



INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Práctica Profesional Supervisada:

*“Calibración y Ensayo Experimental de una Herramienta
para Estimar la Compactación de Suelos Agrícolas”*

Alumno:

DORONI, Gino

Tutor:

Mg. FLORES, Gustavo M.

Proyecto:

*“Estudio y Compensación de Fenómenos Críticos Para
Posicionamientos de Precisión”*

Director del Proyecto:

Dr. HECKER Rogelio L.

Agosto de 2016

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en el marco del Convenio Específico de Cooperación Técnica entre la Facultad de Ingeniería-UNLPam y el INTA, aprobado bajo Res. N° 163/14 CD FI-UNLPam. Se agradece la colaboración de la Ing. Agr. Romina Fernández y el Sr. Roberto Gomez del INTA Estación Experimental Anguil, La Pampa.

RESUMEN

El Grupo de Mecatrónica Aplicada de nuestra facultad ha desarrollado una herramienta para poder inferir la compactación del suelo y conocer su variabilidad espacial en una zona determinada, mediante la medición de la resistencia mecánica. Determinar dicho estado de compactación resulta importante para maximizar el rendimiento de los cultivos en la agricultura de precisión. La herramienta tiene forma de cuchilla, se desplaza dentro del terreno y mide la resistencia al avance, en tres niveles de profundidad, mediante la deformación de ciertos elementos estructurales construidos en su frente.

En este trabajo se presenta una síntesis del diseño de la herramienta y su instrumentación, realizado por el grupo de mecatrónica con participación de proyectos de práctica profesional supervisada de años previos. Se presentan los ensayos de calibración y las experiencias a campo realizadas, que fueron las tareas principales en el presente trabajo. Dado que la herramienta se comporta como una viga en voladizo se produce un efecto cruzado o interferencia en las mediciones. La calibración permitió determinar la respuesta de la herramienta y el desacople de las lecturas en las distintas profundidades. Las experiencias a campo se realizaron en un lote cercano a la localidad de Embajador Martini donde la primera de ellas se realizó para la puesta a punto de la cuchilla y la segunda contando con la presencia de personal del INTA para la caracterización del suelo. Se hicieron mediciones en distintos sectores del lote que determinaron buena sensibilidad de la herramienta. El análisis de las mediciones determinó buena correlación en los niveles medios de profundidad entre los datos de compactación dados por el método del penetrómetro y los obtenidos con la cuchilla, no siendo así en la superficie.

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURAS

- Figura 1.1. Esquema del penetrómetro de golpe.
- Figura 2.1. Detalle de implementación de anillo rectangular en la cuchilla.
- Figura 2.2. Modelo tridimensional de la cuchilla.
- Figura 2.3. Análisis por elementos finitos en zonas deformables.
- Figura 2.4. Ubicación de las galgas en las celdas.
- Figura 2.5. Principales cotas en *mm* de la cuchilla.
- Figura 2.6. Esquema general del sistema de adquisición de datos.
- Figura 2.7. Esquema de *strain gauge*.
- Figura 2.8. Puente de Wheatstone.
- Figura 2.9. *Strain gauge* seleccionado.
- Figura 2.10. Acondicionador seleccionado.
- Figura 2.11. Placa DNA – 201 – 100 seleccionada.
- Figura 2.12. Uesim 600 – 1G.
- Figura 2.13. Modelo de Simulink.
- Figura 2.14. Esquema de conexión.
- Figura 2.15. Pines de acondicionador
- Figura 2.16. Pines de placa DNA – 201 – 100.
- Figura 3.1. Banco de pruebas para ensayos de calibración.
- Figura 3.2. Sistema para aplicación de cargas.
- Figura 3.3. Desarrollo de la experiencia.
- Figura 3.4. Datos con la carga de 32,2 *kg*.
- Figura 3.5. Tensión vs Presión en la celda 1.
- Figura 3.6. Tensión vs Presión con carga en la celda 2.
- Figura 4.1. Cíncel agrícola y púas extraídas.
- Figura 4.2. Soporte cuchilla.
- Figura 4.3. Principales medidas de soporte cuchilla.
- Figura 4.4. Sistema de sujeción.
- Figura 4.5. Perfiles de presión adoptados.
- Figura 4.6. Punto “A” pivote del sistema.
- Figura 4.7. Fuerza involucradas.
- Figura 4.8. Tornillos fusibles mecánicos.
- Figura 4.9. Primera medición con la cuchilla.
- Figura 4.10. Datos de la primera medición.
- Figura 4.11. Datos de celda 1 y celda 2.
- Figura 4.12. Orificio para verificar profundidad de la tosca.
- Figura 4.13. Incorporación de router.
- Figura 4.14. Distribución de zonas en el lote.
- Figura 4.15. Montaje de cuchilla y sistema de adquisición de datos.
- Figura 4.16. Presiones medición N°1.

Figura 4.17. Presiones medición N° 2.
Figura 4.18. Presiones medición N°3.
Figura 4.19. Presiones medición N°3.
Figura 4.20. Datos penetrómetro.
Figura 4.21. Introducción de la herramienta en el suelo.
Figura 4.22. Datos cuchilla.
Figura 4.23. Cuchilla vs Penetrómetro zona A.
Figura 4.24. Cuchilla vs Penetrómetro zona B1.
Figura 4.25. Cuchilla vs Penetrómetro zona B2.
Figura 4.26. Cuchilla vs Penetrómetro zona C.

TABLAS

Tabla 3.1. Errores de lecturas.
Tabla 4.1. Datos de la Experiencia.
Tabla 4.2. Datos zona A.
Tabla 2.1. Datos cuchilla.

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	8
1.1	ESTIMACIÓN POR MÉTODOS ESTÁTICOS	8
1.2	ESTIMACIÓN POR MÉTODO DINÁMICO	9
1.3	ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO	10
2	DISEÑO E INSTRUMENTACIÓN DE LA CUCHILLA	11
2.1	DISEÑO	11
2.1.1	IMPLEMENTACIÓN DE LA CUCHILLA	13
2.2	INSTRUMENTACIÓN	14
2.2.1	GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS	15
2.2.2	ACONDICIONADORES DE SEÑAL	17
2.2.3	HARDWARE DE ADQUISICIÓN	18
2.2.4	PC Y SOFTWARE DE ADQUISICIÓN	19
2.2.5	ESQUEMA DE CONEXIONES	20
3	ENSAYOS DE CALIBRACIÓN	22
3.1	DISEÑO DE EXPERIENCIAS DE CALIBRACIÓN	22
3.2	PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN	22
3.3	RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACION	24
3.3.1	COMPORTAMIENTO DE CELDAS INDIVIDUALES	25
3.3.2	SENSIBILIDAD CRUZADA ENTRE CELDAS	26
3.3.2.1	VERIFICACIÓN DEL ERROR POR DESACOPLE	28
4	ENSAYO EXPERIMENTAL DE LA CUCHILLA	30
4.1	MONTAJE DE CUCHILLA EN BASTIDOR	30
4.1.1	UNIÓN ABULONADA COMO FUSIBLE MECÁNICO	32
4.1.1.1	ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	32
4.1.1.2	CÁLCULO DE UNIÓN ABULONADA	32
4.2	PRUEBAS A CAMPO	35
4.2.1	EXPERIENCIA N°1	35
4.2.2	EXPERIENCIA N°2	38
4.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES	42
4.3.1	DATOS GENERADOS CON EL PENETRÓMETRO	42
4.3.2	DATOS GENERADOS CON LA CUCHILLA	44
4.3.3	CUCHILLA VS PENETRÓMETRO	45

5	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	48
5.1	CONCLUSIONES	48
5.2	TRABAJOS FUTUROS.....	49
6	ANEXO	50
6.1	CÓDIGO DE “CARGADO DE DATOS”	50
6.2	CÓDIGO DE “MUESTREO DE SEÑALES”	50
7	BIBLIOGRAFÍA	52

1 INTRODUCCIÓN

La agricultura de precisión busca optimizar los recursos de siembra en función de características observables del terreno con el objetivo de lograr mayor rendimiento y predictibilidad en los cultivos. La compactación de los suelos agrícolas forma parte de los principales factores de degradación de los mismos e incide negativamente en el rendimiento de los cultivos.

La definición formal de compactación está dada por SSSA (Soil Science Society of America 1996) como el proceso físico por el cual los granos del suelo se acomodan de manera tal que se reduce la porosidad y aumenta la densidad aparente del mismo [1]. Este fenómeno afecta el desarrollo radicular de las plantas, disminuye el intercambio gaseoso y la capacidad de infiltración de agua en el suelo. Por lo tanto este es uno de los tantos fenómenos físicos responsables de la degradación de la calidad de los suelos destinados a la producción de alimentos, el cual está tomando especial relevancia en concordancia con la implementación del método de siembra directa en Argentina [1].

A continuación se expondrá el método habitual para estimar la compactación (penetrómetro, medición estática) y luego una nueva forma de estimación, la medición dinámica con una cuchilla. Esta es la línea seguida por el proyecto, y en este capítulo se presenta una síntesis de su diseño y su instrumentación.

1.1 ESTIMACIÓN POR MÉTODOS ESTÁTICOS

La manera habitual de determinar el grado de compactación de un suelo, es mediante la medición directa de la densidad aparente y la porosidad del mismo. Sin embargo, estos métodos de medición consumen mucho tiempo y demandan trabajos de laboratorio para llevarlas a cabo [1]. Por lo tanto se recurren a métodos de medición indirecta realizadas en el mismo lugar. Uno de estos métodos es el denominado método del cono (penetrómetro), en el cual se determina el número de impactos que se necesitan para hacer penetrar un elemento conocido hasta una determinada profundidad y establece la práctica estándar para determinar el grado y la variabilidad, en la dirección vertical, de la compactación del suelo en función de su resistencia mecánica [1].

El elemento activo presenta una sonda con punta cónica y una capacidad de penetración de hasta un metro. Sobre su extremo superior se halla un lápiz que va marcando la profundización que realiza cada golpe de pesa. El extremo de la sonda es un cono con un ángulo definido (60°) y de sección conocida.

En la Figura 1.1 se presenta el esquema de un penetrómetro de golpe, en cuyo caso las variables que afectan las mediciones del mismo son:

$F =$ Peso del pilón.

$E =$ Recorrido de caída del pilón.

$e =$ Profundidad registrada entre dos golpes sucesivos.

$S =$ Superficie de la sección del cono.

$f =$ Fuerza ejercida por el suelo.

Las mismas, se relacionan de la siguiente manera:

$$F \cdot E = f \cdot e \quad \Rightarrow \quad f = \frac{F \cdot E}{e} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Luego la Resistencia a la Penetración será:

$$R = \frac{f}{S} \quad \text{Ecuación 1.2}$$

Los datos que se obtienen, se vuelcan a un gráfico de resistencia en función de la profundidad a la que fue realizada la medición.

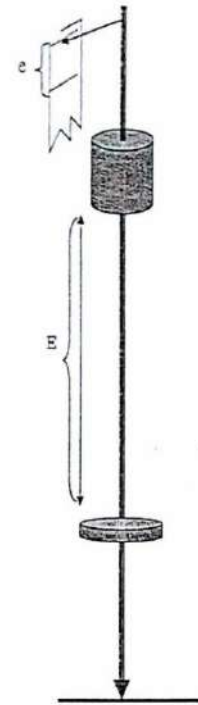


Figura 1.1. Esquema del penetrómetro de golpe.

1.2 ESTIMACIÓN POR MÉTODO DINÁMICO

Las metodologías nombradas anteriormente y la alta variabilidad espacial observada del fenómeno de compactación anteponen limitaciones, tanto económicas como temporales, para la adecuada identificación de zonas de compactación en grandes extensiones de suelo con una alta densidad de muestreo, tal como requiere en la actualidad la agricultura de precisión. Este contexto ha impulsado en los últimos años el desarrollo de sensores *on-the-go* (sobre la marcha) que provean una alta densidad de muestreo de manera rápida y a bajo costo [1]. En particular, en lo que se refiere a sensores destinados a medir la compactación del suelo, se ha centrado la atención en el desarrollo de sensores basados en principios mecánicos. Existen varios enfoques de diseño de los mismos, pero básicamente consisten en una cuchilla esbelta, la cual se desplaza en el seno del suelo y mediante la utilización de transductores de fuerza se determinan los esfuerzos mecánicos generados en la interacción suelo-cuchilla [1]. Los primeros sensores desarrollados estuvieron destinados a medir la resistencia mecánica total del suelo y la visualización de la mecánica de fractura de la interacción suelo-herramienta. Sus diseños basados en la utilización de un solo transductor de fuerza, permitían determinar solo la variabilidad horizontal de la resistencia mecánica [1]. Otros investigadores plantearon conceptos de desarrollo diferentes ante la necesidad de detectar la variabilidad vertical de la resistencia mecánica resultante de la interacción suelo-herramienta. Uno de estos conceptos consiste en una cuchilla plana, a la cual se le

instala un conjunto de transductores distribuidos en su geometría y en función de las deformaciones medidas se estima el perfil de presiones en el frente de ataque de la cuchilla [1]. Este tipo de cuchilla impide la utilización individual de los transductores para estimar la interacción suelo-herramienta a una determinada profundidad, debido al acople entre sus lecturas dado por la disposición de los transductores, la geometría de la cuchilla y las fuerzas de interacción a las que se encuentra sometida. Otro concepto de desarrollo avanza en la necesidad de determinar la variabilidad vertical, mediante la medición directa en el frente de ataque de la cuchilla utilizando múltiple sensores. Estos sensores poseen más complejidad constructiva y un conjunto de piezas mayor, lo cual deriva en un diseño menos robusto que los ya citados [1].

En el presente trabajo se presenta el diseño de un sensor mecánico, el cual consiste en una cuchilla construida en una sola pieza y bajo el concepto de *flexure stage*, el mismo permite la creación de zonas de medición destinadas a determinar la resistencia mecánica del suelo a diversos rangos de profundidad. Los objetivos del trabajo son la calibración de la herramienta y la determinación de las características operativas de la cuchilla cuando ésta es sometida a condiciones reales de operación.

1.3 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO

En una primera instancia, en el capítulo 2 se abordan el diseño y la instrumentación de la cuchilla, que incluye un resumen de los principios que determinaron su geometría, el análisis por elementos finitos, su fabricación y posterior instrumentación. En el capítulo 3 se presenta la calibración de la cuchilla y el método para independizar las lecturas de la misma. En el capítulo 4 se presentan las experiencias a campo realizadas, la primera para la puesta a punto de la herramienta y la segunda con participación de personal del INTA, incluyendo al final del mismo los resultados de las mediciones hechas con el método del penetrómetro y las lecturas realizadas con la cuchilla. Las conclusiones y los trabajos futuros que se proponen se encuentran en el capítulo 7. Finalmente se complementa el trabajo con el anexo, donde se presentan los archivos utilizados para el manejo de los datos provenientes de la herramienta.

2 DISEÑO E INSTRUMENTACIÓN DE LA CUCHILLA

En este capítulo se presenta el diseño de la herramienta y su instrumentación. En el diseño se detallan los conceptos que determinaron su geometría y una síntesis de la construcción de la misma. En la instrumentación se describe cada uno de los elementos que componen el sistema de adquisición de datos de la cuchilla.

2.1 DISEÑO

Se propone medir la resistencia mecánica al avance a partir de la deformación de zonas particulares de la herramienta. Con el objeto de localizar las zonas de máximas deformaciones, se adopta la generación de orificios circulares en el frente de la misma. Se selecciona esta geometría, sencilla y fácil de practicar, dado que es bien conocido el comportamiento de anillos circulares sometidos a esfuerzos [1].

Dado que el presente trabajo pretende estimar el perfil de compactación del suelo, es necesario medir la resistencia al avance a distintas profundidades. Esto implica implementar tantos anillos rectangulares como puntos de medición se quieran realizar. Ahora bien, como la cuchilla se comporta como una viga en voladizo es de esperar que se genere una distribución de tensiones que producirán deformaciones sobre los anillos ubicados por encima de la fuerza aplicada. Esto claramente inducirá lecturas erróneas de deformación. Por lo tanto es necesario lograr un desacople en la lectura de los anillos de manera de independizar las lecturas en cada uno de ellos. Esto se logra practicando ranuras sobre el frente de la cuchilla como muestra la figura 2.1.

