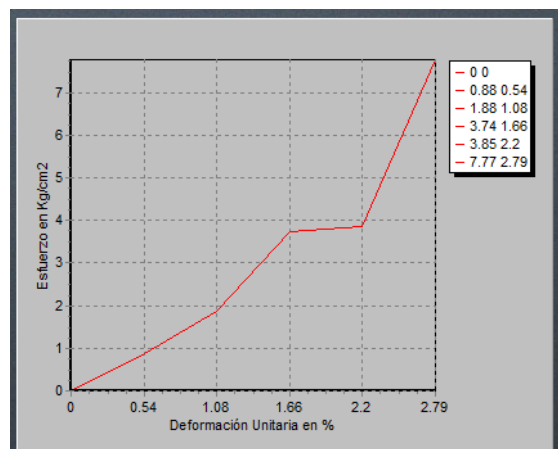


Fig. 3.48 Esfuerzo desviador Vs Deformación unitaria

Pestaña *Círculos de Mohr* se muestra una ventana con los datos de los círculos de Mohr permite estimar los valores cohesivos “c” y el ángulo de fricción interna “ ϕ ”, siendo éstos los parámetros resistentes del suelo ensayado, para que se puedan realizar estos círculos deben haber pasado tres pruebas, en cada una de las pruebas se debe entrar a esta ventana y presionar el botón de *Mostrar Datos* y *Enviar datos* (fig.3.49) Realizadas las tres pruebas se presiona el botón de *Mostrar Círculos en Excel*.

Mostrar Datos.- Muestra los datos de presión y esfuerzo en la parte inferior de la ventana en Q3 y Q1.

Enviar Datos.-Envía los valores de Q3 y Q1 a la base de datos estos se visualizarán la tabla presión vs Esfuerzo, localizado en la parte izquierda de la ventana.

Mostrar Círculos en Excel.-Direcciona hacia un reporte en Excel donde se muestran los resultados y los círculos de Mohr, el reporte encontrado en el Anexo G.

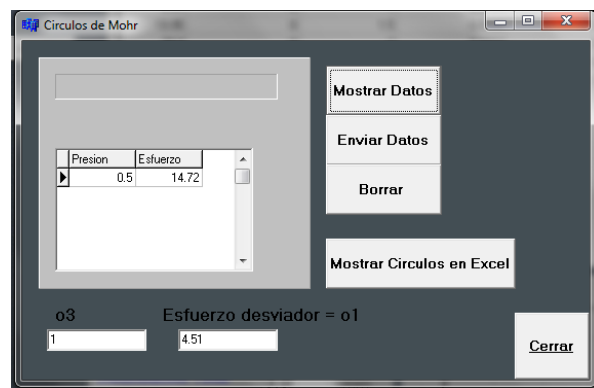


Fig. 3.49 *Círculos de Mohr.*

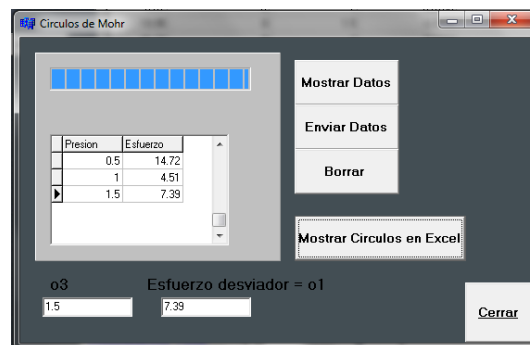


Fig. 3.50 *Datos de las tres pruebas.*

En la figura 3.50 se muestra la ventana de círculos de Mohr y la tabla de presión Vs esfuerzo completa, una vez teniendo los valores de las tres pruebas se presiona el botón de *Mostrar Círculos de Mohr* y este mandara a abrir un archivo con el formato de un reporte donde tendrá los datos obtenido del circulo de Mohr.

En la pestaña Reporte Excel, se encuentran dos botones (fig. 3.51):

Exportar a Excel.- direcciona al usuario a un archivo en Excel, donde se encuentran todos los datos registrados a los largo del a prueba para su próxima impresión.

Borrar Reporte.-borra todos los datos de la prueba, para dejar limpio el formato de reporte.

Una vez estando en Excel (fig.3.52) se puede guardar como nuevo archivo el reporte, terminada una prueba debe borrarse los datos del reporte, para que los espacios se vacíen y den paso a los datos de la siguiente prueba se puede visualizar el reporte final en el anexo F.



Fig. 3.51 Exportar a reporte

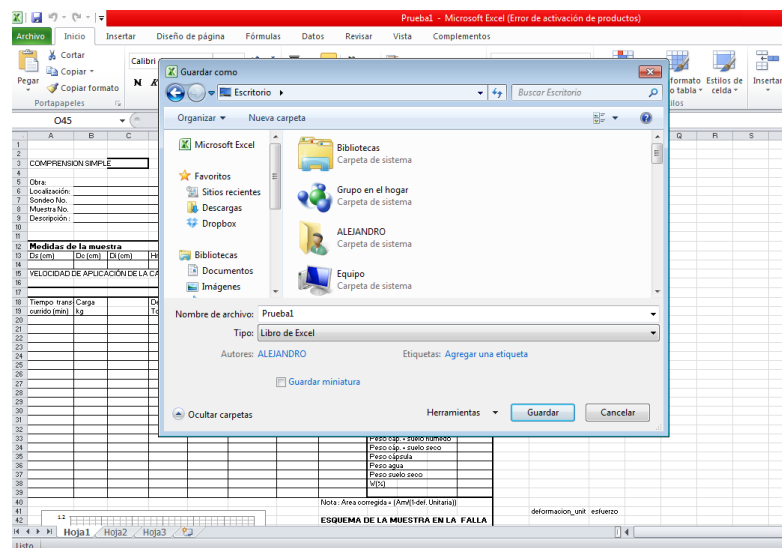


Fig. 3.52 Guardar archivo de reporte.

