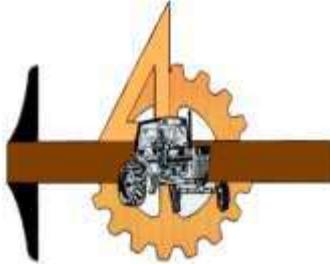


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”



DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA



**DISEÑO DE UN EQUIPO PARA LA MEDICIÓN DEL TAMAÑO DE
AGREGADOS DEL SUELO**

POR:

JUAN CARLOS RODRIGUEZ NUÑEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA

OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO.

OCTUBRE, 2012.

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
DIVISION DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRICOLA

DISEÑO DE UN EQUIPO PARA LA MEDICIÓN DEL TAMAÑO DE AGREGADOS
DEL SUELO

POR:

Juan Carlos Rodríguez Núñez

TESIS

Que somete a consideración del H. jurado. Examinador como requisito parcial
para obtener el título de:

INGENIERO MECANICO AGRICOLA

Aprobado por el Comité de Tesis

Asesor principal

Dr. Santos Gabriel Campos Magaña

Sinodal

Dr. Martin Cadena Zapata

Sinodal

Dr. Jesús R. Valenzuela García

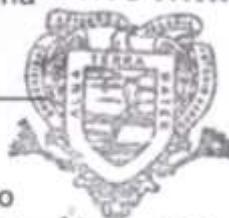
Coordinador de la división de ingeniería

MC. Luis Rodríguez Gutiérrez

Buenavista, Saltillo, Coahuila México

Octubre, 2012.

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



Coordinación de
Ingeniería

AGRADECIMIENTOS

Principalmente le doy gracias **A DIOS** por haberme dado la vida y por darme unos padres tan maravillosos, pero sobre todo esta gran oportunidad de salir y seguir adelante, por cuidarme siempre en mi camino, por haberme dado fuerzas manteniéndome bien durante todo este tiempo de carrera y hasta hoy en día, GRACIAS DIOS.

A la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO (UAAAN) gracias por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de salir adelante y terminar mi educación superior, gracias alma mater, siempre te recordare y te llevare en mente siempre...

Al DR. SANTOS GABRIEL CAMPOS MAGAÑA, por haberme brindado su confianza, por el gran apoyo que ejerció en mi, dedicación en el tiempo transcurrido para este proyecto y por su excelente conocimiento en el programa de Ingeniero Mecánico Agrícola.

A los maestros del departamento de Maquinaria Agrícola, en especial a D.R. Martin Cadena Zapata, M.C. Héctor Uriel Serna Fernández, M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández, M.C. Juan Arredondo Valdez, D.R. Jesús Rodolfo Valenzuela García, Ing. Rosendo González Garza, Ing. Tomas Gaytán Muñoz, ing. Jorge Alberto Flores Berrueto, M.C. Blanca Elizabeth de la Peña Casas y todos los maestros que me transmitieron parte de sus conocimientos durante mi carrera a todos ellos les doy muchas gracias.

DEDICATORIA

A Dios por ser mi fuerza y la fuente que me otorga todo lo necesario para salir adelante, por iluminarme el camino transcurrido en mi carrera y principalmente en mi vida y nunca abandonarme. A ti señor, gracias.

Este trabajo realizado durante mi carrera es producto de un gran sacrificio y esfuerzo de mi familia, especialmente de mi papá y mamá, GRACIAS.

A mis padres:

Sr. Alfonso Rodríguez Montesinos

Sra. Bersabe Núñez Ramos

Por haberme brindado su apoyo y confianza en esta etapa de mi vida, por sus buenos consejos, por querer siempre lo mejor para nosotros, por su trabajo, por estar siempre conmigo, gracias papa por confiar en mí, por enseñarme a vivir y salir adelante; a mi mamá de igual manera, gracias por todo lo que hacen por mí, por querernos tanto. Por todo el amor y cariño que nos han brindado día a día gracias papas, solo le pido a Dios que los mantenga bien por siempre.

A mis hermanos (a):

Beatriz Adriana Rodríguez Núñez

Andrés Gustavo Rodríguez Núñez

José Rodríguez Núñez (†)

Jesús Rodríguez Núñez (†)

Les agradezco a ellos por el apoyo y cariño que me brindaron, por acordarse siempre de mi, ustedes siempre estarán en mi corazón, que Dios este con ustedes siempre.

A mi tío José Rodríguez Montesinos (†), por sus consejos, gracias de todo corazón te recordaré siempre.