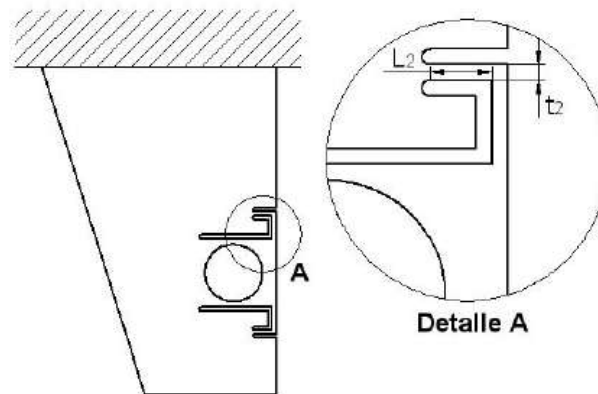


Figura 2.1. Detalle de implementación de anillo rectangular en la cuchilla.

Teniendo en cuenta lo planteado se presenta en la figura 2.2, el modelo tridimensional de una cuchilla para medir la resistencia al avance en tres profundidades distintas.

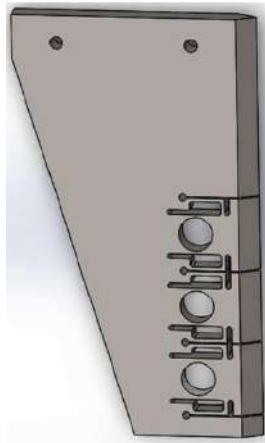


Figura 2.2. Modelo tridimensional de la cuchilla.

En la figura 2.3 se observan los valores de deformación específica obtenidos mediante simulación por elementos finitos, cuando la cuchilla es sometida a un esfuerzo horizontal de 1 MPa. La misma se diseñó para funcionar en un rango de presiones 0,5-4 MPa. La escala indica los valores de deformación específica de las distintas zonas, los mismos van desde un mínimo (azul) a un máximo (rojo) pasando por valores intermedios (verde). También se observa que las mayores deformaciones se producen a $\pm 90^\circ$ con respecto a la horizontal, mientras que a 0° solo existen deformaciones de orden mucho menor.

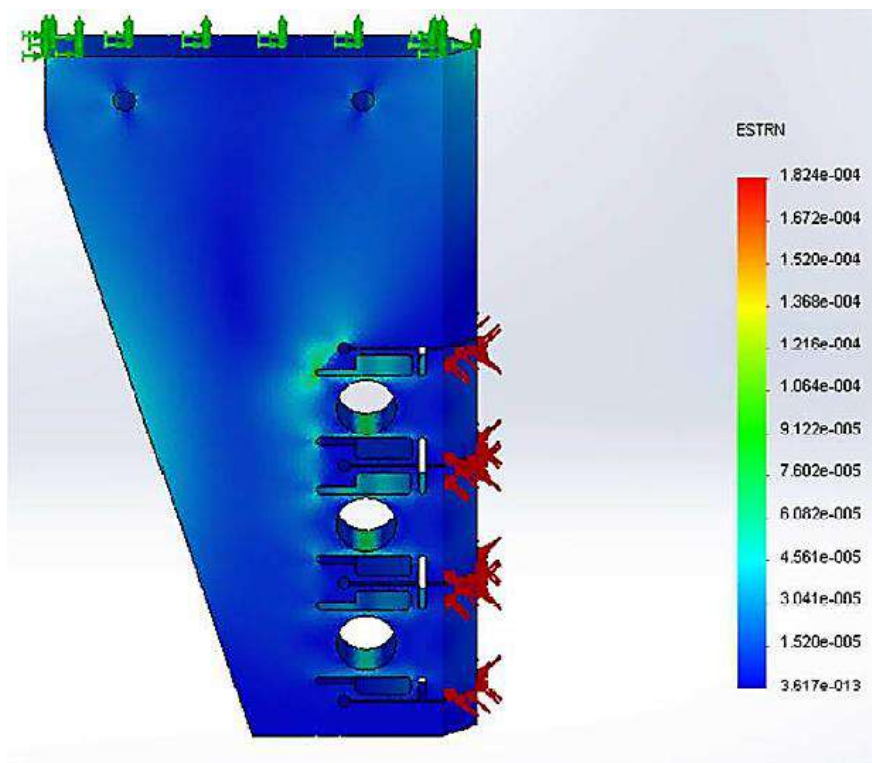


Figura 2.3. Análisis por elementos finitos en zonas deformables.

Esta información se utilizó para determinar el lugar donde se pegaron las galgas extensiométricas, las cuales son transductores que se utilizan para medir deformaciones y más adelante serán explicadas detalladamente.

Las galgas son colocadas en las regiones donde se produce la mayor deformación dentro del orificio (SG1 y SG2 de la Figura 2.4), ubicadas a $\pm 90^\circ$ de la dirección de aplicación del esfuerzo, tal como indica el análisis de elementos finitos de la Figura 2.3, las otras dos galgas (SG3 y SG4) se ubican a 90° de éstas en una disposición tal que no se ven afectadas al momento de que la celda de carga quede sometida a esfuerzos mecánicos (figura 2.4); siendo su única función completar el puente de Wheatstone y actuar en la compensación de temperatura. Cabe aclarar, que ambos conceptos serán abordados en apartados siguientes dentro del presente informe.

Las celdas de carga son estructuras diseñadas para soportar cargas, en cuyo interior se encuentran las galgas que detectan los valores de deformación.

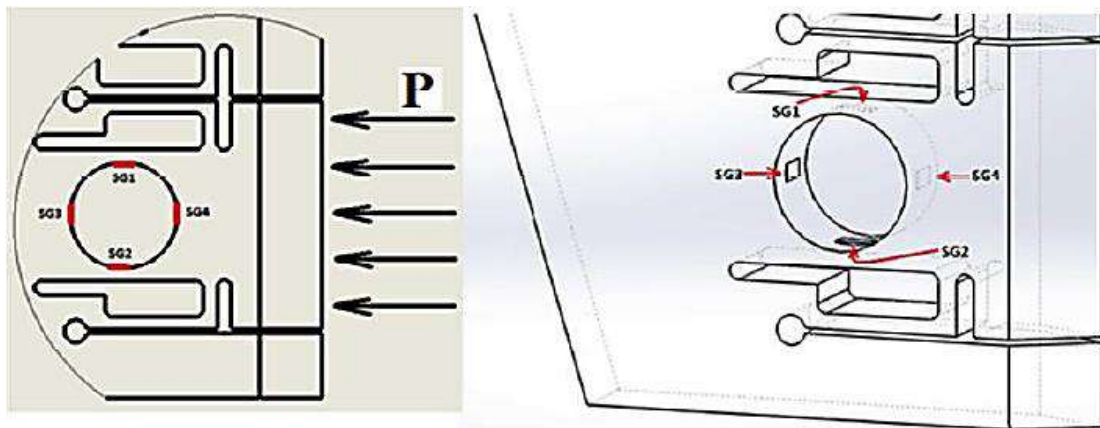


Figura 2.4. Ubicación de las Galgas en las Celdas.

El diseño de la cuchilla se llevó a cabo utilizando herramientas de cálculo y simulación por elementos finitos. Los fundamentos para determinar su diseño y los resultados de las simulaciones se encuentran detallados en [2].

2.1.1 IMPLEMENTACIÓN DE LA CUCHILLA

Para la fabricación de la cuchilla se partió de una plancha rectangular de acero SAE 1010 de 25,4 mm de espesor la cual fue recortada, mediante oxicorte, para darle la forma trapezoidal. El proceso de oxicorte permitió una aproximación rápida a la forma de la cuchilla minimizando tiempos de mecanizado. Además, se le practicaron orificios circulares; los mismos se agujerearon con broca, y mediante el proceso de mandrinado se le dio una buena terminación superficial, llevándolos a la dimensión de diseño; permitiendo así la posterior implementación de las celdas de carga. El borde de ataque fue maquinado por fresado.

El diseño de la cuchilla permite determinar perfiles de presión de la tierra hasta una profundidad de 247 mm; la figura 2.5 muestra las principales dimensiones del diseño. Cada celda posee un orificio de 37,8 mm de diámetro y está unido al cuerpo de la

cuchilla mediante vínculos de tipo viga que pueden flexionar; logrados a partir de las ranuras realizadas, con el objetivo de mejorar su estabilidad mecánica.

La estructura de cada celda está limitada por dos ranuras muy delgadas que sirven para independizar las lecturas y el ancho de la cuchilla es de 25,4 mm. Por otro lado las dimensiones de cada celda difieren una de la otra debido a que se quiso lograr que la sensibilidad de las mismas fuera mayor en aquellas celdas en donde el perfil de presión es menor, y así poder apreciar mejor las deformaciones captadas en cada una de ellas. Por lo tanto según la siguiente figura la celda 3 es la más sensible de todas, continuando por la 2 y finalizando por la 1; siendo esta la menos sensible ya que al encontrarse a mayor profundidad en la tierra, los esfuerzos sufridos allí también serán mayores.

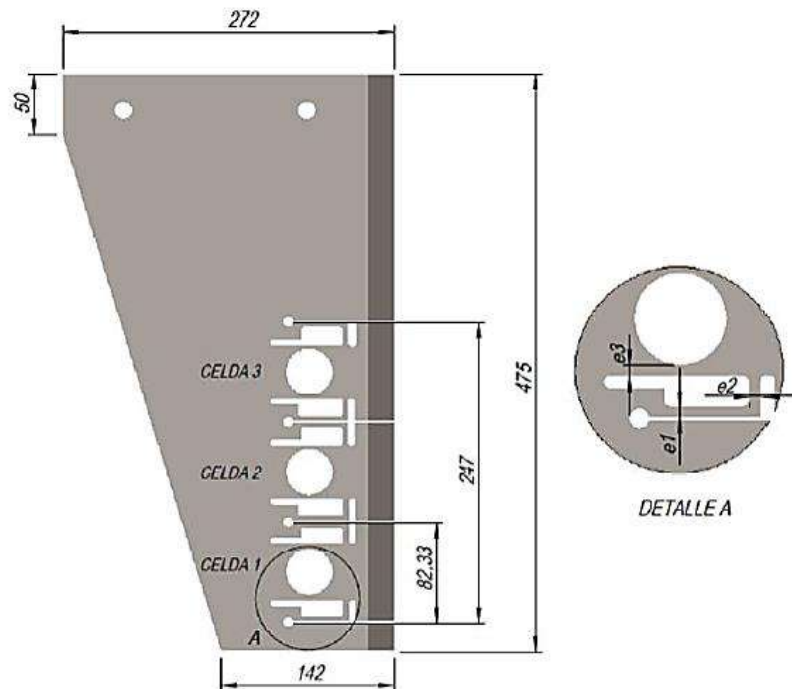


Figura 2.5. Principales cotas en [mm] de la cuchilla.

El desarrollo de la fabricación de la cuchilla, como las descripciones del material, se encuentra detallado en [2].

2.2 INSTRUMENTACIÓN

Un sistema de adquisición de datos consta de un transductor que convierte una magnitud física en una señal eléctrica, para después digitalizarla y procesarla en una computadora.

En general cuando se habla de un sistema de adquisición de datos, se pueden identificar cinco partes o elementos principales: Transductores, Acondicionadores de Señal, Hardware de Adquisición, PC y Software (figura 2.6). Las características y funciones de cada uno de estos elementos determinan en gran parte el adecuado desempeño del sistema.

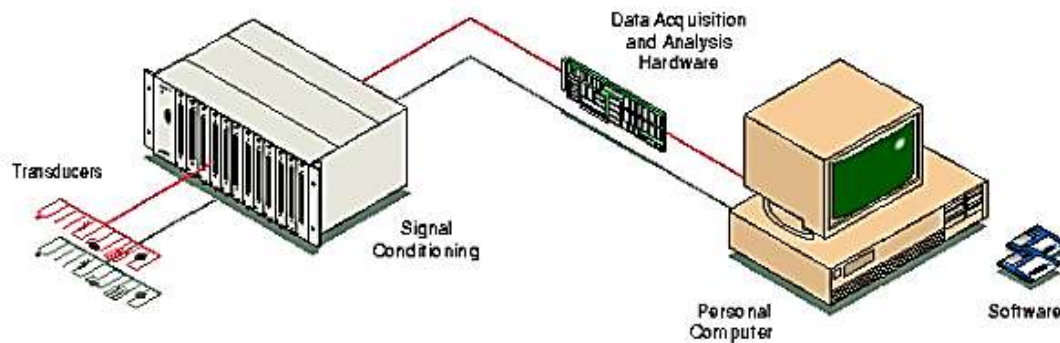


Figura 2.6. Esquema general de sistema de adquisición de datos.

El sistema de adquisición de datos utilizado en [3] para esta aplicación, consiste básicamente en: galgas extensiométricas, módulos de acondicionamiento de señal y una placa que convierte las señales eléctricas analógicas en valores digitales. La placa se encuentra ensamblada en un Cubo Uesim 600-1G de la empresa United Electronics Industries, el cual, es la unidad de procesamiento y almacenamiento de datos.

A continuación se procederá a detallar cada uno de los elementos que componen el sistema de adquisición de datos.

2.2.1 GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS

Una galga extensiométrica o *strain gauge*, es un tipo de transductor utilizado para medir la deformación de un objeto. El tipo más común de galga consiste en un conductor muy fino o papel aluminio dispuesto en forma de grilla. Esta grilla maximiza la cantidad de metal sujeto al esfuerzo en la dirección paralela, figura 2.7. La grilla está pegada a un fino respaldo llamado “carrier”, el cual está sujeto directamente a la pieza bajo medida. Por lo tanto el esfuerzo experimentado por la pieza es transferido directamente al *strain gauge*, el cual responde con cambios lineales de resistencia eléctrica. Este cambio de la resistencia, medido generalmente usando un puente de Wheatstone, es relacionado con la deformación por una cantidad conocida como el factor de galga.

El factor de galga, se define como el cociente del cambio porcentual en resistencia eléctrica al cambio porcentual en la longitud, y viene dado por la expresión:

$$GF = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{\epsilon} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

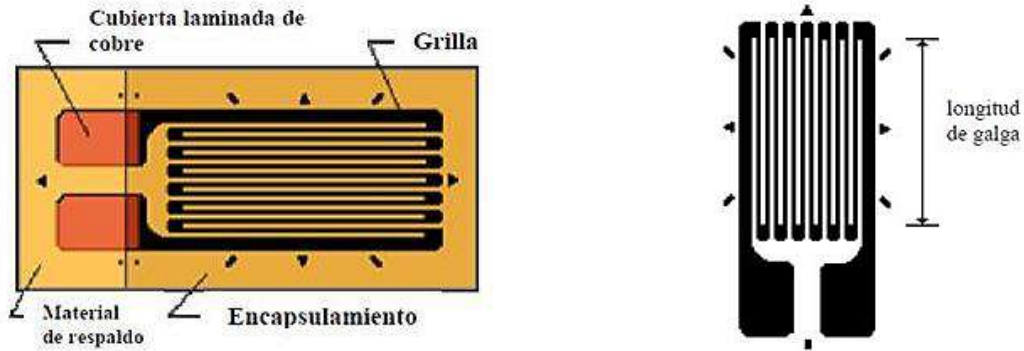


Figura 2.7. Esquema de *strain gauge*.

PUENTE DE WHEATSTONE

El puente de Wheatstone, es un método muy preciso para medir resistencias. Debido a que las deformaciones de los *strain gauge* son muy pequeñas, las variaciones de resistencia eléctrica también lo son; y no se pueden medir directamente con un ohmímetro. Por lo tanto para realizar las lecturas de los datos se utiliza dicho puente.

El mismo consiste en cuatro brazos resistivos con una tensión de excitación V_{ex} que se aplica a través del puente y esto genera una tensión de salida del mismo V_o , tal como se indica en la figura 2.8.

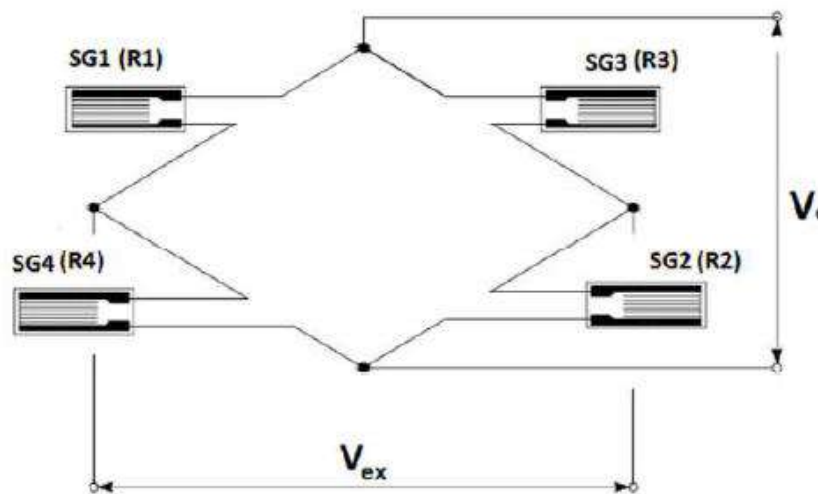


Figura 2.8. Puente de Wheatstone.