4. Resultados

4.1 resultados de datos enviados y recibidos.

Para comparar los datos enviados por el pic de la placa trasmisora y los recibidos en la interfaz de la PC, utilizamos un programa llamado hyperterminal este es un programa que se puede utilizar para ver la conexión de dos equipos HyperTerminal graba los mensajes enviados o recibidos por servicios o equipos situados al otro extremo de la conexión en este caso la conexión bluetooth.

Mediante este programa y la pantalla LCD comprobamos los datos recibidos de la placa transmisora visualizando en el programa la cadena enviada con los valores en bits, la figura 3.53 muestra la cadena recibida con los valores de 0 para cada sensor y en la figura 3.54 los datos enviados es decir la misma cadena con los datos a 0.

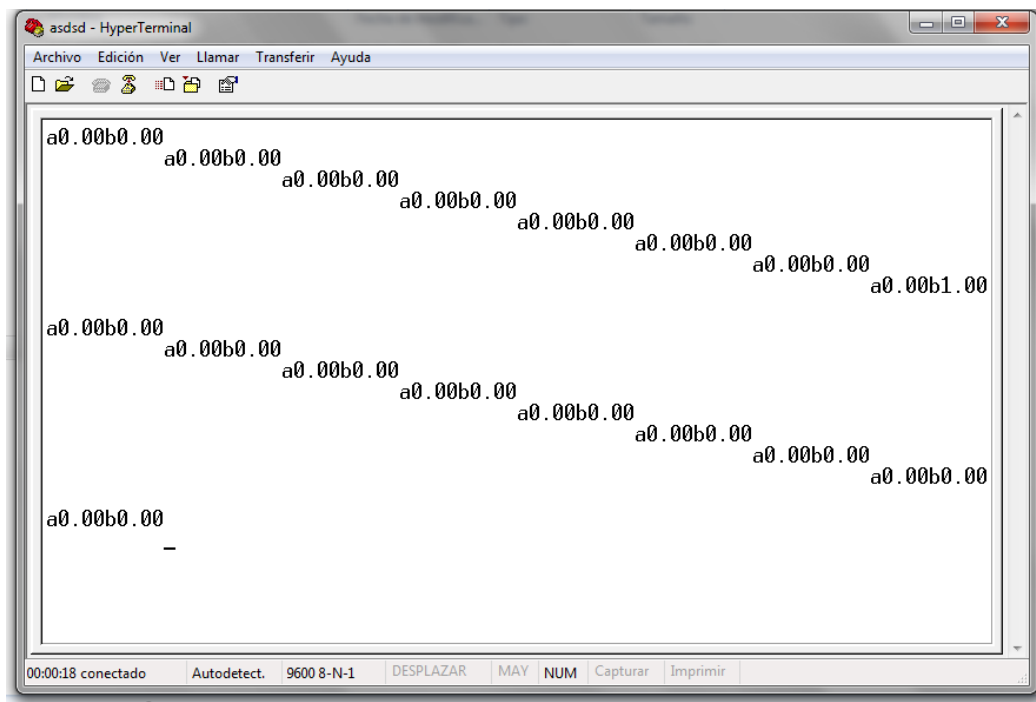


Fig. 4.53 Datos recibidos.



Fig. 4.54 Datos enviados.

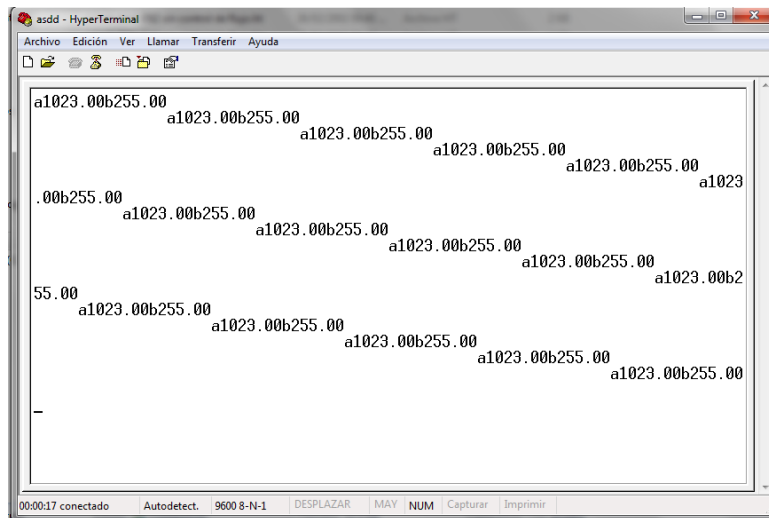


Fig. 4.55 Cadena de datos recibidos con valores de 1023 y 255.



Fig. 4.56 Datos enviados.

En la figura 3.55 y 3.56 se muestra la exactitud de los datos enviados con los recibidos, se utiliza los datos de los sensores en bits para su mejor manipulación, los datos visualizados en la LCD posteriormente se convirtieron a valores en kilogramos y milímetros respectivamente así como en la interfaz.

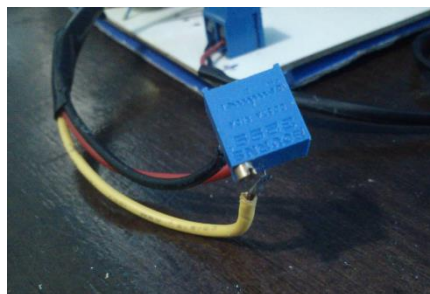


Fig. 4.57 potenciómetro de precisión.

Para simular los valores del sensor Lvdt se utilizó un potenciómetro de precisión (fig.3.57), el cual nos daba los valores en milivolts de un rango de 0 a 5 voltios.