A mis abuelos paternos y maternos; gracias por haber compartido sus experiencias y principalmente el cariño brindado.

Alfonso Rodríguez Sánchez (†) y Elvia Montesinos Espinoza.

Beltrán Núñez Figueroa (†) e Inés Ramos Rodríguez.

A Magda:

Gracias por el apoyo incondicional durante todo este tiempo, por tu comprensión y la paciencia que me has brindado, le pido a Dios que te bendiga siempre.

A mis amigos:

Juan Antonio, Jesús, Joel, Víctor Hugo, Alexander, por haberme brindado sus amistad y apoyo en la estancia de mi carrera.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
RESUMEN.....	vi
Palabras clave: sensor de anillo, tamices, tamaño de agregados.	vi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	4
1.2. PROPÓSITO DEL PROYECTO	6
1.3. OBJETIVO GENERAL.....	6
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
1.5. HIPÓTESIS.....	6
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
2.1. SISTEMAS DE LABRANZA VERTICAL.....	7
2.2. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS	9
2.3. TAMAÑO DE AGREGADOS.....	13
2.4. DISEÑO DE TRANSDUCTORES.....	16
2.4.1. ELEMENTOS.....	16
2.4.2. CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL	17
2.5. PUENTE DE WHEATSTONE	18
2.6. GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS	19
2.7. ADQUISICIÓN DE DATOS	23
2.7.1. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	23
2.7.2. DAB BOOK200/2000.....	24
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1. METODOLOGÍA.....	27
3.1.2. DESARROLLO DEL EQUIPO	27
3.2. CONSIDERACIONES DEL DISEÑO DEL SENSOR	28
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1. CARACTERIZACIÓN DEL SENSOR DE RING.....	30
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	33
VI. BIBLIOGRAFÍA	34
VII. ANEXOS	37

ANEXO A.....	37
ANEXO B.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1. Medición del tamaño medio de agregados (a y b).....	15
Figura 2. 2. Esquema de un puente de Wheatstone equilibrado.....	18
Figura 2. 3. Definición de deformación unitaria.	19
Figura 2. 4. Strain gage metálico.	21
Figura 2. 5. Longitud de un strain gage.	22
Figura 2. 6. Distribución del esfuerzo sobre un strain gage.	22
Figura 2. 8. Dispositivo de adquisición de datos DAQ BOOK200.	24
Figura 2. 7. Sistema de adquisición de datos.	23
Figura 3. 1. Materiales y equipo.....	26
Figura 4. 1. Equipo de separación de agregados del suelo.	29
Figura 4. 2. Sensor de resistencia a la penetración y cableado del sensor del ring.....	30
Figura 4. 3. Calibración del sensor (a y b).	31
Figura 4. 5. Ecuación de respuesta de la fuerza, aplicada del sensor del ring con una capacidad de 10 KN.....	32
Figura 4. 4. Calibración de fuerzas del sensor ring con una capacidad de 10 kN. a diferentes fuerzas.	32

ÍNDICE DE CUADRO

Cuadro 2. 2. Tamaño, propiedad y función de los poros del suelo.	12
Cuadro 4. 1. Listado de componentes del equipo de selección del tamaño de agregados del suelo.....	29

RESUMEN

La presente propuesta tiene como propósito diseñar un equipo acoplado a los tres puntos de enganche del tractor, que permita realizar la separación de agregados producto de la labranza primaria. Este equipo permitirá clasificar los agregados en 7 distintos tamaños, así como realizar el pesado de los mismos. El equipo estará integrado por un bastidor donde serán colocados 5 distintos tamaños de tamices, 4 sensores del tipo de ring. Incluirá un mecanismo de oscilación que permita realizar la separación de los agregados por tamaños.

Se evaluó el comportamiento de un sensor de anillo con capacidad de 10 kN, encontrando lo siguiente:

El sensor ring integrado que fue evaluado bajo condiciones de laboratorio mostró alta sensibilidad en la medición de fuerzas de 1.462 mv/N, con un coeficiente de correlación de 99.7%, lo cual se puede apreciar en la grafica 4.5 que representa la regresión lineal.

Palabras clave: sensor de anillo, tamices, tamaño de agregados.

I.INTRODUCCIÓN

La demanda, cada vez mayor, de alimentos para la población ha conducido a la explotación intensiva de las tierras agrícolas; generalmente basada en la mecanización con tractores y arados inadecuados para una u otra condición de suelo. Lo que ha generado un agudo proceso de degradación, manifiesto en las pérdida de nutrientes y suelo, originado por el golpeteo de las gotas de lluvia y la escorrentía, causa fundamental de la pérdida de la capacidad productiva de los suelos cultivados (Pacheco, 2000).