La disposición presentada en la figura 2.8, y utilizada en la aplicación, es denominada configuración de puente completo. La misma presenta mayor sensibilidad y corrige la desviación producida por la temperatura [4].

STRAIN GAUGE UTILIZADO

Para la configuración de los puentes, se emplearon galgas marca Omega, modelo SG-3/350-LY11. A continuación, en la figura 2.9, se presentan sus características principales:

	DIMENSIONES [mm]: a=3 ;b=2; c=8;d=6
	RESISTENCIA NOMINAL: 350 [Ω]
	TENSIÓN DE EXCITACIÓN MAXIMA: $V_{ex-max}= 8$ [V]
	STRAIN MÁXIMO: 3%
	MATERIAL CONDUCTOR: Constatán (Cu-Ni)
	GAUGE FACTOR: $GF= 2 \approx 2,02$
	RANGO DE TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO: -5 [$^{\circ}$ C] a 120 [$^{\circ}$ C]

Figura 2.9. Strain Gauge Seleccionado.

Los desarrollos de los cálculos de tensión de excitación, como los cálculos de tensión de salida, referidos a la configuración de los puentes con los *strain gauges* seleccionados, están debidamente presentados en [2].

2.2.2 ACONDICIONADORES DE SEÑAL

El acondicionamiento de señal es la etapa encargada de filtrar y adaptar la señal proveniente del transductor a la entrada del convertidor analógico / digital.

A cada uno de los puentes le corresponde un acondicionador de señal, que además de amplificar la salida del puente V_o , provee la tensión de excitación V_{ex} regulada y continua, minimizando problemas de ruido eléctrico.

Los acondicionadores de señal utilizados para la aplicación (figura 2.10) cuentan con una serie de switches para seleccionar los rangos de entrada y salida. En el panel frontal cuentan con el variador para regular la tensión de excitación deseada. A continuación se presentan sus características principales.

	MARCA: ICP DAS
	MODELO: SG-3016
	RANGOS DE ENTRADA: ± 10 [mV]; ± 20 [mV]; ± 30 [mV]; ± 50 [mV]; ± 100 [mV]
	RANGOS DE SALIDA: ± 5 [V]; ± 10 [V]; 0 ~5 [V]; 0 ~ 10 [V]
	TENSIÓN DE EXCITACIÓN: 0 ~ 10 [V]
	CORRIENTE DE EXCITACIÓN: 0 ~ 20 [mA]
	TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN: 24 [V]

Figura2.10. Acondicionador Seleccionado.

Para esta aplicación fue seteado el rango de tensión a la salida del puente (InputRange) en ± 10 mV, rango de tensión a la salida del acondicionador (OutputRange) en ± 10 V y la

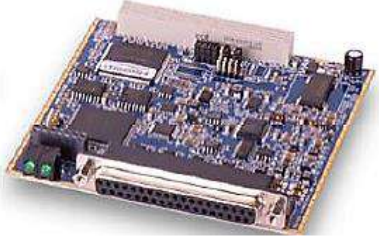
tensión de excitación con el variador (EXC1) en 5 V. Toda la información acerca de los parámetros seteados para el correcto funcionamiento de los acondicionadores de señal se detalla en [3].

2.2.3 HARDWARE DE ADQUISICIÓN

Las funciones principales del hardware de adquisición son: la conversión de señales analógicas a digitales y la comunicación con el ordenador.

Dentro de las principales características podemos encontrar: el número de canales analógicos, que nos indica la cantidad de magnitudes distintas que podemos adquirir con la misma tarjeta; la velocidad de muestreo, que mientras mayor sea mejor representación obtendremos de las señales analógicas; la resolución, que viene dada por la cantidad de bits que se utilizan para representar cada muestra; el rango de entrada, que indica los márgenes entre los que tiene que estar la señal de entrada para poder ser convertida y la forma que tiene para comunicarse con el computador.

La placa adquisidora utilizada en esta aplicación posee veinticuatro entradas para una conexión simple y doce entradas para una conexión en modo diferencial, la misma se encuentra en la figura 2.11 y su configuración se hace por software.



Technical Specifications:	
Resolution	16 bits
Number of Channels:	
Single-Ended	24
Differential	12
Maximum Sampling Rate	100 kS/s, aggregate
Onboard FIFO Size	512 samples
Input Range	±15V
Programmable Gains	1, 2, 5, 10 (by channel)
Input Impedance	10 MΩ
Input Bias Current	±15 nA
Input Overvoltage	±40V, 2000V ESD powered or unpowered
A/D Conversion Time	2 μs
A/D Settling Time	10μs @ G=1; 15μs @ G=2; 25μs @ G=5; 50μs @ G=10
Nonlinearity	1 LSB
System Noise	1.2 LSB
Isolation	350Vrms
Effective Number of Bits	14.8
Total Harmonic Distortion+Nonlinearity+Noise	91 dB
Channel Crosstalk	85 dB @ 1 kS/s
Power Consumption	2.0W
Physical Dimensions	3.875 x 3.875" (98 x 98 mm)
Operating Temp. (tested)	-40°C to +85°C
Operating Humidity	95%, non-condensing
Vibration IEC 60068-2-6	5 g, 10-500 Hz, sinusoidal
IEC 60068-2-64	5 g (rms), 10-500 Hz, broad-band random
Shock IEC 60068-2-27	50 g, 3 ms half sine, 18 shocks @ 6 orientations 30 g, 11 ms half sine, 18 shocks @ 6 orientations

Figura 2.11. Placa DNA – 201-100 seleccionada.

El rango de entrada de la placa, está dado en $\pm 10\text{ V}$, acorde al rango de salida de los acondicionadores, y entradas analógicas en modo diferencial con resistencias de $90\text{ k}\Omega$ a tierra para evitar que la placa resulte dañada.

Se utilizaron para la aplicación, tres entradas analógicas en modo diferencial cuyas señales provienen de los acondicionadores de señal antes mencionados.

La placa adquisidora está integrada a una potente herramienta para el manejo de datos (figura 2.12), un cubo Uesim 600 -1G de la empresa United Electronics Industries, cuya ventaja radica en el hecho de que convierte un módulo de adquisición en archivos ejecutables en modelos de Simulink de lectura/escritura de las entradas o salidas físicas.



Figura 2.12. Uesim 600 – 1G.

El corazón del cubo es un procesador PowerPc ejecutando un sistema operativo Linux contenido en la memoria flash junto con los controladores para cada una de las tarjetas de entrada/salida. Además es un instrumento robusto y resistente, con chasis probados en condiciones extremas desde $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, 50 g de choque, 3 g de vibración y soportando una humedad máxima del 95% sin condensación. Todas las entradas y salidas se encuentran aisladas del controlador, por lo que es inmune a interferencias y picos de tensión. Para el correcto funcionamiento se requiere una potencia de 7 W incluir las tarjetas de entrada/salida y una tensión de 12 V de corriente continua.

2.2.4 PC Y SOFTWARE DE ADQUISICIÓN

La conexión a la PC puede hacerse mediante un cable de red, haciendo una red privada local, mediante una conexión RS232 o mediante la utilización de un router inalámbrico y estableciendo una comunicación WiFi.

El Uesim 600 – 1G, trae consigo una serie de librerías de Matlab, mediante las cuales, es posible crear un modelo interfaz de Simulink capaz de leer la señal de entrada de cada uno de los canales de la placa adquisidora. Esta información se transmitió haciendo una red privada local; y utilizando un router se estableció una comunicación inalámbrica entre el cubo y la PC. Para poder hacer uso de la información es necesario diseñar un programa de Simulink, llamado CUCHILLA (figura 2.13), con él se realizó la conversión del paquete de datos a una señal de tensión.

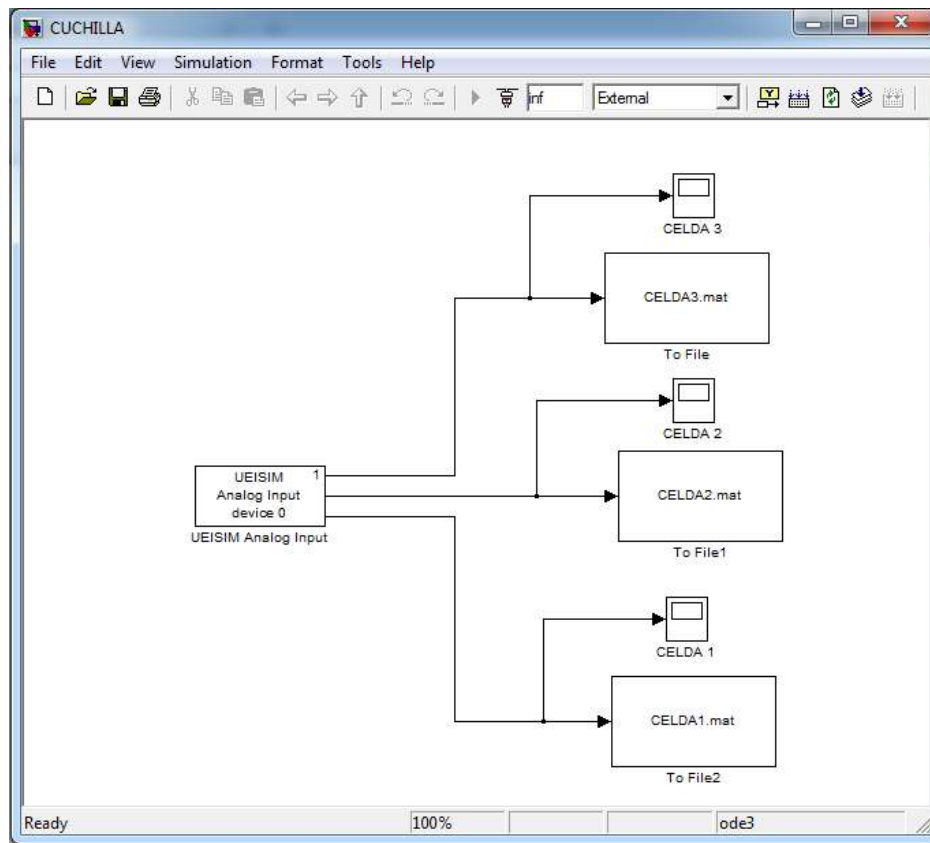


Figura 2.13. Modelo de Simulink.

Para el proceso de manipulación de datos se crearon dos archivos M-File. Uno de ellos, CARGADO.m, es para cargar los datos que se almacenaron en la memoria del cubo y el otro, MUESTREO.m se utilizó para el análisis de los datos que se cargaron.

Cabe destacar que la instalación y configuración, tanto del cubo Uesim 600 – 1G como de la placa adquisidora, se encuentran desarrollados en [3].

Los dos archivos M-File mencionados se encuentran en el Anexo.

2.2.5 ESQUEMA DE CONEXIONES

Como resumen del capítulo tratado, a continuación se presenta un esquema de las conexiones del sistema de adquisición de datos en su totalidad. Comenzando por el primer eslabón de la cadena, que en este caso serían los *strain gauges*, pasando por la configuración del puente, los acondicionadores de señal, el Uesim 600 – 1G y por

último la PC. Solo se representa un solo puente debido a que los demás se conectan de la misma manera, por lo que también se representa solo un acondicionador de señal. En la placa DNA-201-100 se hace referencia a la posición de los canales utilizados por los acondicionadores que no se muestran en el esquema.

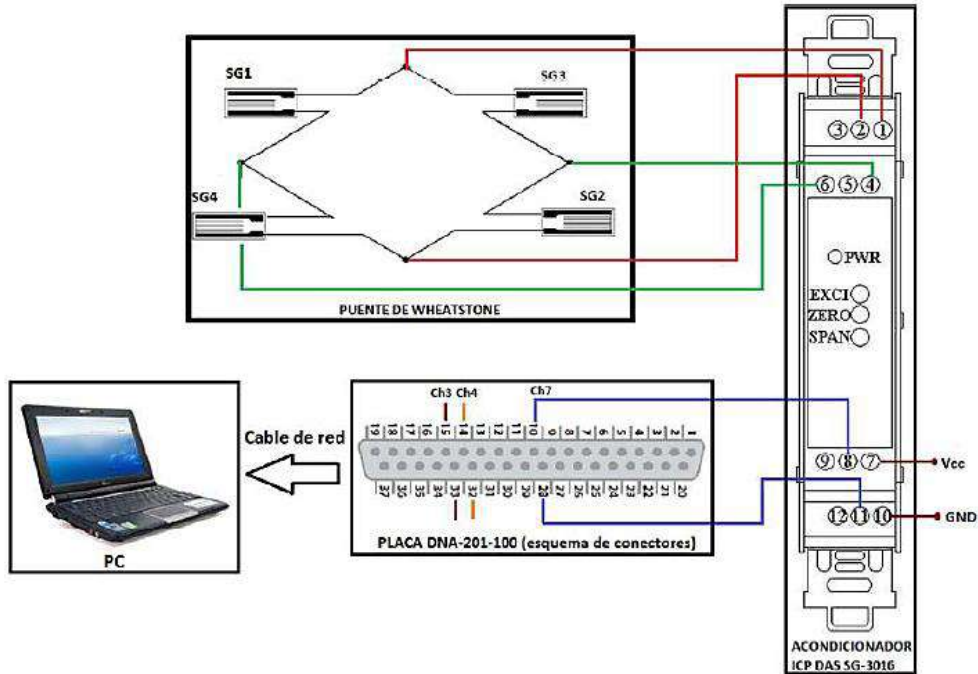


Figura 2.14. Esquema de Conexión.

A continuación se detalla en las siguientes figuras (figura 2.15 y 2.16), la ubicación y funciones de los diferentes pines, según lo indica el fabricante.

Pin	Name
1	INPUT+
2	INPUT-
3	FGND
4	EXCI
5	EXCI
6	AGND
7	VCC.
8	OUT+
9	VCC.
10	GND
11	OUT-
12	GND

Figura 2.15. Pines de Acondicionador.

AIN12	37	19	AIN0
AIN13	36	18	AIN1
AIN14	35	17	AIN2
AGND	34	16	AGND
AIN15	33	15	AIN3
AIN16	32	14	AIN4
AIN17	31	13	AIN5
AGND	30	12	AGND
AIN18	29	11	AIN6
AIN19	28	10	AIN7
AIN20	27	9	AIN8
N/C	26	8	N/C
AIN21	25	7	AIN9
AIN22	24	6	AIN10
AIN23	23	5	AIN11
CLK_OUT	22	4	TRIG_IN
+18V 40mA max	21	3	EXT_CLK
-18V 40mA max	20	2	AGND
	1		AGND

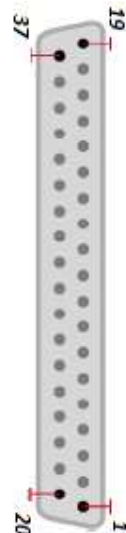


Figura 2.16. Pines de placa DNA – 201-100.

3 ENSAYOS DE CALIBRACIÓN

En este capítulo se dan a conocer una serie de pruebas que fueron realizadas para evaluar el desempeño de las implementaciones desarrolladas en la cuchilla.

La calibración consiste en hallar la relación entre las señales que provienen de los acondicionadores y las fuerzas que las provocan, obteniendo así, las constantes que relacionan los niveles de tensión obtenidos con la presión ejercida en cada una de las celdas. A su vez este valor corresponde al desbalance del puente producto de la variación de la resistencia de las galgas, que también están relacionadas con la deformación de la celda.

3.1 DISEÑO DE EXPERIENCIAS DE CALIBRACIÓN

Las celdas de carga están diseñadas para que trabajen siempre dentro del rango elástico del material; por esta razón es de esperar que la relación sea lineal, tal como lo indica la ecuación 3.1.

$$V_{0i} = k_i \cdot P_i \quad \Rightarrow \quad P_i = \frac{1}{k_i} \cdot V_{0i} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

P_i = Presión media aplicada [MPa].

k_i = Constante de proporcionalidad.

V_{0i} = Tensión de salida media en la celda i [mV].

La calibración consistió en aplicar pesos conocidos sobre las celdas y registrar la tensión del acondicionador, correspondiente al desbalance del puente.