En el reporte que se realiza durante la prueba triaxial la deformación total es decir los valores del sensor LVDT se registran a partir de incrementos de 0.5 mm (tabla 4.4), se redondeó los valores recibidos de la placa transmisora para que se pudieran registrar y hacer las operaciones debidas.

Tabla 4.4 valores del LVDT calculados enviados.

Valores en Bits 0-1023	0-5 volts	Milímetros
1023	5	51.50
9	0.046	0.47
19	0.092	0.95
29	0.142	1.47
39	0.189	1.95



Fig. 4.58 valores del LVDT reales enviados.

En la figura 4.58 se muestran los valores que se visualizaron en la pantalla lcd de la placa transmisora. Los datos recibidos al entrar en la interfaz se redondearon en el programa builder c++ para que pudieran ser registrados los incrementos de la deformación total.

Carga	9.31	Kg	Carga	19.95	Kg
Deformacion Total	.5	mm	Deformacion Total	1.0	mm
Carga	39.90	Kg	Carga	83.79	Kg
Deformacion Total	1.5	mm	Deformacion Total	2.5	mm

Fig. 4.59 valores del LVDT reales recibidos.

4.2 Comparación de resultados.

Se comprobó los resultados obtenidos de una prueba realizada con el programa (tabla 4.4) y los resultados de las operaciones realizadas manualmente.

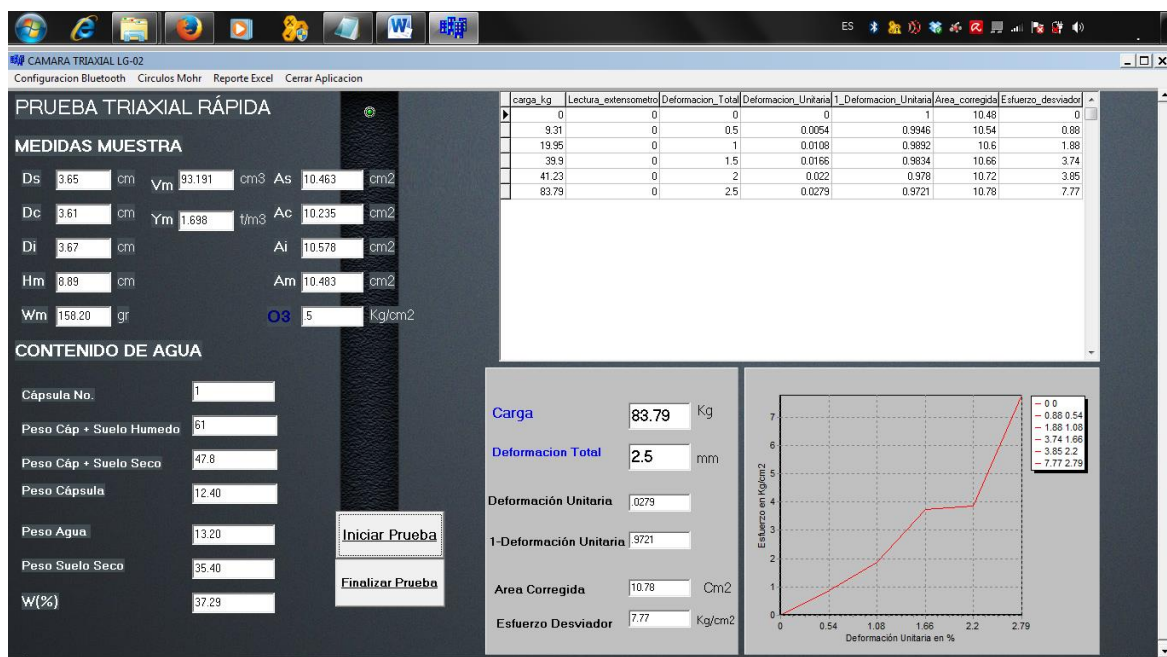


Fig. 4.60 prueba triaxial.

Tabla 4.4 valores calculados manualmente y con el programa.

Datos	Calculados	Datos	Del programa	Error
As	10.463 cm²	As	10.463 cm²	0
Ac	10.235 cm²	Ac	10.235 cm²	0
Ai	10.578 cm²	Ai	10.578 cm²	0
Am	10.482 cm²	Am	10.483 cm²	0.001
Vm	93.184 cm³	Vm	93.191 cm³	0.007
Ym	1.697 t/m³	Ym	1.698 t/m³	0.001

Tabla 4.5 valores calculados manualmente.

Carga kg.	Deformación Total. mm	Deformación unitaria	1-deformacion unitaria	Área corregida	Esfuerzo desviador
0	0	0	1	10.48	0
9.31	0.5	0.0056	0.9944	10.54	0.88
19.95	1	0.0112	0.9888	10.60	1.88
39.9	1.5	0.0168	0.9832	10.66	3.74
41.23	2	0.0224	0.9776	10.72	3.84

83.79	2.5	0.0281	0.9719	10.78	7.77
-------	-----	--------	--------	-------	------

Tabla 4.6 valores calculados con el programa.

Carga kg.	Deformación Total. mm	Deformación unitaria	1-deformacion unitaria	Área corregida	Esfuerzo desviador
0	0	0	1	10.48	0
9.31	0.5	0.0054	0.9946	10.54	0.88
19.95	1	0.0108	0.9892	10.60	1.88
39.9	1.5	0.0166	0.9834	10.66	3.74
41.23	2	0.0220	0.9780	10.72	3.85
83.79	2.5	0.0279	0.9721	10.78	7.77

Tabla 4.7 Errores obtenidos entre los valores calculados y los del programa.