La labranza primaria adquiere importancia en la preparación del suelo debido a que la remoción es alta y que esta labor afecta en gran medida sus propiedades físicas y directa e indirectamente las propiedades químicas y biológicas. Los cambios promovidos por la labranza deben favorecer la producción de los cultivos y mantener la calidad física del suelo, pero debido al uso inadecuado de los implementos de labranza se provoca la erosión y degradación física de éste. La degradación física del suelo puede ser definida como la pérdida de la calidad de la estructura del suelo FAO (2003).

Esa degradación estructural puede ser observada tanto en la superficie con el surgimiento de finas costras, por debajo de la capa arada, donde surgen capas compactadas. Con esa degradación Cabeda (1984) menciona que las tasas de infiltración de agua en el suelo se reducen, mientras las tasas de escorrentía y de erosión aumentan.

Kepner *et al.* (1978) describe que las reacciones de los suelos debido a fuerzas aplicadas por implementos de labranzas son afectadas por la resistencia del suelo a compresión, la resistencia al corte, adhesión (fuerzas atractivas entre el suelo y algún otro material), y la resistencia a la fricción. Estas son todas las propiedades dinámicas que se hacen de manifiesto solamente a través del movimiento del suelo.

El laboreo mecánico del suelo, en cualquiera de sus formas, no siempre funciona como se espera (Conant et al., 2007). Su aplicación excesiva puede provocar deformaciones de la estructura, compactación de las capas subsuperficiales, y cambios en la disponibilidad de humedad en la zona radicular de las plantas cultivadas (González et al 2004a, b); además, se alteran procesos relacionados con los ciclos del carbono, C, lo que trae como consecuencia una disminución en el poder de agregación y en la respiración del suelo, con una mayor susceptibilidad a la erosión (Udawatta et al 2008a, b; Watts et al., 2009).

La distribución del tamaño de agregados del suelo es importante ya que el tamaño de los agregados determina su susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica, además, el tamaño de los agregados influye en gran medida en el espacio poroso de los suelos cultivados. El tamaño de los poros afecta el movimiento y distribución del agua y del aire en el suelo, los cuales son los principales elementos que afectan el crecimiento de los vegetales (Kemper y Chepil, 1965).

FAO (1994), señala que una de las causas principales de la degradación de los suelos en América Latina es, sin duda, la aplicación de técnicas de labranzas inadecuadas, con el consiguiente deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, la disminución de los rendimientos agrícolas y más importante aún, el deterioro del medio ambiente.

Las principales causas de la degradación de las características físicas del suelo son Cabeda (1984):

Cobertura inadecuada de la superficie del suelo, que expone los agregados de la superficie del suelo a la acción de lluvias; como consecuencia ocurre el colapso estructural de estos agregados, formándose costras con espesor medio de un milímetro, que reducen drásticamente la infiltración de agua.

Excesiva labranza y/o labranza con humedad inadecuada: la labranza en exceso y superficial lleva a la rotura de los agregados, favoreciendo la formación de costras, escurrimiento y el transporte de partículas. La reducción de la rugosidad provocada por la labranza.

La búsqueda de soluciones a esta problemática ha conducido al estudio e implementación de la labranza de conservación, con el fin de disminuir el impacto sobre el medio ambiente y especialmente sobre el suelo. Por lo anterior, es importante conocer diferentes parámetros operativos de los implementos de labranza y su incidencia en el suelo FAO (2003).

La labranza convencional es un programa de labranza completa que consta de operaciones primarias y secundarias. Involucra la inversión del suelo, normalmente con el arado de vertedera o el arado de discos como labranza primaria, seguida por labranzas secundarias con la rastra de discos. El propósito principal de la labranza primaria es controlar las malezas por medio de su enterramiento, y el objetivo principal de la labranza secundaria es desmenuzar los agregados y crear una cama de siembra. El control de malezas siguiente se puede hacer por medio de cultivaciones o herbicidas.

1.1. ANTECEDENTES

En los últimos años se ha incrementado el interés por el uso eficiente de la energía y la conservación de los recursos del suelo y agua principalmente donde se escasea, lo que ha traído un cambio de actitudes con respecto a las prácticas de manejo del suelo y los residuos. Cada año se da más énfasis al uso de las labranzas mínimas y a la preparación de la cama de siembra en la agricultura de temporal. La determinación de las fuerzas que los implementos agrícolas requieren de la fuente de potencia ha sido de suma importancia e interés, ya que se encuentra involucrado en numerosas investigaciones realizadas a través de muchos años (FAO, 2000).