Para verificar que la relación es lineal se propusieron tres valores de pesos conocidos. Se propusieron tres pesos, porque con dos también podríamos encontrar una recta, pero no necesariamente indica que la relación es lineal. Las mediciones se realizaron de manera simultánea, es decir se aplicó la carga a la primera celda y se tomaron lecturas de todas, luego se pasó a la segunda y finalmente a la restante. Al finalizar se procedió de similar manera con las otras cargas conocidas.

3.2 PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN

Para comenzar con los procedimientos de calibración se colocó la cuchilla en la morsa y se la sujetó de manera tal que al someterla a esfuerzos, ésta quede fija en uno de sus extremos, representando el modo de sujeción que tendría en las pruebas de campo al momento de ser instalada en el mecanismo de labranza enganchado al tractor.

En segundo lugar se realizó el conexionado con el sistema de adquisición de datos, y mediante la utilización de un osciloscopio en la salida de los acondicionadores, se observó y corrigió el ruido introducido en la señal a causa de la necesidad de tener una referencia a tierra. También se preparó la PC con el resto de los componentes del hardware que componen el sistema de calibración, tal como se observa en la figura 3.1.



Figura 3.1. Banco de pruebas para ensayos de calibración.

Una vez organizados los elementos en el banco de calibración, se procedió a preparar el sistema para aplicar de manera correcta los pesos conocidos sobre las celdas de carga, tal como se muestra en la figura 3.2 respectivamente.

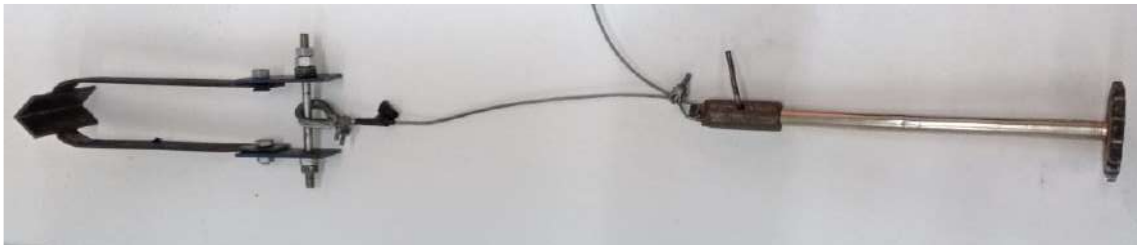


Figura 3.2. Sistema para aplicación de cargas.

Los pesos conocidos utilizados para efectuar las lecturas fueron de 10, 17,9 y 32,2 *kg*. A continuación en la figura 3.3 se muestra el sistema de aplicación de cargas con los pesos incorporados y ejerciendo presión sobre una de las celdas.



Figura 3.3. Desarrollo de la experiencia.

Para iniciar el proceso de grabación de datos, se ejecutó dentro de la memoria del cubo un archivo que tiene una frecuencia de muestreo seteada en 100 hz. Este archivo es creado en Simulink mediante librerías propias del cubo y reconstruido en su memoria interna para ser ejecutado.

Para realizar el cargado de datos se ejecutó el archivo CARGADO.m que se encuentra en el anexo. La función de este archivo es extraer los valores generados y guardados en la memoria del cubo a una carpeta de Matlab y posteriormente al Workspace.

Una vez cargados los datos en el Workspace, se ejecutó el segundo archivo llamado MUESTREO.m. Su función es filtrar la señal obtenida mediante un filtro pasa-bajos y expresar los datos obtenidos en un gráfico.

3.3 RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACION

Al finalizar cada lectura, se generaron gráficos de tensión vs tiempo como el que se muestra a continuación. Utilizando los valores de estos gráficos, es posible conocer los valores de tensión alcanzados en cada lectura por cada una de las celdas.

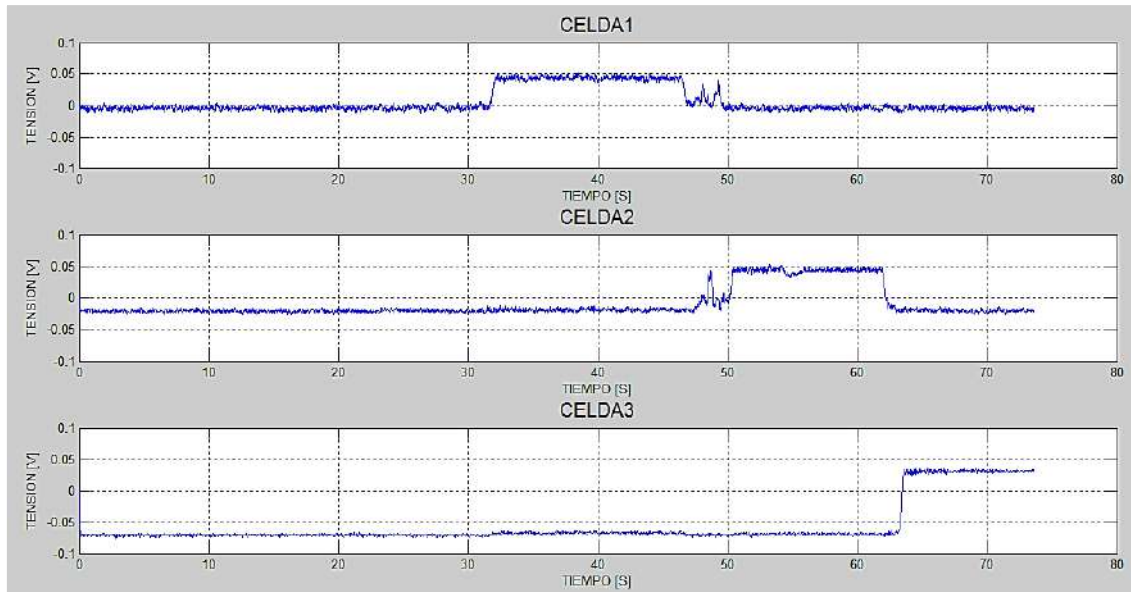


Figura 3.4. Datos con la carga de 32,2 [kg].

En la figura 3.4 se observa el orden en que fue aplicada la carga y la sensibilidad creciente mencionada en el apartado 2.1.1 de la implementación de la herramienta.

3.3.1 COMPORTAMIENTO DE CELDAS INDIVIDUALES

A partir de los datos de tensión generados cada vez que se cargó puntualmente una celda, y con el valor de presión correspondiente a la la fuerza aplicada, se puede elaborar un gráfico que relacione directamente estas variables. La presión aplicada se calcula como el cociente entre la fuerza aplicada y el área de la celda que soporta dicha carga (ecuación 3.2).

$$P[MPa] = \frac{F[kg] \cdot 9,8[N/kg]}{A[m^2] \cdot 1.10^6[Pa/MPa]} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde:

F = Fuerza Aplicada.

$A = 0,00205 [m^2] \Rightarrow$ Área transversal a la aplicación de la Carga.

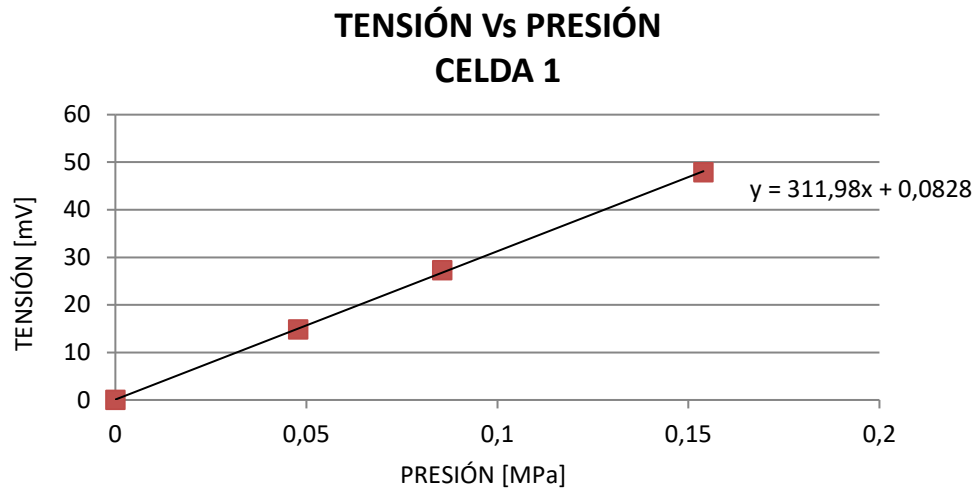


Figura 3.5. Tensión Vs Presión en la celda 1.

En la figura 3.5 se observa la linealidad de las lecturas efectuadas, tal como se había previsto anteriormente.

La constante que relaciona la tensión con la presión aplicada, corresponde a la pendiente de la recta que se forma en la figura 3.5. Es decir que los valores para cada celda serán

$$k_1 = 311,98$$

$$k_2 = 415,11$$

$$k_3 = 658,62$$

Con estas constantes dadas en mV/MPa , es posible obtener cualquier valor de presión a partir de los datos de tensión captados por el sistema de adquisición de datos.

3.3.2 SENSIBILIDAD CRUZADA ENTRE CELDAS

Teniendo en cuenta que la herramienta se comporta como una viga en voladizo, es decir que los esfuerzos que se produzcan en las celdas a mayor profundidad repercutirán en las mediciones de las celdas superiores, se analizaron los datos de las tres celdas, los cuales fueron adquiridos simultáneamente, mientras que cada celda fue cargada individualmente.

TENSIÓN Vs PRESIÓN CARGA EN CELDA 2

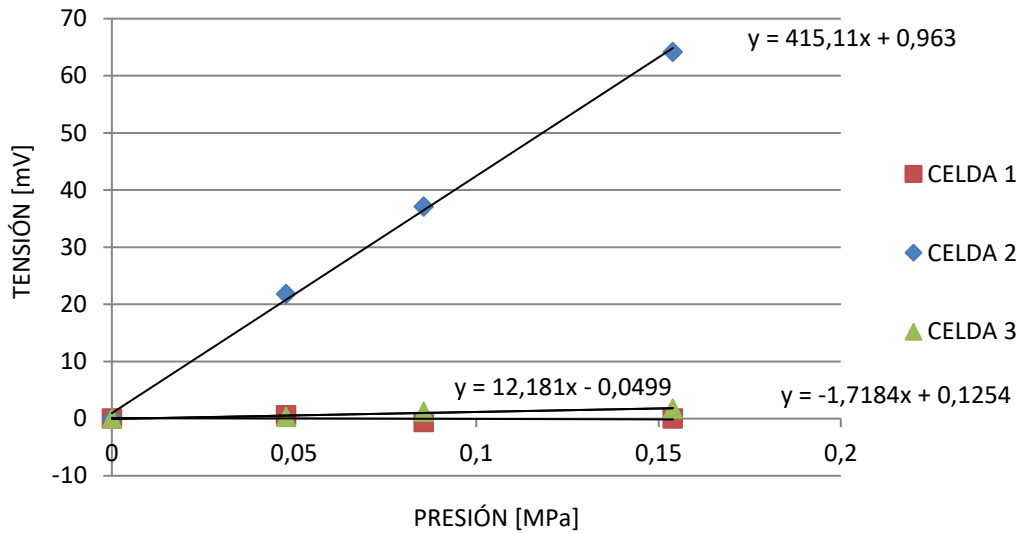


Figura 3.6. Tensión Vs Presión con carga en la celda 2.

En la figura 3.6 se observa que cuando la carga está ejercida en la celda 2, la celda 1 no registra ninguna lectura, mientras que la celda 3, ubicada por encima de la 2, sí lo hace. Este fenómeno es conocido como sensibilidad cruzada, y tiene lugar a pesar del desacoplamiento que se implementó entre las celdas en la construcción de las mismas.

En el sistema de ecuaciones 3.3 se plantea el efecto que se produce en una celda de carga producto de la fuerza actuante en las restantes. Esto indica el acople de las mediciones sobre cada celda de carga.

$$\left. \begin{aligned}
 V_{01} &= k_1 \cdot P_1 + k_{1/2} \cdot P_2 + k_{1/3} \cdot P_3 \Rightarrow k_{1/2} = \frac{V_{01/P2}}{P_2} \quad y \quad k_{1/3} = \frac{V_{01/P3}}{P_3} \\
 V_{02} &= k_2 \cdot P_2 + k_{2/1} \cdot P_1 + k_{2/3} \cdot P_3 \Rightarrow k_{2/1} = \frac{V_{02/P1}}{P_1} \quad y \quad k_{2/3} = \frac{V_{02/P3}}{P_3} \\
 V_{03} &= k_3 \cdot P_3 + k_{3/1} \cdot P_1 + k_{3/2} \cdot P_2 \Rightarrow k_{3/1} = \frac{V_{03/P1}}{P_1} \quad y \quad k_{3/2} = \frac{V_{03/P2}}{P_2}
 \end{aligned} \right\} \text{Ecuación 3.3}$$

V_{0i} = Voltaje de salida medio en la celda i .

P_i = Presión aplicada en cada celda.

k_i = Constante obtenida del gráfico 3.5 .

$k_{i/j}$ = Contante entre el voltaje en la celda i y la presión en j .

$V_{i/Pj}$ = Voltaje en la celda i producido por la presión P_j .

Expresando los valores V_{oi} en función de las presiones y las constantes, se puede expresar el sistema de ecuaciones en forma matricial.

$$V = A \times P \quad \Rightarrow \quad \begin{bmatrix} V_{01} \\ V_{02} \\ V_{03} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & k_{1/2} & k_{1/3} \\ k_{2/1} & k_2 & k_{2/3} \\ k_{3/1} & k_{3/2} & k_3 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

A partir de los resultados presentados en la figura 3.6, se obtienen las pendientes de las rectas, las cuales representan las constantes k_{ij} de la matriz de acoplamiento (ecuación 3.4). A continuación se muestran los datos extraídos de la figura 3.6 y los que se obtienen de gráficos similares pero con la carga aplicada en las demás celdas.

$$k_2 = 415,11 \qquad k_{1/2} = -1,71 \qquad k_{3/2} = 12,18$$

Reemplazando los valores en la ecuación 3.4, nos queda:

$$\begin{bmatrix} V_{01} \\ V_{02} \\ V_{03} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 311,98 & -1,71 & -4,22 \\ 12,48 & 415,11 & 3,31 \\ 22,76 & 12,18 & 658,62 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix}$$

A continuación partiendo de la ecuación 3.4, se calcula la matriz de presiones de la siguiente manera.

$$V = k \times P \quad \Rightarrow \quad P = k^{-1} \times V \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Luego, la matriz de presiones será:

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3,2 \cdot 10^{-3} & 7,89 \cdot 10^{-6} & 2,05 \cdot 10^{-5} \\ -9,54 \cdot 10^{-5} & 2,4 \cdot 10^{-3} & -1,27 \cdot 10^{-5} \\ -1,08 \cdot 10^{-4} & -4,48 \cdot 10^{-5} & 1,5 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V_{01} \\ V_{02} \\ V_{03} \end{bmatrix}$$

Esta matriz propone cancelar en cada celda, el efecto que produce una fuerza ubicada por debajo y por encima de la misma.

3.3.2.1 VERIFICACIÓN DEL ERROR POR DESACUPLE

A continuación se presenta un caso concreto en la utilización de la matriz de desacople:

Considerando la carga de 32,2 kg sobre la Celda 1 ($P = 0,1539317 [MPa]$), en los ensayos de calibración se observa que las tensiones originadas en las celdas están dadas por:

$$V_{01} = 47,9 [mV]$$

$$V_{02} = 1,799 [mV]$$

$$V_{03} = 3,365 [mV]$$

Estos datos podrían indicar dos tipos de resultados: por un lado, si no se utiliza la matriz de desacople se estarían obteniendo lecturas de presión erróneas en las celdas 2 y 3, ya que no tienen ninguna carga; por el otro, usando la matriz de desacople, las lecturas de presión en las celdas 2 y 3 deberían acusar cero carga.