Carga kg.	Deformación Total. mm	Deformación unitaria	1-deformacion unitaria	Área corregida	Esfuerzo desviador
0	0	0	0	0	0
0	0	0.0002	0.0002	0	0
0	0	0.0004	0.0004	0	0
0	0	0.0002	0.0002	0	0
0	0	0.0004	0.0004	0	0.01
0	0	0.0002	0.0002	0	0

Se calculó de manera manual los datos de una prueba triaxial, se muestran en las tablas 4.4 y 4.5 y se comparó con los resultados obtenidos al utilizar el programa ver tabla 4.6. los resultados de los errores son favorables ya que son diferencias en diezmilésimas.

Se realizaron pruebas para saber la distancia máxima que alcanza el bluetooth transmitiendo los datos correctamente. El alcance del bluetooth en uso alcanzó 7 mts libres sin paredes que obstaculice la señal, a partir de los 7.5 mts sigue habiendo conexión pero los datos llegan con retardos de 4 segundos y de 4 mts con una división de una pared de 15 cm de grosor, estos datos son utilizando un bluetooth externo portátil se probó con una PC sin bluetooth integrado, los resultados son buenos con el bluetooth externo ya que este solo tiene un alcance de 10 mts.

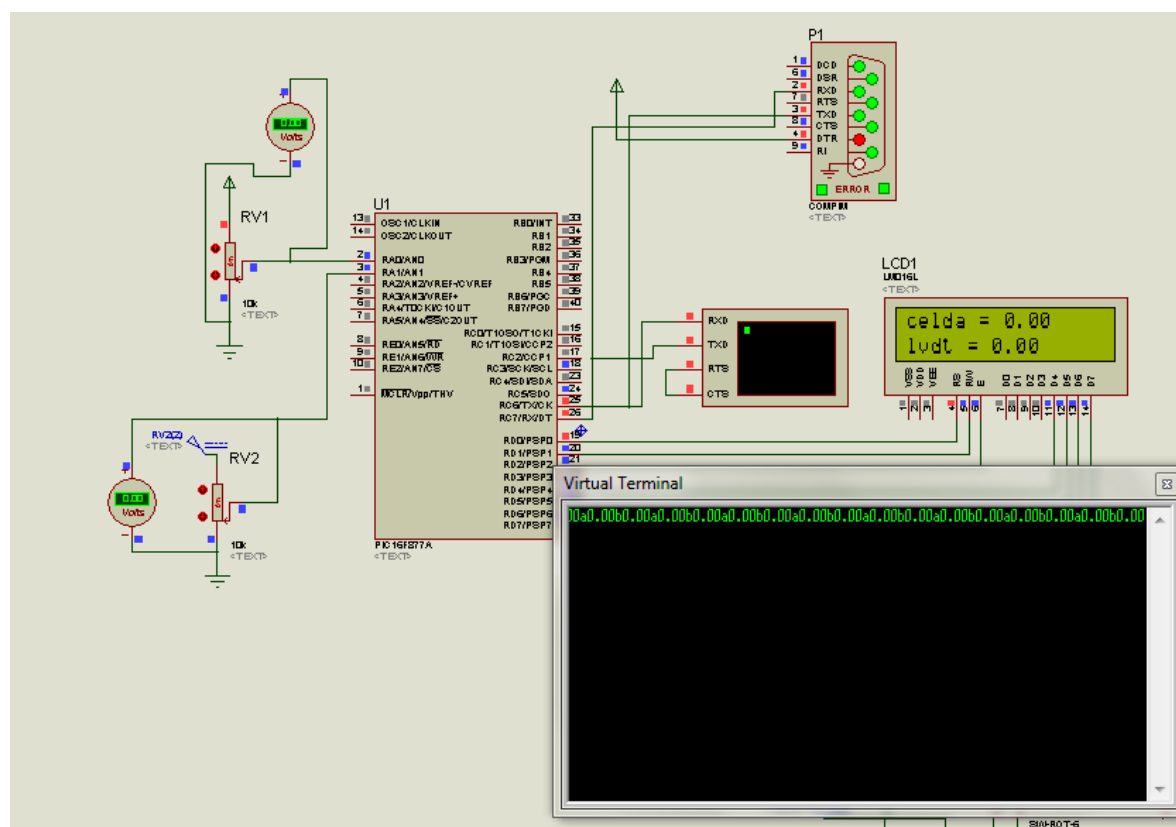
Al conectar el bluetooth transmisor a una PC con bluetooth, la conexión alcanzó los 8 mts libres recibiendo correctamente los datos, al igual q con el bluetooth externo se empezó a notar retardos al pasar los 8 mts, al probarlo con la misma división de 15 cm alcanzó los 5 mts con una buena recepción. El método que se utilizó para separar los valores de los sensores funcionó correctamente, la recepción de datos entre el circuito emisor bluetooth y la interfaz

fue exitosa .El bluetooth insertado en la placa transmisora se comportó de manera estable al ser emparejado con el bluetooth de la PC.

La interfaz no tuvo ningún problema los datos enviados a la base de datos se guardaron correctamente, con respecto a la exportación de los resultados en un documento Excel no presentó problemas, el único inconveniente fue exportar la gráfica esfuerzo-deformación se tuvo que hacer una tabla en el mismo documento del reporte Excel con los valores y graficar desde ahí.

4.3 Simulación de la placa transmisora.

Antes de realizar la placa transmisora se simuló el circuito para comprobar su funcionamiento, esto se llevó acabo en un programa de simulación llamado PROTEUS como se muestra en la figura 4.61 se envió datos a través de las terminales de transmisión y recepción rs232 del pic 16f877a con la ayuda de un puerto virtual.



5. Conclusión

Con la implementación del software que se presenta en este estudio se logra calcular parámetros con una eficiencia aceptable. El comportamiento del circuito electrónico con el que se trabaja posee una velocidad de transmisión de 9600 baudios que la hace efectiva en el envío y recepción de datos. Dentro de las ventajas que presenta podemos destacar que gracias a los módulos bluetooth la prueba triaxial se puede realizar hasta 7 m de distancia de la cámara triaxial sin ningún fallo de transmisión.