Actualmente no se cuenta con equipos de separación de agregados del suelo, nada mas existen tamizadoras de laboratorio las cuales se describen a continuación:

Las tamizadoras analíticas de RETSCH encuentran utilización en las áreas de investigación y desarrollo, control de calidad de materias primas, productos intermedios y acabados, así como en la supervisión de procesos de producción. **La serie AS 200 con sus 3 modelos** permite a cada usuario seleccionar el instrumento adecuado de acuerdo a sus necesidades individuales y presupuesto. La **AS 300 control** ha sido concebida para volúmenes de muestra grandes, que pueden llegar hasta los 6 kg y la **AS 450 control** para cargas de hasta 25 kg.

Todos estos aparatos pueden usarse para el tamizado por vía seca y húmeda. Su accionamiento electromagnético patentado genera un movimiento de proyección tridimensional que hace que el material se mueva uniformemente por toda la superficie de malla libre del tamiz aprovechándola de forma óptima. El ajuste de la amplitud en los aparatos de la serie “control” es digital, garantizando la separación exacta del material incluso con tiempos de tamizado muy cortos. **Al estar en conformidad con la norma DIN EN ISO**

9000, estas tamizadoras pueden emplearse perfectamente como equipos de medición y control. <http://www.retsch.es/videos>

Tamizadora eléctrica de vaivén, accionada por motor de 1/4 CV, con capacidad **para ocho tamices de 20 cm o de 8" de diámetro**, fondo y tapa. Incluye temporizador y pulsadores de marcha- paro. Conexión 220 v, monofásica + tierra. 50 Hz. **Máquina silenciosa de nuevo diseño.** Tamizadora vibradora con capacidad para 6 tamices de hasta 210 mm de diámetro x 5 cm altura, además de la tapa y fondo. Dispone de movimiento vertical horizontal que impide la obstrucción de las mallas. [Mecánica Científica S.A. Aparatos para ensayo de materiales – instrumentación científica.](#)

Características

- * Reloj temporizador para trabajos de 1 a 60 minutos.
- * Regulador de velocidad hasta 2.500 vibraciones /minuto con recorrido de 3 mm obteniéndose tamizados de una finura de 40 micras.
- * Lámpara piloto indicadora de puesta en circuito.
- * Dimensiones: alto 70 cm ancho 30 cm
- * Peso: 17 kg
- * Conexión 220 volts y 50 ciclos.

Como sabemos el método tradicional para la separación del tamaño de agregados se realiza manualmente, requiriéndose por punto de muestreo 20 minutos, además el pesado de agregados se lleva acabo después de que se realiza la selección de estos, requiriéndose de 6 a 8 personas para el muestreo.

Las ventajas del equipo para la medición del tamaño de agregados del suelo serian:

- ❖ Se espera obtener una reducción de 20 a 5 minutos por punto de muestreo.
- ❖ La selección y pesado se realizara en una sola operación.
- ❖ Se reducirá de 6 a 3 operadores para realizar la medición del tamaño de agregados.

1.2. PROPÓSITO DEL PROYECTO

Contribuir en la implementación de un laboratorio de agricultura de precisión en su fase de diagnóstico; el cual a mediano plazo permitirá realizar investigación en esta línea así como fortalecer la docencia en la carrera de IMA.

1.3. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un equipo acoplado a los 3 puntos de enganche del tractor que permita realizar la separación de agregados, producto de la labranza primaria.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y construir los sensores para el pesado de agregados.
- Construir estructura vibratoria que permita separar los agregados en 7 diferentes tamaños (mayores de 100, 100, 75, 50, 25, 12.5 y menores de 12.5).
- Adecuar el registro de fuerzas al sistema de adquisición de datos.

1.5. HIPÓTESIS

Mediante el uso de un equipo para medir los tamaños de agregados de suelos, podemos reducir los tiempos de muestreo y se puede aumentar la confiabilidad de las mediciones.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. SISTEMAS DE LABRANZA VERTICAL

En relación a los sensores para el monitoreo de fuerzas en la labranza Godwin y Spoor citado por Campos, et al. (2002) Indican que uno de los aspectos más importante en la evaluación de nuevos diseños de herramientas de labranza es el proceso de medición de las magnitudes de las fuerzas que actúan en dichos implementos, la característica de la falla, así como el volumen de disturbación y sección transversal del suelo como producto de la geometría de la herramienta, controlando variables del suelo como son humedad y densidad.