CASO 1 (Sin usar la matriz de desacople):

Los valores de presión que se hubieran obtenido, serían la relación directa entre las tensiones y las constantes de proporcionalidad obtenidas de la figuras 3.5.

$$P_1 = \frac{V_{01}}{k_1} = \frac{47,9}{311,98} = 0,153535 [MPa]$$

$$P_2 = \frac{V_{02}}{k_2} = \frac{1,799}{415,11} = 4,33 \cdot 10^{-3} [MPa]$$

$$P_3 = \frac{V_{03}}{k_3} = \frac{3,365}{658,62} = 5,11 \cdot 10^{-3} [MPa]$$

CASO 2 (Usando la matriz de desacople):

En este caso utilizaremos la matriz de presiones calculada anteriormente

$$\begin{bmatrix} P'_1 \\ P'_2 \\ P'_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3,2 \cdot 10^{-3} & 7,89 \cdot 10^{-6} & 2,05 \cdot 10^{-5} \\ -9,54 \cdot 10^{-5} & 2,4 \cdot 10^{-3} & -1,27 \cdot 10^{-5} \\ -1,08 \cdot 10^{-4} & -4,48 \cdot 10^{-5} & 1,5 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 47,9 \\ 1,799 \\ 3,365 \end{bmatrix}$$

$$P'_1 = 0,153531 [MPa]$$

$$P'_2 = -2,8 \cdot 10^{-4} [MPa]$$

$$P'_3 = -1,9 \cdot 10^{-4} [MPa]$$

	ERROR DE LECTURA (ABSOLUTO) [MPa]	
	SIN USAR LA MATRIZ	USANDO LA MATRIZ
CELDA 1	$-3,96 \cdot 10^{-4}$	$-4 \cdot 10^{-4}$
CELDA 2	$43,3 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$
CELDA 3	$51,1 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$

Tabla 3.1. Errores de lecturas.

Se observa en la tabla 3.1 que para la presión medida en la celda 1, el error es prácticamente el mismo y muy pequeño, en las celdas 2 y 3 el error es más apreciable. Usando la matriz de desacople ambas lecturas presentan valores de un orden menor de magnitud.

4 ENSAYO EXPERIMENTAL DE LA CUCHILLA

En este capítulo se presentan: el montaje de la cuchilla en el bastidor, el cálculo de la unión abulonada como fusible mecánico y las experiencias a campo, de las cuales, en la primera se realizó la puesta a punto de la herramienta y en la segunda, con la participación del personal del INTA, se obtuvieron los resultados de las mediciones realizadas por el método del penetrómetro y las lecturas con la cuchilla.

4.1 MONTAJE DE CUCHILLA EN BASTIDOR

La herramienta se diseñó para poder ser instalada en un bastidor de características similares, tanto en su tamaño como en la forma de ataque al suelo, a las de un cincel agrícola, figura 4.1. La ventaja de la instalación en dicho implemento radica en que por su funcionalidad permite a la cuchilla ingresar con un correcto ángulo de ataque a la tierra y además, es posible la utilización de su sistema hidráulico para lograr la penetración pretendida. Al cincel seleccionado para acoplar el equipo de medición se le extrajeron tres de sus púas, con el objetivo de colocar la cuchilla en una zona que no presente perturbaciones por la acción de la herramienta de labranza utilizada.



Figura 4.1. Cincel agrícola y púas extraídas.

Para el montaje en el bastidor fue diseñado un soporte que articula la sujeción entre la cuchilla y el bastidor. El soporte consta de un cuerpo formado por dos módulos, que sujetan a la cuchilla, figura 4.2.

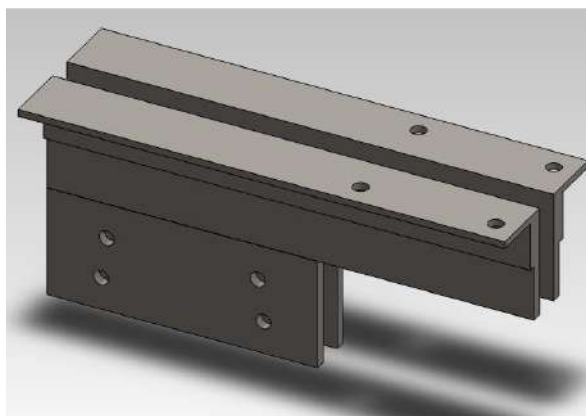


Figura 4.2. Soporte cuchilla.

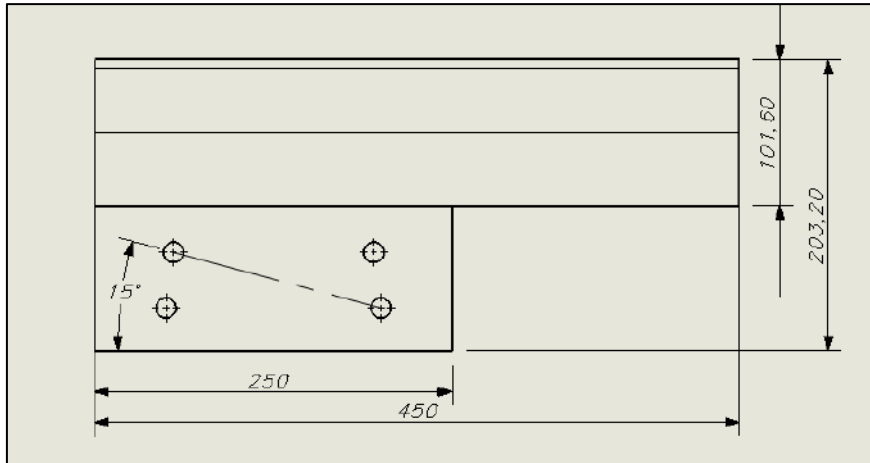


Figura 4.3. Principales medidas del soporte de la cuchilla en *mm*.

Los módulos presentan orificios para ubicar la cuchilla en dos ángulos diferentes de ataque (figura 4.3). La unión entre el soporte y el bastidor se realiza mediante cuatro bulones, que en conjunto con dos perfiles ángulo, sujetan el soporte contra el bastidor formado por tubos cuadrados de 100 *mm*. En la figura 4.4 se representan cada una de las partes que componen el sistema de sujeción y su vinculación.

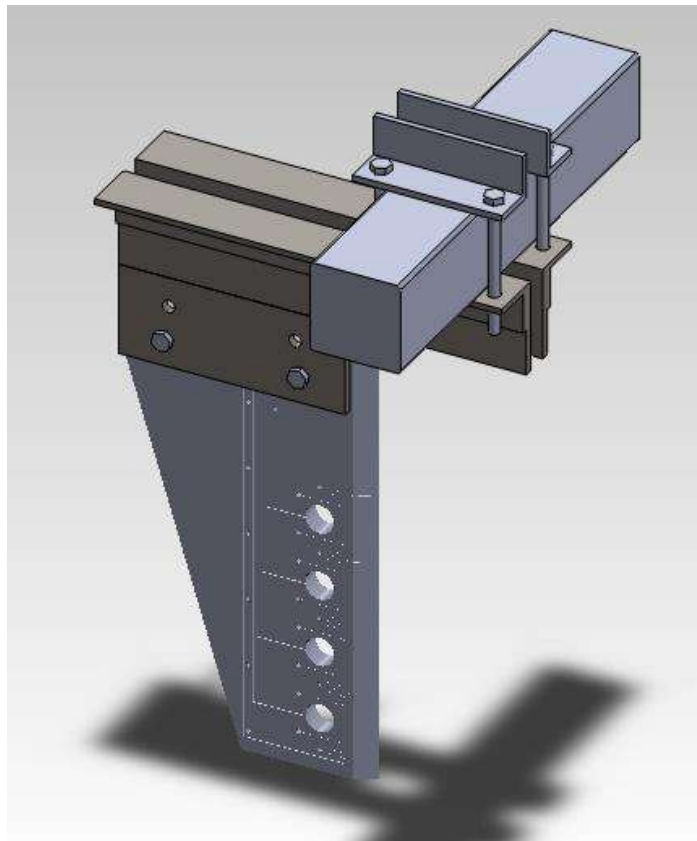


Figura 4.4. Sistema de sujeción.

4.1.1 UNIÓN ABULONADA COMO FUSIBLE MECÁNICO

Con el objeto de preservar la integridad de la herramienta se diseñó el sistema de sujeción para que falle o se rompa en un punto determinado, cuando el esfuerzo sobre la misma supere un valor límite de diseño. Este tipo de situación se podría dar en caso de que la herramienta colisione con una zona de tosca cercana a la superficie, en zonas compactadas con valores superiores a los de diseño o por la presencia de troncos y raíces.

4.1.1.1 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

El perfil de presiones a la que se encuentra sometido el frente de ataque de la cuchilla durante la interacción con el suelo, presenta un comportamiento dependiente de la profundidad. De manera cualitativa es posible asumir que la presión aumenta con la profundidad, entonces cada transductor estará sometido a diferentes rangos de esfuerzos mecánicos.

La presión máxima establece los esfuerzos mecánicos máximos a los que será sometido el transductor, los cuales no deberán provocar deformaciones plásticas en el mismo como en la totalidad de la cuchilla. Respecto al límite inferior, el mismo coincide de manera cuantitativa con las presiones mínimas presentes en la interacción suelo cuchilla.

4.1.1.2 CÁLCULO DE UNIÓN ABULONADA

Como primera medida de cálculo se planteó un perfil de presiones constante sobre cada una de las celdas de carga, y variable en intensidad, de modo que sobre la celda 1 se considera una presión de 4 MPa , sobre la celda 2 una presión de 3 MPa y sobre la celda 3 una presión de 2 MPa , como se observa en la figura 4.5

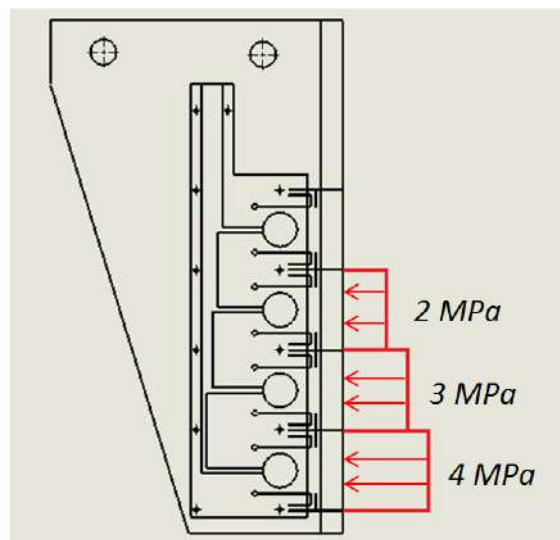


Figura 4.5. Perfiles de presión adoptados.

Considerando que la cuchilla se comporta como una viga en voladizo, cuando la misma se encuentre introducida en el terreno, producirá un eje de pivote en el punto de consideración A (figura 4.6). Al pivotear en este punto los bulones delanteros estarán sometidos a tracción, entonces se calcula la sección de estos bulones para que se rompan cuando este esfuerzo alcance un valor límite. Este valor límite se calcula en función de la máxima carga esperada en la herramienta en condiciones de diseño.

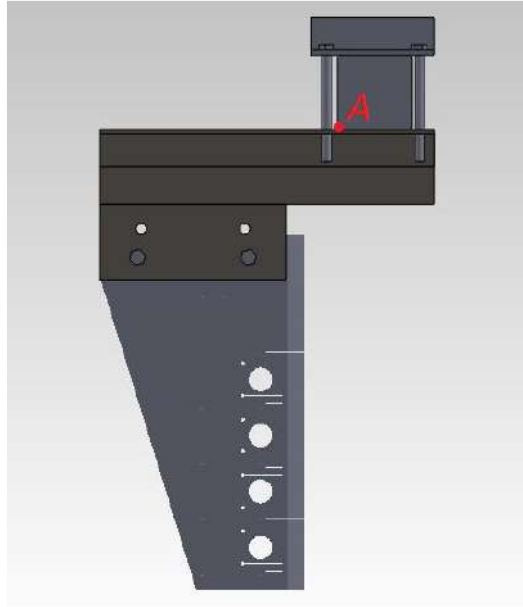


Figura 4.6. Punto "A" pivote del sistema.

A partir de las presiones y las áreas de cada celda, podemos presentar las mismas como fuerzas aplicadas en el centro de las celdas de carga. Al expresarlas como fuerzas aplicadas en un punto, nos serán de utilidad para el desarrollo del cálculo.

Las fuerzas y las distancias en *mm* involucradas para el cálculo se representan en la figura 4.7 mostrada a continuación:

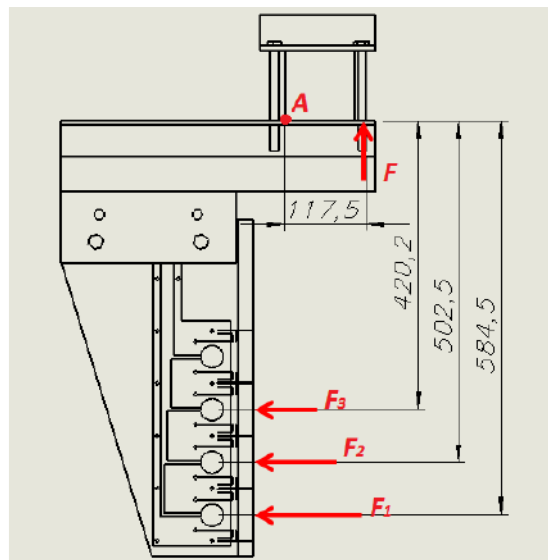


Figura 4.7. Fuerzas involucradas.

Haciendo sumatoria de momentos con respecto al punto en consideración, tenemos que:

$$\sum M_A = 0 \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Entonces,

$$F \cdot d_{FA} = F_1 \cdot d_{F_1A} + F_2 \cdot d_{F_2A} + F_3 \cdot d_{F_3A} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Donde d_{F_iA} es la distancia en la dirección transversal de la fuerza aplicada al punto en consideración.

Reemplazando los datos en la ecuación 4.2, obtenemos:

$$F \cdot 117,5 = 836,7 \cdot 584,85 + 627,5 \cdot 502,5 + 418,3 \cdot 420,15 \quad \Rightarrow \quad F = 8343,9 \text{ kg}$$

Ahora bien, como el sistema de sujeción tiene dos bulones que serán los sometidos a tracción, y por lo tanto los que recibirán el esfuerzo, la fuerza máxima que podrá recibir cada uno de ellos será de 4171,95 kg.

Para ensamblar el sistema de sujeción se utilizan bulones comerciales grado 8.8. Estos bulones tienen una tensión de rotura de 840 MPa [5]. Teniendo en cuenta el valor de la tensión de rotura y el valor de la fuerza máxima que tienen que soportar los tornillos, es posible determinar el área del mismo mediante la ecuación 4.3. Vale aclarar que por errores de dispersión y por seguridad, para el cálculo se utilizó un coeficiente de seguridad $C_S=1,1$ a la tensión de rotura.

$$\sigma_{Rot} \cdot C_S = \frac{F_{Máx}}{A_{Máx}} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

$$A_{Máx} = 45,42 \text{ [mm]} \quad \Rightarrow \quad d_{Máx} = 7,4 \text{ [mm]}$$

Una vez dimensionado el diámetro que funcionará como fusible mecánico, se procede a efectuar una reducción en la sección de los tornillos para llegar a la medida de cálculo y también contribuir a la concentración de tensiones en el lugar en consideración.

En la figura 4.8 se presentan los tornillos utilizados en la experiencia, con la reducción en la sección efectuada.



Figura 4.8. Tornillos fusibles mecánicos

4.2 PRUEBAS A CAMPO

Se realizaron dos experiencias en un establecimiento rural de la localidad de Embajador Martini, provincia de La Pampa. En la primera experiencia a campo se realizó la puesta a punto de la herramienta, verificando que el montaje en el cincel sea el programado, que el sistema de adquisición de datos funcione correctamente y que no surjan inconvenientes cuando se solicite la presencia del personal del INTA.

La segunda experiencia fue realizada junto al personal del INTA Anguil, quienes fueron los encargados de caracterizar el terreno y tomar medidas de compactación a través del método tradicional para cotejar posteriormente, con los valores obtenidos con la cuchilla.

4.2.1 EXPERIENCIA N°1

En la primera incursión al campo se realizó el acondicionamiento de la maquinaria agrícola mencionada al principio del presente capítulo, a la cual se le retiraron las púas que se indican en la figura 4.1.

Con la cuchilla montada sobre el cincel se ejecutaron las primeras pruebas en el campo. Previo a esto se realizó una excavación en el terreno, con el objetivo de conocer la profundidad a la cual se encuentra la tosca y no provocar ninguna rotura en los componentes del equipo.



Figura 4.9. Primera medición con la cuchilla.

En esta experiencia se determinó que la herramienta debería estar en una ubicación inferior, debido a que no lograba ingresar al terreno hasta la profundidad pretendida aunque el sistema hidráulico estaba accionado hasta su máxima capacidad. Por este motivo se plantea que es necesaria la incorporación de extensiones en el soporte de la cuchilla.

Las mediciones que se tomaron en esta prueba fueron las siguientes.