Se realiza una interfaz cómoda de forma que el usuario pueda interactuar sin ninguna dificultad pero con buenos resultados, se logra crear el programa que permite calcular parámetros de interés para importantes tipos de estructuras a diseñar este programa facilita la obtención de los cálculos que con anterioridad se realizaban manualmente y con una visualización de los datos de manera digitalizada dando una mejor apreciación a los resultados obtenidos.

Referencias

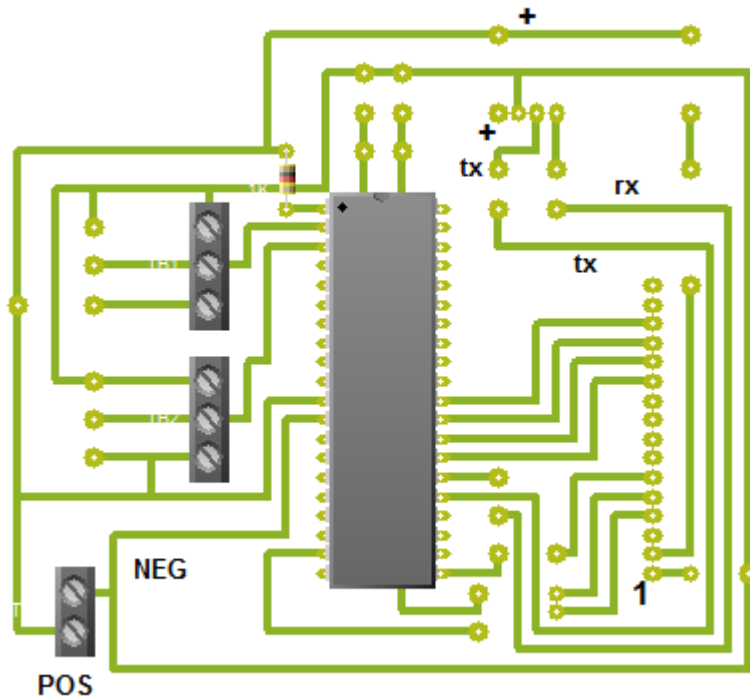
- [1] .-<http://www.disca.upv.es/aperles/comport/GuiaComport.html>
- [2] .-http://www.youtube.com/watch?v=hORelSZFH_c&feature=related
- [3] .-<http://www.activexperts.com/serial-port-component/howto/cppbuilder/>
- [4] .-<http://es.scribd.com/doc/80447028/proyecto adquisicion>
- [5] .-<http://perso.wanadoo.es/pictob/picrs232cpp.htm>
- [6] http://icc.ucv.cl/geotecnia/11_nuestro_laboratorio/laboratorio/triaxial/triaxial.html
- [7] .-<https://forums.embarcadero.com/thread.jspx?messageID=395711>
- [8] .-<http://www.youtube.com/watch?v=4HCCPWWoWPg>
- [9] .-<http://www.todopic.com.ar/foros/index.php?topic=4641.0>
- [10].-<http://www.monografias.com/trabajos72/diagrama-esfuerzo-Deformacion/diagrama-esfuerzo-deformacion.shtml>
- [11].-http://www.dailymotion.com/video/xcmdhm_uso-de-modulo-de-bluetooth-para-mic_tech
- [12].-<http://apirola.wordpress.com/2012/09/05/configurando-jy-mcu-bt-board-v1-2/>
- [13].-<http://www.made-in-china.com/showroom/cherryjulong/product-detailYolnLqWdfChV/China-Bluetooth-Module-with-The-Bottom-Baseboard-V1-03-.html>
- [14]. - <http://www.entradas.zonaingenieria.com/2012/06/ensayo-triaxial.html>
- [15]. - <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/02/camara-triaxial-y-preparacion-de-la.html>
- [16].<http://www.ing.unlp.edu.ar/constr/g1/Apunte%20de%20Resistencia%20al%20Corte%201.pdf>
- [17].-<http://saul-mecanicadesuelospracticas.blogspot.mx/2011/11/practica-6-prueba-triaxial.html>
- [18].-<http://html.rincondelvago.com/electronica.html>
- [19] .- <http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/LVDT/lvdt.pdf>
- [20].-<http://www.globalgilson.com/productdisplay.asp?group=TriaxialPermeability>

TestChambers

[21].- <http://datasheets.globalspec.com/ps/2488/GENEQ/F67D6D31-A168-4241-8AA6-0E37B3FA840D>

Anexos

Anexo A.-Diseño Pcb transmisor



Anexo B.-Código PIC16F877Atransmisor

```
#include <16f877a.h>
#device adc= 10
#fuses nowdt,hs,put
#use delay (clock= 20000000 )
#use rs232 (baud=9600,xmit=pin_c6, rcv=pin_c7)
#include "flex_lcd.c"
```

```
float sensor1;
float sensor2;
```

```
char cadena[15]="";
```