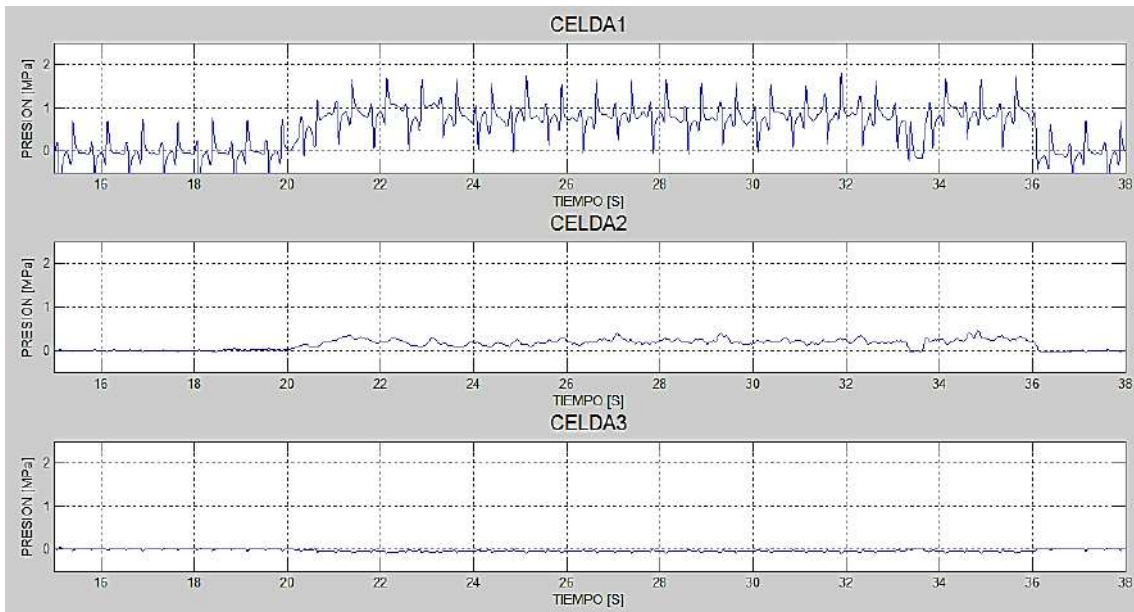


Figura 4.10. Datos de la primera medición.

Es posible observar en las mediciones realizadas, que la celda 1 presenta un ruido invariante en el tiempo, la celda 2 efectuó mediciones de compactación, y la celda 3, no realizó ninguna medición.

Analizando el mecanismo se determinó posteriormente que el problema de la celda 1 estaba asociado con el deterioro de uno de las conexiones del puente de Wheatstone, lo que introducía gran cantidad de ruido a la medición. Esto pudo originarse por las vibraciones y movimientos bruscos propios de la actividad realizada. Para la celda 3 el problema se encontraba en que uno de los conectores de esta celda de carga se había desoldado. Este problema también pudo originarse por los motivos antes mencionados.

Estos inconvenientes sugirieron reforzar los sistemas de conectores y conexiones en las celdas de carga.

Por otro lado la medición registrada por la celda 2, entregó buenas conclusiones que se detallan a continuación.

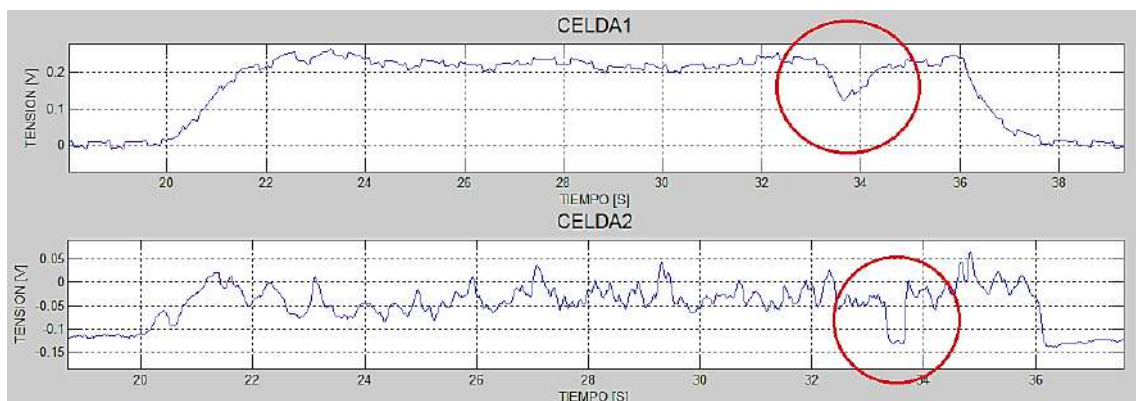


Figura 4.11. Datos de celda 1 y celda 2.

En la figura 4.11 se observa en la parte señalada con un círculo rojo, que las mediciones toman valores de presión igual a cero. En la celda 1 no se aprecia con claridad debido a que para intentar eliminar los efectos del ruido se le aplicaron filtros pasa-bajos que provocaron la pérdida de datos. Esto sucedió cuando la cuchilla atravesó la excavación antes realizada para conocer la profundidad de la tosca (figura 4.12). Esta evidencia demuestra la gran sensibilidad que tiene el sistema de adquisición de datos.



Figura 4.12. Orificio para verificar profundidad de la tosca.

Como resultado de la experiencia N°1 surgieron las siguientes mejoras: a las celdas que presentaron problemas de mediciones se le acondicionaron los circuitos y reforzaron las conexiones con un pegamento tipo Fastix, que absorba parte de las vibraciones que se generan en la interacción suelo-cuchilla. El sistema de conexiones entre la cuchilla y los acondicionadores estaba dado por tres conectores y en uno de ellos se produjo una de las averías, de modo que se remplazaron por un único conector que agrupe todas las conexiones de las celdas y le aporte mayor rigidez. Se realizaron cuatro extensiones para poder ubicar la cuchilla en una posición inferior, y de esta manera mejorar la penetración en el suelo. Por último se le incorporó un Router (figura 4.13) para establecer una conexión inalámbrica entre la PC y el Cubo, utilizando una red WIFI y lograr una conexión sin la necesidad de un medio físico (Cable Eternet).



Figura 4.13. Incorporación de router.

4.2.2 EXPERIENCIA N°2

En conjunto con los representantes del INTA Anguil se realizó una inspección ocular para determinar los lugares en donde se realizarían las pruebas. Se identificó un lote con pastos naturales que poseía una zona de bajo y otra zona de loma. Las mediciones se programaron primero en la zona del bajo (A), de la cual se estimaba menor compactación de la tierra debido a la humedad que a simple vista se apreciaba. En segundo lugar en la loma, que acusaba condiciones de humedad diferentes (B). Sobre la loma a su vez se programaron dos tipos de mediciones, la primera sobre la misma elevación con respecto al bajo (B1) y la segunda sobre la pendiente de la misma (B2). Por último una tercera zona ubicada en la parte baja del lote pero en un sector muy pisoteado por los vacunos (C).

Se realizaron un total de 8 mediciones en diferentes sectores del lote que fue seleccionado para los ensayos. Se analizó cada sector donde se introdujo la cuchilla con el penetrómetro, para analizar si existía algún tipo de relación entre ambas mediciones.

En la figura 4.14 se presentan las zonas en que se realizaron las mediciones, indicando el punto de partida y llegada con referencias GPS dentro del lote seleccionado.

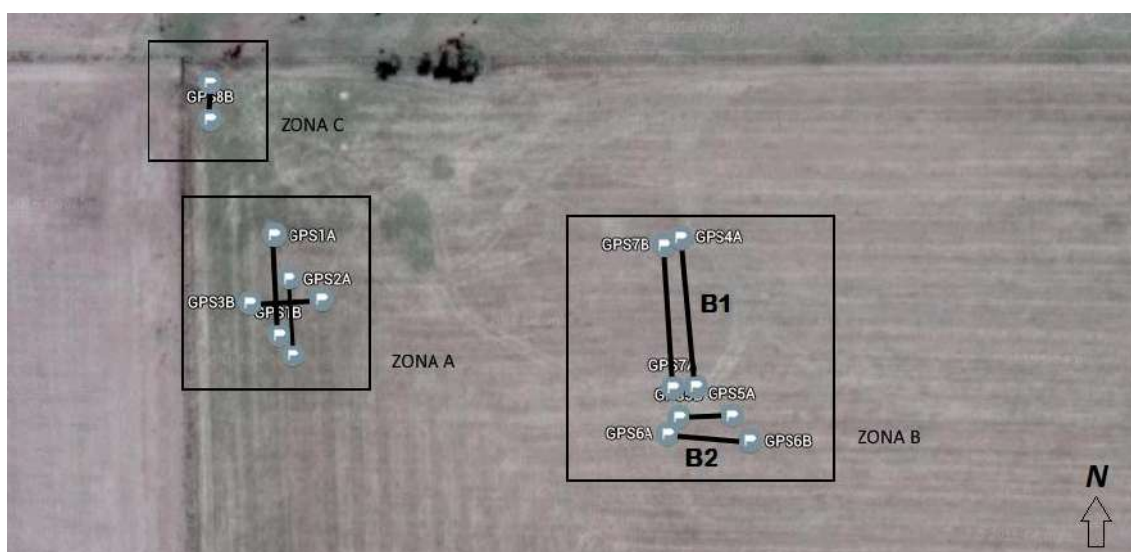


Figura 4.14. Distribución de zonas en lote.

En la siguiente tabla se detallan los puntos de partida y llegada de cada recorrido, referenciado según coordenadas GPS. También la distancia del recorrido, el tiempo del mismo y la velocidad de avance del tractor.

	PUNTO A		PUNTO B		DISTANCIA [m]	TIEMPO [s]	VELOCIDAD [km/h]
	LATITUD	LONGITUD	LATITUD	LONGITUD			
MEDICIÓN N°1	-35,4268798	-64,2723641	-35,4270972	-64,2723503	43	Nn	-
MEDICIÓN N°2	-35,4269736	-64,2723229	-35,4271430	-64,2723137	35	22,5	5,6
MEDICIÓN N°3	-35,4270194	-64,2722353	-35,4270286	-64,2724282	30	27,5	3,9
MEDICIÓN N°4	-35,4268844	-64,2712609	-35,4272117	-64,2712197	65	57,5	4,1
MEDICIÓN N°5	-35,4272757	-64,2711236	-35,4272803	-64,2712655	17	20,5	3,0
MEDICIÓN N°6	-35,4273169	-64,2712975	-35,4273330	-64,2710732	36	31	4,2
MEDICIÓN N°7	-35,4272162	-64,2712838	-35,4269004	-64,2713067	60	57,5	3,8
MEDICIÓN N°8	-35,4265410	-64,2725380	-35,4266234	-64,2725380	13	16	2,9

Tabla 4.1. Datos de la experiencia.

A continuación en la figura 4.15 se presenta el equipo ensamblado en el bastidor del cincel. En el círculo amarillo se observa el conector que se utilizó para sustituir los que tuvieron roturas y en el círculo rojo se observan las extensiones realizadas para lograr mayor penetración de la cuchilla en el suelo. Estas son parte de las mejoras que surgieron de la experiencia N°1.



Figura 4.15. Montaje de cuchilla y sistema de adquisición de datos.

En la primera medición se introdujo la cuchilla en la zona de ensayo A perteneciente a bajo en la figura 4.14. Los datos obtenidos por el sistema de adquisición de datos se presentan a continuación.

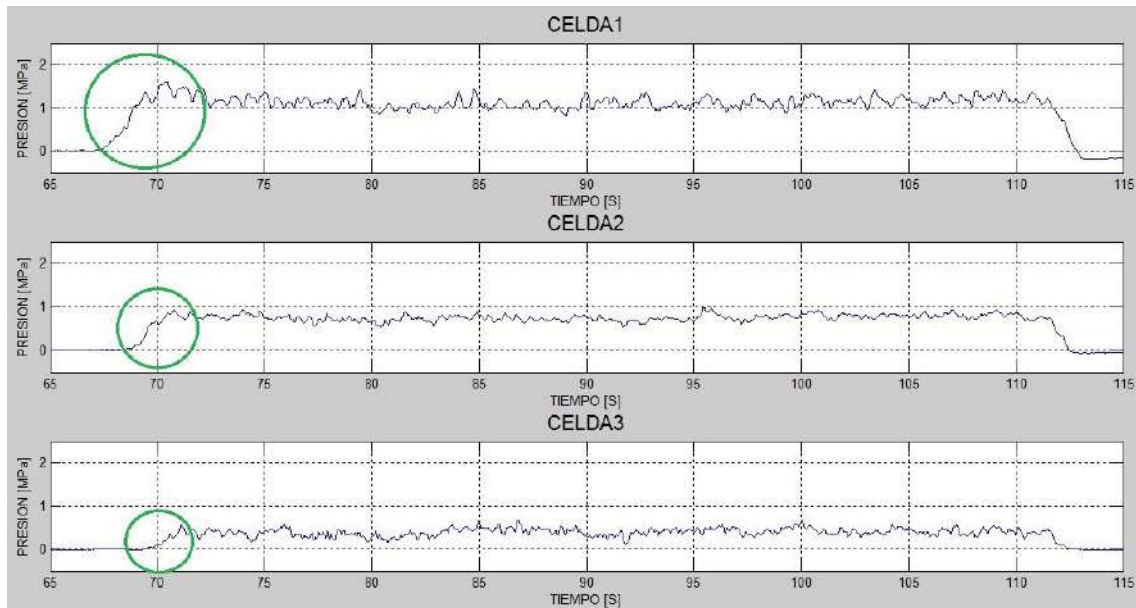


Figura 4.16. Presiones medición N°1.

En la figura 4.16 se observa que las mediciones comienzan a leerse en la celda 1, seguido por la celda 2 y por último, comienza a tener lecturas la celda 3. Esto se debe a la velocidad de penetración de la cuchilla, en el momento de sumergirse al seno del suelo, la primera es la celda 1 y la última es la celda 3. También se observa que a mayor profundidad se acusa el mayor esfuerzo y que sobre la superficie los valores son los menores; además los valores presión medidos presentan gran variabilidad. Esta variación en los datos de presión, puede estar relacionada con la vibración producida por las púas del cincel al desplazarse por el terreno.

La segunda medición se llevó a cabo en la misma zona A perteneciente al bajo y los valores de presiones medidos son similares a los de la anterior lectura, como se muestra en la figura 4.17.

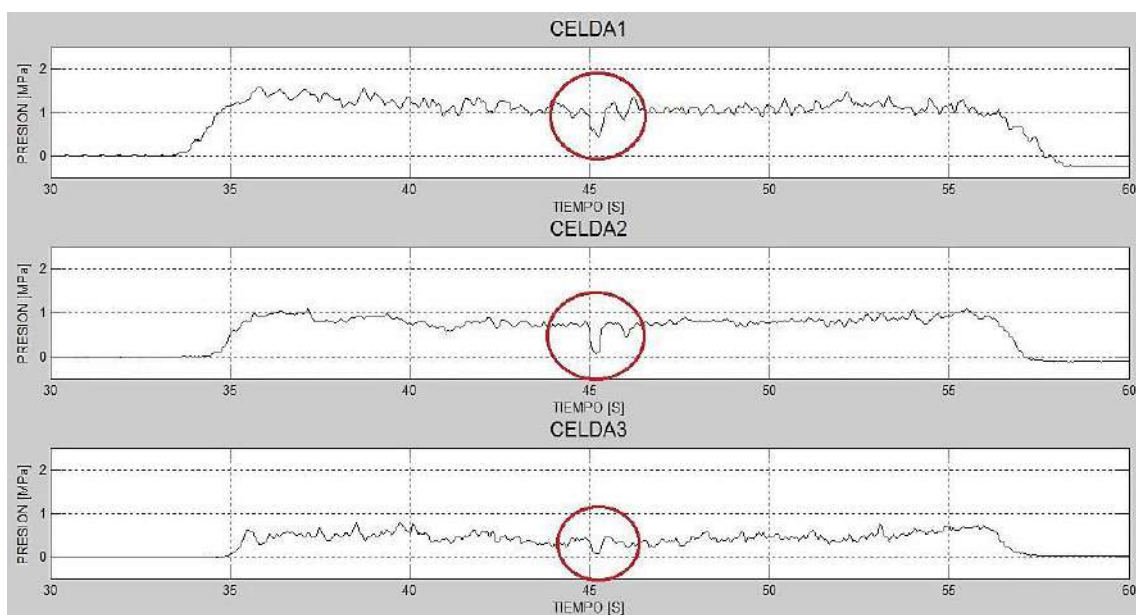


Figura 4.17. Presiones medición N°2.

En esta figura se observa un descenso en la presión medida de manera abrupta, como se indica con círculos rojos.

Al investigar el lugar en donde se podría haber generado este tipo de evento nos encontramos con una cueva de peludos, lo que muestra la sensibilidad del sistema de adquisición de datos como en la medición de la experiencia N°1.

La siguiente medición (figura 4.18) también se realizó en la zona A perteneciente al bajo, pero con la diferencia de que la dirección de ataque esta vez fue Este-Oeste, atravesando de manera perpendicular las anteriores pasadas.

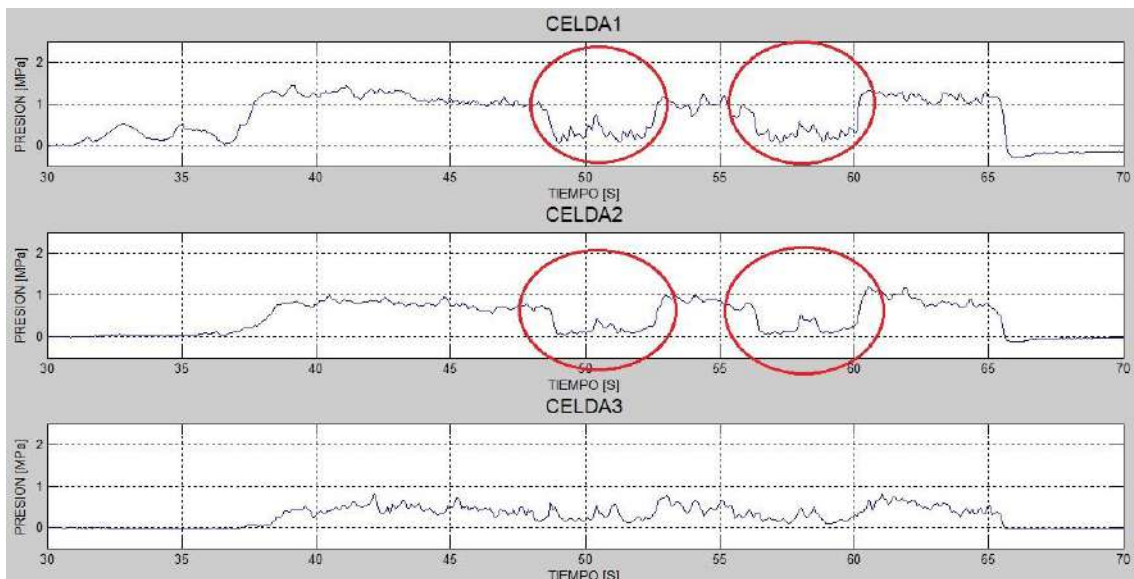


Figura 4.18. Presiones medición N°3.

Lo que se observa en los círculos rojos en la figura 4.18 son las mediciones correspondientes al sector donde se habían hecho las anteriores pasadas. La cuchilla midió menor compactación en donde los arcos del cincel rompieron el lote, donde resulta apreciable el efecto que tiene el cincel sobre la reducción de la compactación del suelo.

Haciendo énfasis a la medición anterior es posible analizar otra particularidad que se marca con círculos verdes en la figura 4.19.

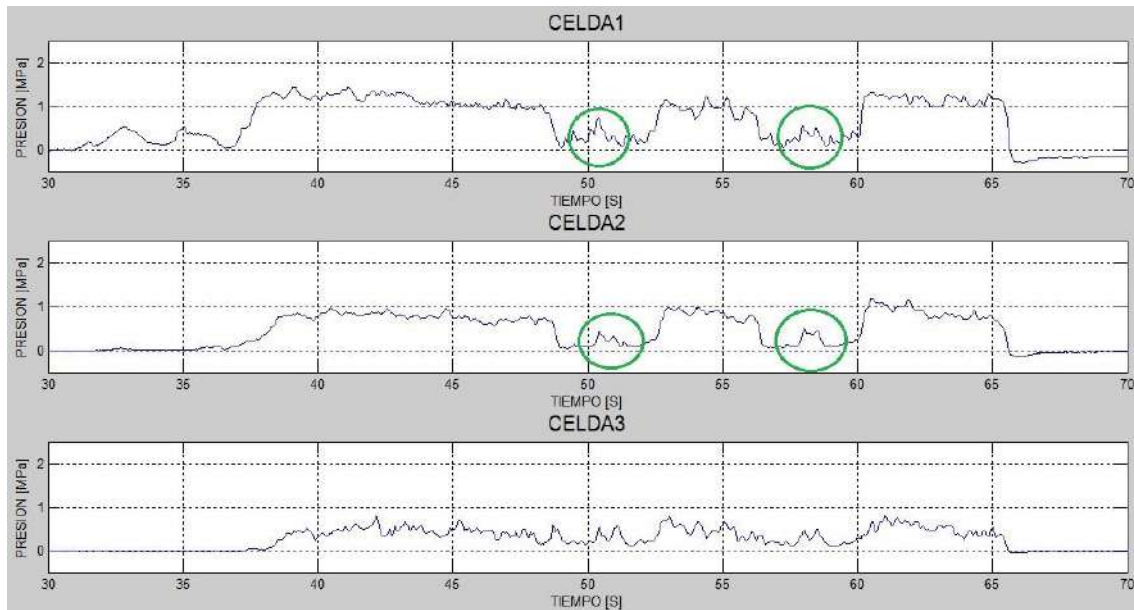


Figura 4.19. Presiones medición N°3.

Lo que se observa en los círculos verdes en la figura 4.19, corresponde a la zona en que pasó anteriormente la cuchilla y no rompió el suelo de la misma manera que lo hicieron las púas a su alrededor. Esto se debe a que en la experiencia N°1 se retiraron tres púas centrales del cincel. Nuevamente comprobamos la sensibilidad en las mediciones de la cuchilla.

4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

Las mediciones realizadas con la cuchilla y las mediciones que realizó el personal del INTA sobre las áreas seleccionadas del lote, se analizaron mediante el cálculo de la media aritmética y desvío estándar, con el fin de encontrar valores que caractericen las zonas en donde se hicieron las mismas.

A continuación, se presentan los resultados por zonas de las mediciones hechas con la cuchilla y las mediciones hechas con el penetrómetro.

4.3.1 DATOS GENERADOS CON EL PENETRÓMETRO

Los siguientes datos fueron aportados por el personal del INTA que se trasladó junto con el equipo de la Facultad de Ingeniería hasta el establecimiento rural. Estos valores corresponden a las mediciones de compactación efectuadas a diferentes profundidades de la superficie y a las diferentes muestras realizadas a lo largo de las zonas seleccionadas. En este caso en particular, tabla 4.2, se tomaron diez muestras de compactación, de las cuales cada una toma valores cada 5 *cm* de profundidad hasta llegar a los 40 *cm*. A los datos aportados se le realizó el cálculo de la media aritmética y el desvío estándar para caracterizar los valores de una zona determinada.

DATOS “ZONA A” (BAJO)

		PRESIONES [MPa]												
		MUESTRAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MEDIA	DESVIÓ
PROFUNDIDAD [cm]	5	1,1	0,99	0,99	0,99	0,88	0,77	0,77	0,55	0,66	0,66	0,84	0,18	
	10	0,77	0,88	0,88	0,99	0,77	0,66	0,77	0,66	0,77	0,55	0,77	0,13	
	15	0,77	0,66	0,55	0,88	0,77	0,66	0,88	0,55	0,88	0,66	0,73	0,13	
	20	0,77	0,55	0,55	0,99	0,99	0,99	0,99	0,66	0,55	1,1	0,81	0,22	
	25	0,77	0,88	0,66	0,99	1,21	0,99	1,32	0,77	0,88	1,43	0,99	0,25	
	30	0,66	0,99	0,77	0,77	0,99	0,88	0,99	0,77	0,88	1,1	0,88	0,14	
	35	0,66	0,77	0,66	0,77	0,88	0,77	0,88	0,77	0,55	1,54	0,83	0,27	
	40	0,55	0,88	0,55	0,88	0,77	0,66	0,77	0,44	0,33	0,88	0,67	0,20	

Tabla 4.2. Datos zona A.

De la misma manera que se presentaron los datos de la tabla 4.2, se obtuvieron datos de todas las zonas seleccionadas para los ensayos. Con los valores de las medias calculadas de todas las muestras que caracterizan una zona y los valores de profundidad de cada medición, se exponen las mediciones de presión vs la profundidad.

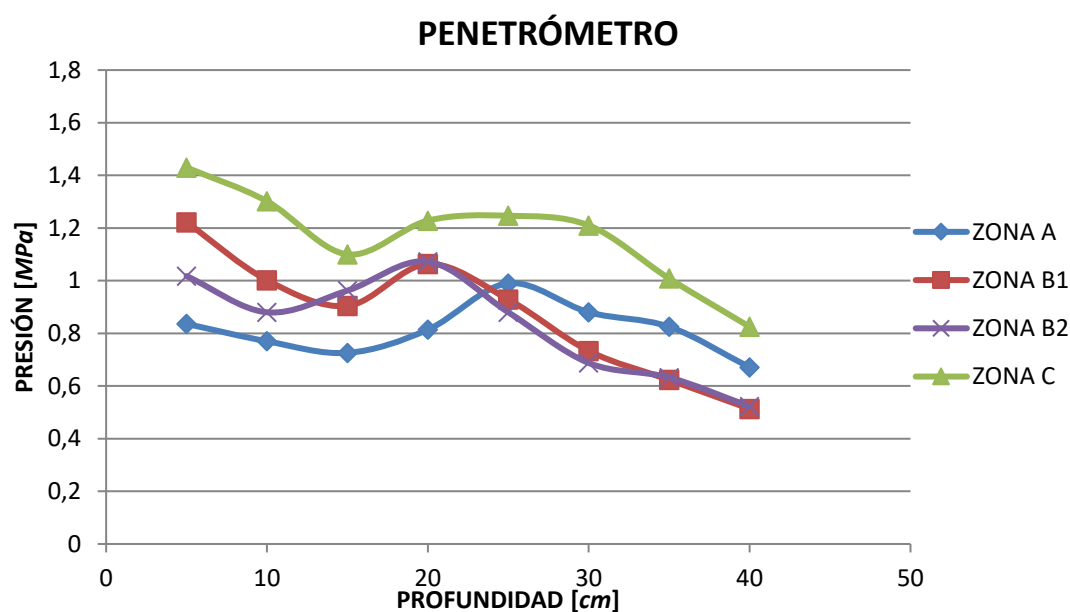


Figura 4.20. Datos del penetrómetro.

En la figura 4.20 se observa como las zonas consideradas presentan diferentes grados de compactación en la parte superficial. Las mediciones en la zona de la loma (B1 y B2) presentaron valores muy similares en el subsuelo pero no así en la superficie; vale aclarar, que la zona B1 pertenece a un sector invariante de la loma, mientras que la zona B2 pertenece a la pendiente de la misma. También se observa un aumento de la compactación en la profundidad comprendida entre los 20 y 25 cm, tal comportamiento es similar en todas las mediciones, esto hace suponer que se debe a lo que se conoce como piso de arado. El piso de arado es una capa compacta sub-superficial generada por el uso de arados y rastras a la misma profundidad y en forma continuada.

4.3.2 DATOS GENERADOS CON LA CUCHILLA

El análisis de datos para la cuchilla se llevó a cabo agrupando los datos que caracterizaban a la zona en particular en donde se habían hecho las mediciones con el penetrómetro (bajo, loma, etc.) y así elevar el número de muestreo. La cuchilla obtiene 100 muestras por segundo, es decir que en las pasadas realizadas se captaron entre 2000 y 6000 datos, dependiendo de la longitud de cada una de ellas.

En la zona del bajo (A), se concatenaron los datos de las mediciones 1 y 2 y a ese array de valores se le calculó la media aritmética y el desvío estándar. En la zona de la loma (B1) se concatenaron los datos de las mediciones 4 y 7. En la zona de la loma (B2) se concatenaron los valores de las mediciones 5 y 6; finalmente en la zona de bajo (C) solo se calculó sobre los valores generados en la medición 8.

			MEDICIÓN 1- 2		MEDICIÓN 4 - 7		MEDICIÓN 5 – 6		MEDICIÓN 8	
			ZONA A		ZONA B1		ZONA B2		ZONA C	
			MEDIA [MPa]	DESVÍO	MEDIA [MPa]	DESVÍO	MEDIA [MPa]	DESVÍO	MEDIA [MPa]	DESVÍO
PROFUNDIDAD [cm]	6	CELDA 3	0,42	0,11	0,52	0,15	0,5	0,16	0,54	0,16
	14	CELDA 2	0,77	0,1	0,97	0,13	0,97	0,16	1,01	0,16
	22	CELDA 1	1,14	0,15	1,41	0,15	1,55	0,22	1,65	0,21

Tabla 4.3. Datos de la cuchilla.

Las celdas toman la presión promedio de 80 mm correspondientes a la dimensión de su frente. Para establecer la profundidad a la que se tomaron los datos, se consideró que la celda 3 no iba al ras de la superficie sino a 20 mm más abajo. Por este motivo se tomó 60 mm, 140 mm y 220 mm.

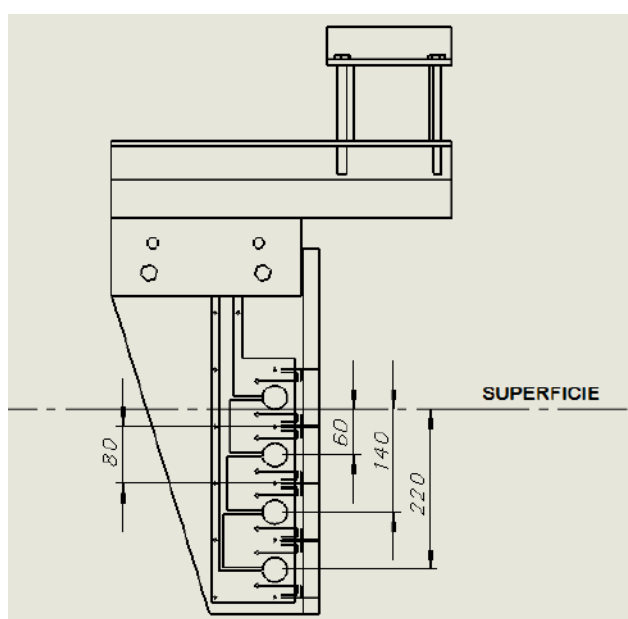


Figura 4.21. Introducción de la herramienta en el suelo.

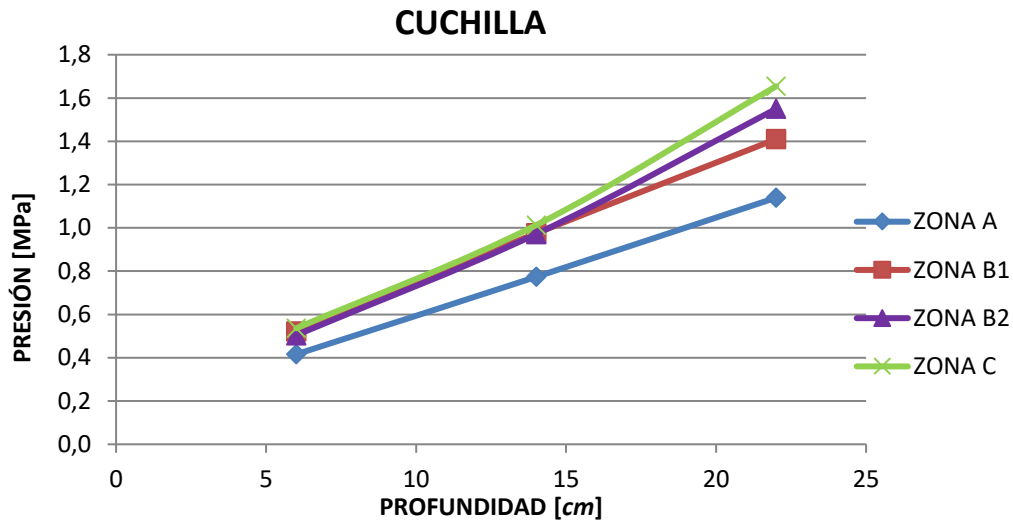


Figura 4.22. Datos de la cuchilla.

Mediante la superposición de valores de las medidas efectuadas, se observa en la figura 4.22 que la zona menos compactada es la del bajo (A) y las más compactada es la zona del bajo (C). Las zonas de la loma (B1 y B2) comparten valores intermedios siendo los de la pendiente de la misma (B2) superiores en la profundidad comprendida entre 15 y 22 cm, algo que también se aprecia en la figura 4.20 que contiene la superposición de datos del penetrómetro. También se observa que las lecturas superficiales son menores que las obtenidas con la celda ubicada a mayor profundidad, comportamiento que tiene la misma tendencia en todas las mediciones.