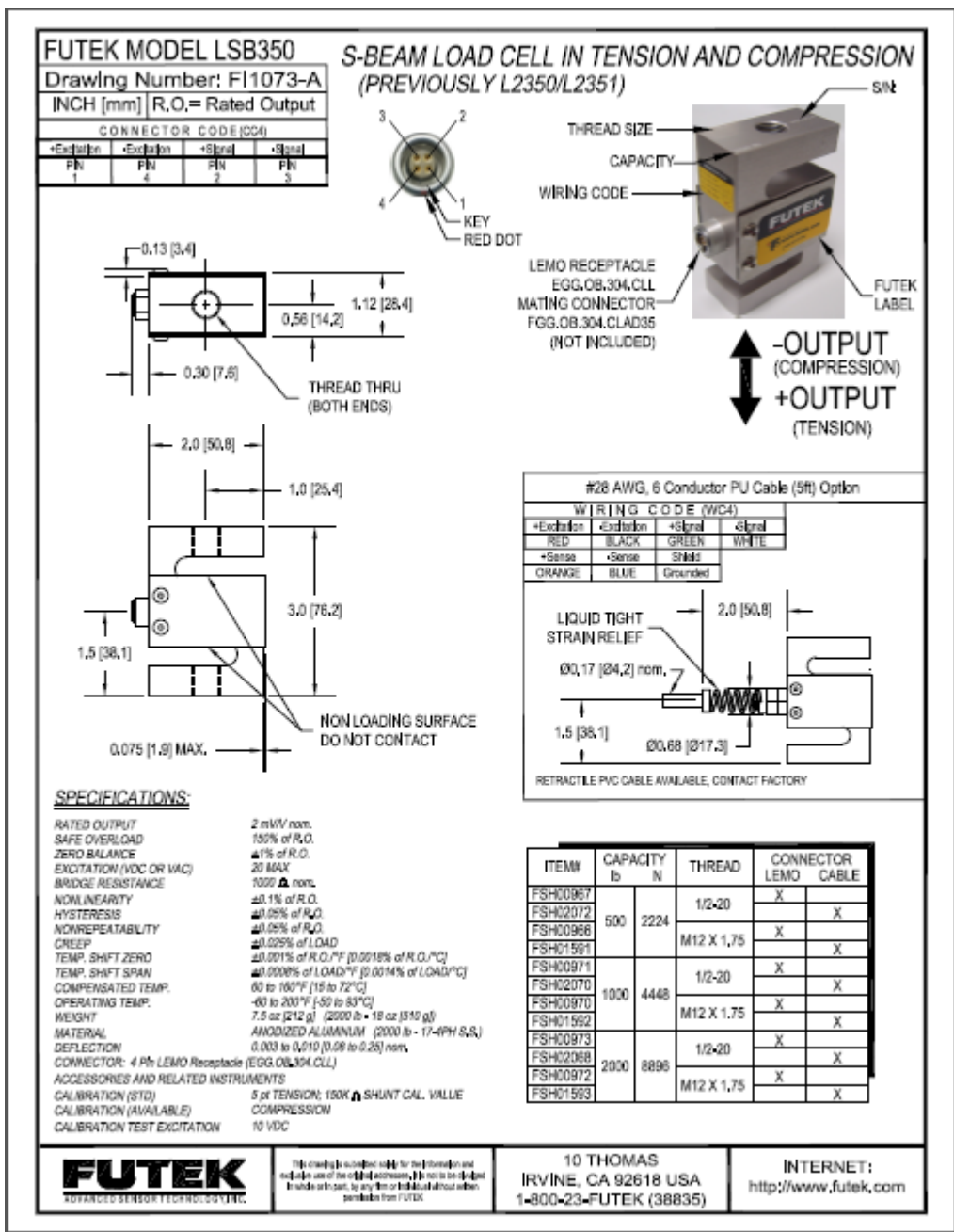
```
void main (void)
{
  setup_adc_ports(AN0_AN1_AN3);
  setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_2);
  setup_psp(PSP_DISABLED);
  setup_spi(SPI_SS_DISABLED);
```

```

    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
    setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
    setup_vref(FALSE);
    lcd_init();
    while(TRUE){
        set_adc_channel(0);
        delay_ms(500);
        sensor1 = read_adc();
        set_adc_channel(1);
        delay_ms(500);
        sensor2 = read_adc();
        sprintf(cadena, "a%fb%f", sensor1,sensor2);
        printf("%s\n",cadena);
        Lcd_putc ("\f");
        lcd_gotoxy(1,1);
        printf(lcd_putc,"celda = %f",(sensor1*(1.33)));
        lcd_gotoxy(1,2);
        printf(lcd_putc,"lvdt = %f",(sensor2*(0.005)));
    }
}

```

Anexo C.-Especificaciones; celda de carga



Anexo D.- Acondicionador Z-SG para celda de carga

AUTOMATION & REMOTE CONTROL



Logicbus

Tu Sitio de Automatización I

Z-PC-LINE

Z-SG

Strain gauge converter / RS485 Modbus

Z-PC LINE

Analogue I/O modules



CE

- ▶ INPUT: 4 or 6-wire bridge connections, lowest value 87 Ω suitable for 1..4 loadcells (350 Ω) or 1..8 loadcells (1000 Ω)
- ▶ OUTPUT: N.1 channel current 0..20, 4..20 mA or voltage 0..10, 0..5 Vdc
- ▶ 1 DIGITAL INPUT/OUTPUT selectable for tare calibration or threshold weight
- ▶ SENSITIVITY: from 1 to 64 mV/V
- ▶ INTERFACE: RS485 serial communication with Modbus-RTU protocol
- ▶ DIP-switch or software programmable functions: full scale, exceed threshold, stable weight
- ▶ Galvanic isolation @ 1,5 KV
- ▶ Screw-fit terminals removable
- ▶ Din rail mounting
- ▶ Power supply: 10..40 Vdc, 19..28 Vac

info@logicbus.com.mx

www.logicbus.com.mx

Alcalde #1822 Col. Miraflores C.P. 44270 Guadalajara, Jal. Mexico
MX 01 (33) 3854-5975 y 3823-4349 USA 001 (858)-869-5401 (Chula Vista, CA. Office)

TECHNICAL SPECIFICATIONS

Z-SG - Strain gauge converter / RS485 Modbus



ORDER CODES

Code	Description
Model	Z-SG Strain gauge converter / RS485 Modbus
Software	Z-NET Configuration sw downloading from www.seneca.it
Bus accessories	Z-PC DINAL (Terminal block for power & RS485 communication) Z-PC DIN2 Z-PC DIN4 Z-PC DIN8 (2, 4, 8 slot block)
Cable	PM001600 Connection cable
K-LINE modules	K107A (RS485 repeater), K107B (RS232-RS485 converter), K107USB (USB-RS485 din rail mounting), S107USB (portable)