4.3.3 CUCHILLA VS PENETRÓMETRO

Para poder visualizar mejor la relación entre las mediciones de la cuchilla y el penetrómetro, a continuación en las figuras 4.23 a 4.26 se comparan los resultados de ambos métodos.

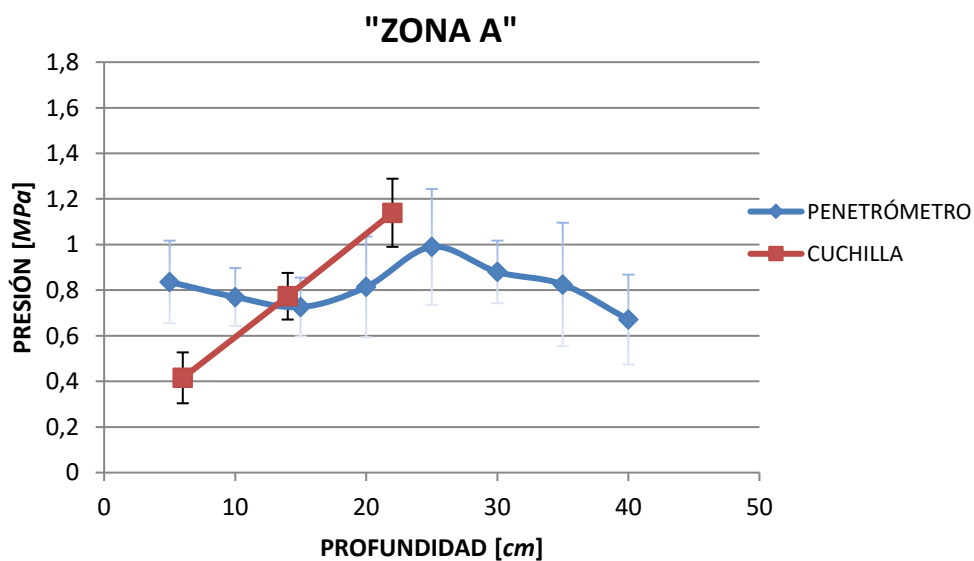


Figura 4.23. Cuchilla Vs Penetrómetro zona A.

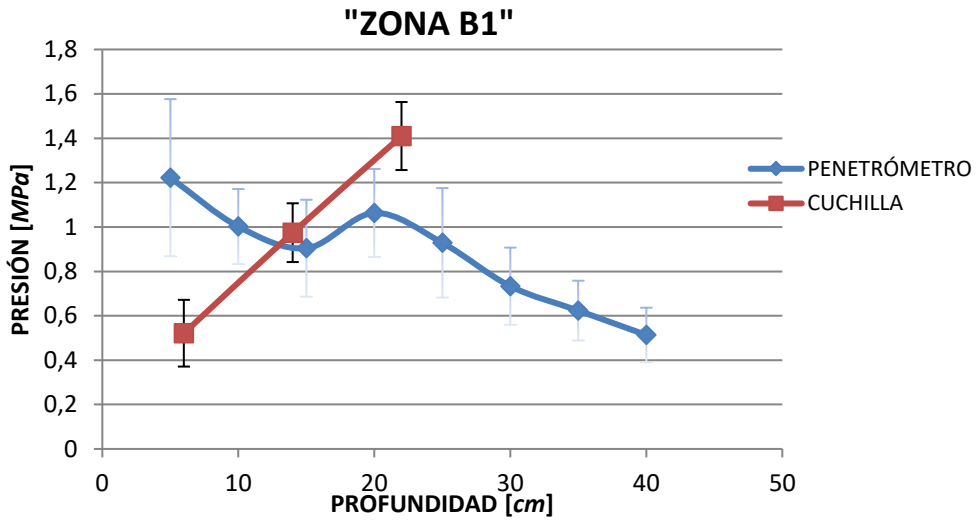


Figura 4.24. Cuchilla Vs Penetrómetro zona B1.

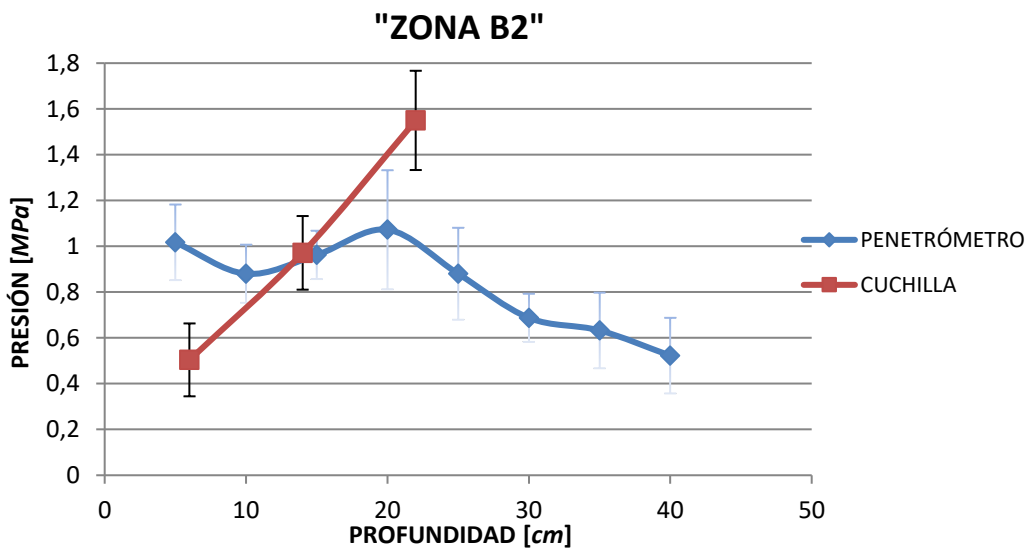


Figura 4.25. Cuchilla Vs Penetrómetro zona B2.

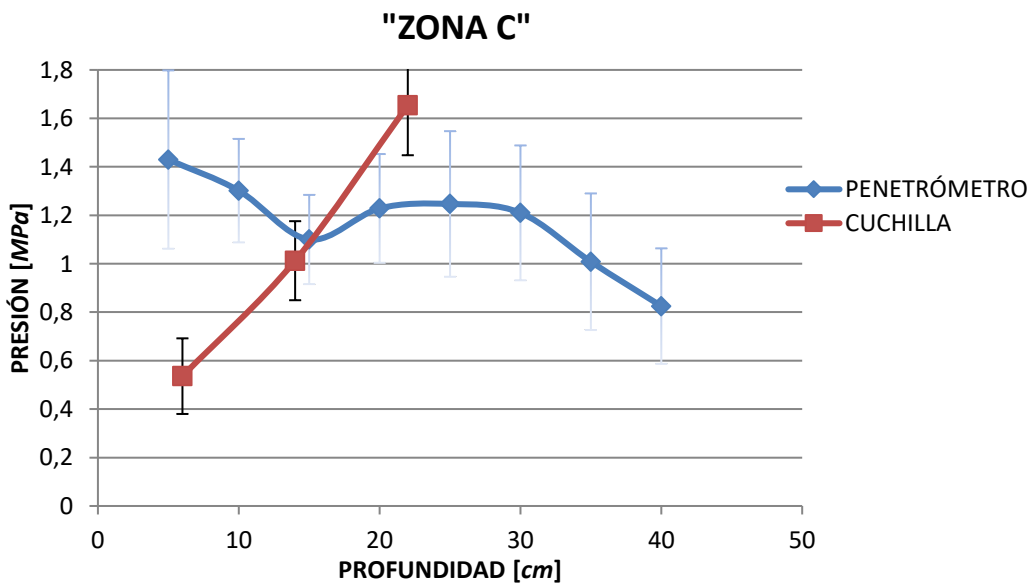


Figura 4.26. Cuchilla Vs Penetrómetro zona C.

Es posible observar que los valores superficiales de presión que se tomaron mediante los dos métodos difieren en gran medida. Esto podría estar relacionado con la manera en que rompen la superficie del suelo ambos métodos.

En las mediciones realizadas con el penetrómetro se registraron valores menores en la zona del bajo (A), seguido por la zona de la loma (B1 y B2) y por último la zona del bajo (C). La misma situación se presentó con la cuchilla donde los valores menores se registraron en la zona del bajo (A) y los valores mayores en la zona del bajo (C). También se observa una tendencia entre los dos tipos de mediciones a profundidades medias, comprendidas entre los 10 y 25 *cm*, correlacionando los datos obtenidos estadísticamente en la zona de sus desvíos.

5 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

5.1 CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta una síntesis del diseño de la herramienta y su instrumentación, los ensayos de calibración y las experiencias a campo realizadas.

Los ensayos de calibración realizados con cargas pequeñas, demostraron que la cuchilla puede medir de manera muy precisa los esfuerzos. Además, las rectas de calibración halladas demostraron la linealidad esperada. En síntesis, se logró confeccionar una matriz de desacople, mediante la utilización de pequeñas cargas, capaz de cancelar el acople en las mediciones de las celdas de cargas independizando las lecturas de las mismas.

Se diseñó el sistema de sujeción, para que falle o se rompa en un punto determinado cuando el esfuerzo sobre la herramienta supere un valor límite de diseño.

Al realizar dos experiencias a campo, se logró mejorar las conexiones de la herramienta, rediseñar el soporte de sujeción entre la cuchilla y el bastidor, para ubicar en una posición inferior a la misma y lograr mayor penetración. También, se instaló un Router que mediante una conexión WIFI hizo posible una conexión inalámbrica entre el sistema de adquisición de datos y la PC, generando más seguridad y fluidez a los ensayos.

En la segunda experiencia a campo, se trabajó con personal del INTA Anguil. Se seleccionaron las zonas en donde se hicieron las pruebas, y posteriormente se tomaron las mediciones con el penetrómetro y la cuchilla. En cuanto a la cuchilla, se comportó de manera esperada y demostró tener buena sensibilidad al momento de efectuar las mediciones. A lo largo de todas las mediciones y pasadas realizadas, los datos fueron concretos y no se produjeron ruidos que alteren la definición de las mismas, como así también, roturas o deterioros en el sistema.

Con respecto a la correlación con el penetrómetro, se obtuvieron buenos resultados. En este sentido hubo una línea de tendencia clara entre los dos tipos de mediciones a profundidades medias comprendidas entre los 14 y 22 *cm*, correlacionando los datos obtenidos estadísticamente en la zona de sus desvíos. Por otro lado las mediciones superficiales arrojaron valores distintos para ambos métodos, esto parecería estar relacionado con los mecanismos de rotura de suelos asociados a cada uno de los métodos.

5.2 TRABAJOS FUTUROS

Las mediciones demostraron gran variabilidad en los datos, es decir que los valores de presión captados presentaron una oscilación en torno a un valor medio. Esto puede ser causado por la herramienta de labranza utilizada, es decir, que parte de la variabilidad puede ser consecuencia de la vibración que genera la resistencia que ofrecen las púas del cincel al avance del tractor. Una posible mejora sería realizando las mediciones sin ningún elemento que altere el avance de la cuchilla.

Sería análisis de trabajos futuros la medición de diferentes tipos de suelos con otras condiciones de humedad, para obtener nuevos valores comparables en ambos métodos. Este tipo de análisis podría encontrar una relación entre los valores de las mediciones superficiales para ambos métodos y así poder establecer una correlación más adecuada. Además se podría probar el sistema de sujeción para corroborar que funciona como fusible mecánico ya que en las experiencias realizadas no se superaron los esfuerzos utilizados en el cálculo del mismo.

6 ANEXO

En este capítulo se detallan los códigos que fueron utilizados en Matlab para la Carga de datos albergados en el Cubo y para el filtrado y posterior muestreo de las señales procesadas en valores de presión.

6.1 CÓDIGO DE “CARGADO DE DATOS”

Para el cargado de los datos desde el cubo a la carpeta Matlab y posteriormente cargarlos en el Workspace, se escriben las siguientes sentencias:

```
%% CARGADO DE DATOS %%

f=ftp('192.168.100.2','root','root');
cd(f,'tmp');
binary(f)

archivo1='CELDA1.mat';
mget(f,archivo1)
load(archivo1)

archivo2='CELDA2.mat';
mget(f,archivo2)
load(archivo2)

archivo3='CELDA3.mat';
mget(f,archivo3)
load(archivo3)

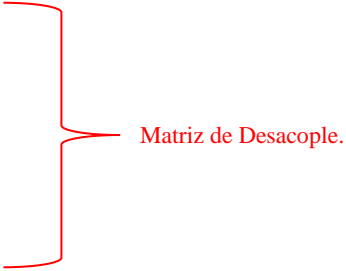
nombre = input('Ingrese nombre de archivo: ','s');
save(nombre);
```

6.2 CÓDIGO DE “MUESTREO DE SEÑALES”

Para el muestreo de las señales, se introdujeron los valores de la Matriz de Presiones. Al afectar los datos medidos por estos valores podemos observar ciertamente que presión es la que se ejerce en cada una de las Celdas. También se utilizan filtros pasa-bajos propios de Matlab para poder apreciar con mayor claridad las señales.

```
%%%%%%%% MUESTREO DE PRESIONES %%%%%%%%%

a1=0.00384;
a12=-0.0000351;
a13=-0.00000283;
a21=-0.000105;
a2=0.00249;
a23=-0.00000606;
a31=-0.000178;
a32=-0.0000629;
a3=0.00165;
A=[a1 a12 a13;a21 a2 a23;a31 a32 a3]
```



```

presioncelda1=a1*1000*CELDA1 + a12*1000*CELDA2 + a13*1000*CELDA3
presioncelda2=a21*1000*CELDA1 + a2*1000*CELDA2 + a23*1000*CELDA3
presioncelda3=a31*1000*CELDA1 + a32*1000*CELDA2 + a3*1000*CELDA3

presioncelda1_0=presioncelda1-mean(presioncelda1(2,1000));
presioncelda2_0=presioncelda2-mean(presioncelda2(2,1000));
presioncelda3_0=presioncelda3-mean(presioncelda3(2,1000));

%%%%%%%%%%%%%% CELDA 1 %%%%%%%%%%%%%%%
tm=0.001; %Tiempo de Muestreo.
fm=1/tm; %Frecuencia de Muestreo.
subplot(3,1,1)
[a,b]=butter(1,50/(fm/2),'low'); %Filtro pasa-bajos con fc=50Hz.
x1=presioncelda1_0(2,:); %Datos de Presiones.
y1=filter(a,b,x1); %Datos de Presiones Filtrados.
t1=CELDA1(1,:); %Datos de Tiempo.
plot(t1,y1),grid;
ylim([-0.5,2.5]);
title('CELDA1','FontSize',15)
ylabel('PRESION [MPa]')
xlabel('TIEMPO [S]')

%%%%%%%%%%%%%% CELDA 2 %%%%%%%%%%%%%%%
tm2=0.001;
fm2=1/tm2;
subplot(3,1,1)
[a2,b2]=butter(1,50/(fm2/2),'low');
subplot(3,1,2)
x2=presioncelda2_0(2,:);
y2=filter(a2,b2,x2);
t2=CELDA2(1,:);
y22=y2;
plot(t2,y22),grid;
ylim([-0.5,2.5]);
title('CELDA2','FontSize',15);
ylabel('PRESION [MPa]')
xlabel('TIEMPO [S]')

%%%%%%%%%%%%%% CELDA 3 %%%%%%%%%%%%%%%
tm3=0.001;
fm3=1/tm3;
subplot(3,1,1)
[a3,b3]=butter(1,50/(fm3/2),'low');
subplot(3,1,3)
x3=presioncelda3_0(2,:);
y3=filter(a3,b3,x3);
t3=CELDA3(1,:);
y33=y3;
plot(t3,y33),grid;
ylim([-0.5,2.5]);
title('CELDA3','FontSize',15);
ylabel('PRESION [MPa]')
xlabel('TIEMPO [S]')

```

7 BIBLIOGRAFÍA

[1] Diseño Preliminar de un Dispositivo para Estimar la Compactación de Suelos Agrícolas – MASCH, Federico, FLORES, Gustavo M., REMIREZ, Pablo, HECKER, Rogelio L. (2013).

[2] Ensamble y Puesta en Marcha de un Transductor de Resistencia Mecánica para el Labrado de Suelos Agrícolas – DONAIRE, Cristian J. (2014).

[3] Instrumentación de un Transductor de Compactación de Suelos Agrícolas – MONTES, Diego S. (2013).

[4] http://noeliagonzaleztecnologia.files.wordpress.com/2010/04/puente_de.pdf

[5] Machine Design An Integrated Approach, Second Edition – NORTON, Robert L. ISBN: 0-13-017706-7. (2000).