GENERAL FEATURES

Power supply	10÷40 Vdc, 19÷28 Vac
Status indicators	Power Supply Error Data sending Data receiving
Galvanic Isolation	1.500 Vac
Hot swapping	Yes
Power consumption	2,0 W
Humidity	30..90% at +40°C (non condensing)
Mounting	35 mm DIN 46277
Accuracy	0,01% calibration 0,01% linearity 0,0025% /°C Thermal coefficient
Sampling frequency	From 12,53 to 151,71 Hz
ADC	24 bit
Software (Z-NET)	Tare calibration Span calibration Threshold setting Stable weight detection

RS485 interface	2 wires, baud rate 1.200..115k
RS232 interface	Stereo jack, 2.400 baud, 8 data bit, no parity, 1 bit stop
Protocol	ModBUS RTU Slave
Data memory	EEPROM for all configuration data; storage time: 10 years
Design	Terminal housing for mounting on 35 mm DIN 46277
DIP Switch	Address setting, baud rate setting, digital input/output analog output, sensitivity
Case	"V0" self-extinguishing glass filled nylon case
Dimensions	17,5 x 100 x 112 mm (w x h x d)
Weight	140 g
Operating temperature	-10..+65 °C
Connections	Plug-in screw clamp terminal blocks, wires up to 2.5 mm ²
IP Protection	IP 20
Approvals	CE
Standards	EN 61000-6-4, EN 610006-2, EN61010-1 EN 60742 ESD: 4KV IEC 61131 (plc function)

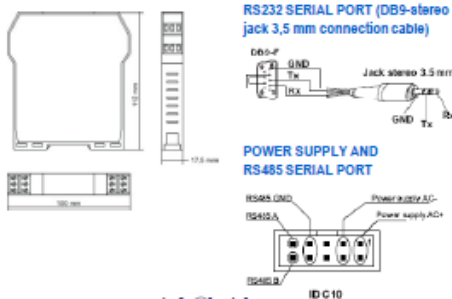
INPUT

Type	ANALOG: Load cells (strain gauges), Voltage supply 5 Vdc, min impedance 87 Ohm, 4 or 6 -wire bridge connections, sensitivity from 1 to 64 mV, full scale: 5..320 mV DIGITAL: tare calibration and span (max 30 V)
-------------	--

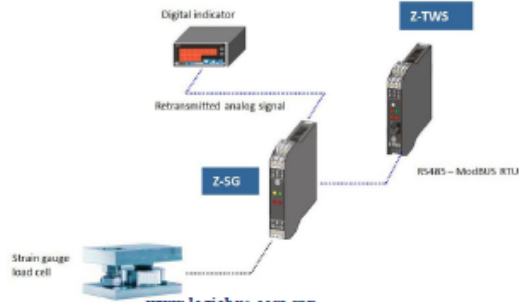
OUTPUT

Type	ANALOG: nr 1 channel: current 0..20, 4..20 mA or voltage 0..5, 0..10 Vdc, max error 0,1%, response time 5 ms DIGITAL: nr 1 channel for stable weight or threshold (max 30 V, 50 mA)
-------------	--

DIMENSIONS AND ELECTRICAL CONNECTIONS



APPLICATION EXAMPLE



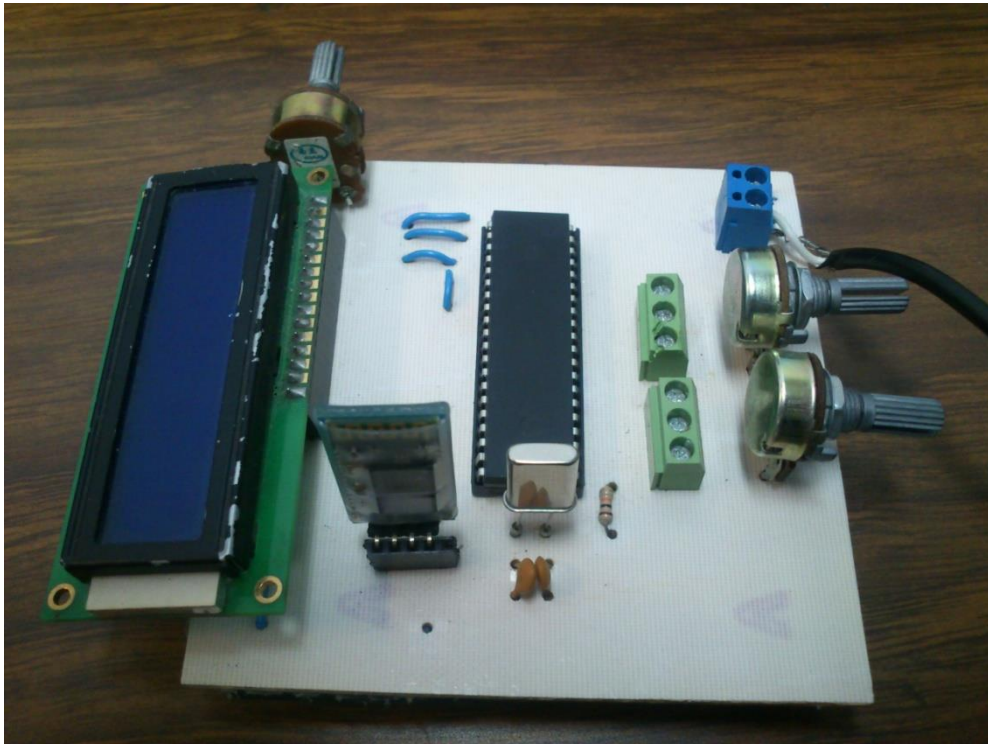
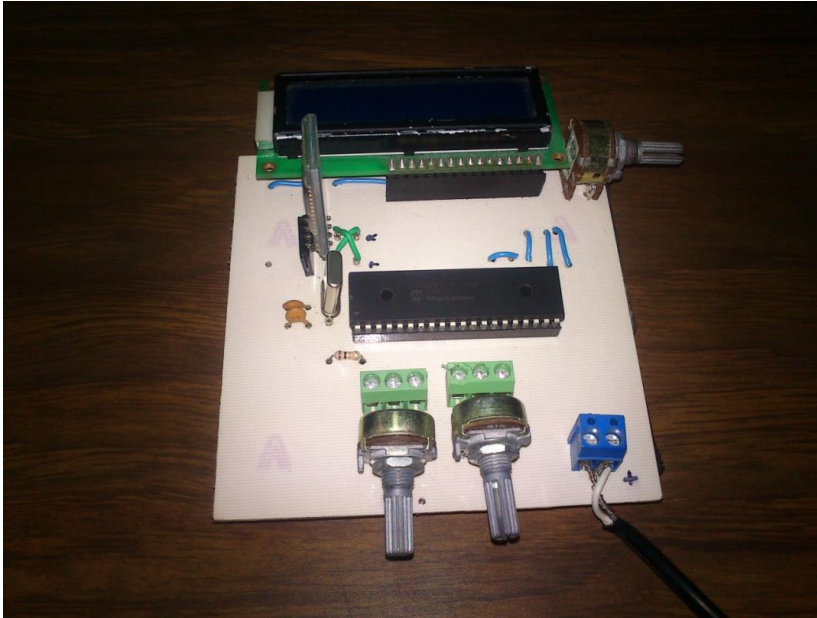
info@logicbus.com.mx

Alcalde #1822 Col. Miraflores C.P. 44270 Guadalajara, Jal. Mexico
MX 01 (33) 3854-5975 y 3823-4349 USA 001 (858)-869-5401 (Chula Vista, CA. Office)

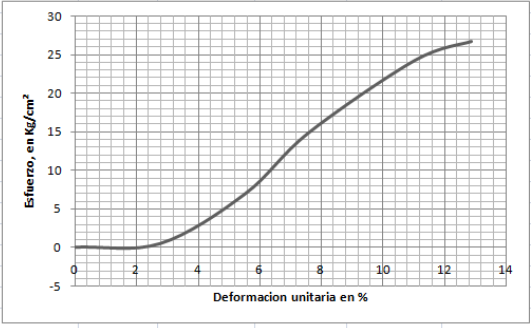

Z-SG_EN0712

Anexo E.-Placa transmisora.

Circuito encargado para la transmisión de los datos de los sensores, cuenta con una lcd para visualizar los valores que se están enviando, un pic 16f877a para la conversión analógica digital y en sus terminales TX Y RX un dispositivo bluetooth.



Anexo F.- Formato de reporte prueba triaxial rápida

COMPRESION SIMPLE		TRIAxIAL RAPIDA	
Obra:		Fecha:	
Localización:		Operador:	
Sondeo No.		Ensaye No.	
Muestra No.	Prof.	Calculó :	
Descripción :			
Medidas de la muestra			
Ds (cm)	Dc (cm)	Di (cm)	Hm (cm)
3.75	3.59	3.65	8.79
As (cm²)	Ac (cm²)	Al (cm²)	Am (cm²)
11.045	10.122	10.463	10.95
Wm (gr)	Vm (cm³)	Ym(t/m³)	
155.3	96.23	1.61	
VELOCIDAD DE APLICACIÓN DE LA CARGA :		σ 1.5	
Tiempo transcurrido (min)	Carga kg	Deformación Total (mm)	Deformación Unitaria
0	0	0	0
5.34	2.42	0.0276	0.9724
80.05	4.85	0.0551	0.9449
176.1	6.66	0.0758	0.9242
298.84	9.69	0.1103	0.8897
336.2	11.31	0.1287	0.8713
Area corregida Cm²		Esfuerzo Desviador (Km/cm²)	Contenido de Agua
10.95	0	Cápsula No.	h-10
11.26	0.47	Peso cáp. + suelo húmedo	62.4
11.59	6.91	Peso cáp. + suelo seco	49.5
11.85	14.87	Peso de cápsula	12.2
12.3	24.29	Peso agua	12.9
12.56	26.76	Peso suelo seco	37.3
		w(%)	34.58
OBSERVACIONES :			
Cápsula No.			
Peso cáp. + suelo húmedo			
Peso cáp. + suelo seco			
Peso cápsula			
Peso agua			
Peso suelo seco			
W(%)			
Nota : Area corregida = (Am/(1-def. Unitaria))			
		ESQUEMA DE LA MUESTRA EN LA FALLA 	
OBSERVACIONES :			

Anexo G.- Reporte círculos de Mohr

CIRCULO DE MOHR : COMPRESION TRIAXIAL									
Descripcion de la muestra:					Ensayo No.				
Estudio por efectura:					Fecha				
Procedencia:					Laboratorista.				
Sondeo:		Muestra No			Profundidad.				
TIPO DE PRUEBA		Rapida		consolidada rapida		Lenta			
prueba	% Wi	% Wf	% ei	% ef	% Gi	% Gf	σ_3	$\Delta\sigma$	σ_1
1							1	0	1
2							1	1.43	2.43
3							1	3.31	4.31
$\phi =$	90	c=	#####						

The diagram illustrates Mohr's circles for triaxial compression. The horizontal axis represents normal stress (σ) and the vertical axis represents shear stress (τ). Three Mohr's circles are plotted, corresponding to the three test results shown in the table above. A failure envelope line is drawn tangent to the top of the circles, starting from a point on the τ -axis labeled 'Cohesion'. The angle between this failure envelope and the horizontal σ -axis is labeled ϕ Angulo de friccion.