El proceso de desarrollo y evaluación de herramientas de labranza bajo condiciones de campo requiere de tiempos superiores a los 3 años, debido a que el proceso de incremento en densidad aparente del suelo es lento, además de que es imposible aislar los efectos de humedad, textura sobre el comportamiento de las herramientas de labranza (Campos, et al. 2002).

Los sistemas de labranza constituyen un elemento principal dentro de los sistemas agrícolas de producción, donde muchas de las actividades posteriores afectan de forma directa al cultivo ya establecido y que dependen en gran medida del sistema de labranza aplicado a la preparación del terreno (Martínez, 1999).

Dentro de los sistemas de labranza están aquellos que hacen una remoción completa del suelo y en ocasiones una fragmentación excesiva de las partículas y no consideran la compactación del suelo, y que se conoce comúnmente como labranza tradicional. Por otro lado existe también el sistema de labranza de conservación, que se define como cualquier secuencia de labranzas que reduce las pérdidas de suelo y agua, en comparación con las de labranza convencional (Lal, 1995).

La labranza vertical se refiere a un sistema donde toda la tierra está preparada con implementos que no invierten el suelo y causan poca compactación. Por lo tanto, el suelo queda normalmente con una buena cobertura de rastrojo de más de 30% sobre la superficie (FAO, 2000).

La labranza vertical es un sistema ventajoso en un amplio rango de tipos de suelo, inclusive en los que tienen problemas de drenaje y que son susceptibles a la compactación. La eficacia operativa del sistema de labranza vertical es más alta que la de labranza convencional, sobre todo debido a que el vibro cultivador trabaja con mayor velocidad y tiene mayor ancho de trabajo que la rastra de discos. Por consiguiente es posible preparar entre 50 hasta 80% más de superficie por día con labranza vertical, si se la compara con labranza convencional (Baber et al, 1993).

La principal característica de la labranza vertical es que utiliza brazos o flejes equipados con puntas en lugar de discos para aflojar el suelo sin invertirlo, dejando en la superficie una cobertura protectora formada por los residuos del cultivo anterior y por las malezas arrancadas (Baber et al, 1993).

Los implementos de labranza vertical causan poca compactación, es decir no forman una capa dura en el subsuelo (piso de arado) que limita la profundización de las raíces. En cambio los discos de labranza convencional ocasionan capas duras. Los implementos más comúnmente utilizados son el arado de cincel, la cultivadora de campo y el vibrocultivador (FAO, 2000).

Los arados de cincel son implementos en los sistemas de captación de humedad, cuyo diseño le permite penetrar en suelos firmes y romper capas compactas. La superficie se deja partida y abierta para atrapar y mantener el agua de la lluvia y resistir la erosión del viento. La experiencia ha demostrado que la tracción mínima de estas herramientas tales como los arados de cincel y los subsoladores, ocurre cuando el ángulo de elevación es de 20° entre la superficie de la herramienta y la horizontal. El desmenuzamiento ocurre con el menor esfuerzo cuando la herramienta está aplicando fuerza de elevación, que cuando se corta horizontalmente o empuja verticalmente contra el suelo (Buckingham, 1984).

(Lal, 1991). Las labranzas agresivas aceleran la descomposición de la materia orgánica y destruyen los agregados estables (Dexter 1991), provocando la disminución del carbono y nitrógeno potencialmente mineralizables (Woods, Schuman 1988). Diversos autores encontraron que el mayor contenido de carbono orgánico y la falta de remoción del suelo podrían ser los responsables de la mayor agregación en siembra directa (SD) en comparación con la labranza convencional (LC), (Chagas *et al.* 1994, Vidal, Costa 1998).

La resistencia mecánica (RM) o resistencia a la penetración que ofrece el suelo en la zona de las raíces es utilizada como una medida de compactación, señalando condiciones que pueden impedir el crecimiento de las raíces y por lo tanto, reducir los rendimientos de los cultivos (Oussible *et al.* 1992). Grant y Lafond (1993) no hallaron diferencias en resistencia mecánica (RM) cuando compararon sistemas de labranza conservacionista y convencional. Sin embargo, otros autores encontraron una mayor RM en los primeros centímetros del suelo bajo SD y labranza mínima que en LC (Ferrerias 1996; Taboada *e tal.* 1998, Vidal, Costa 1998). La densificación de la capa superficial de los suelos bajo sistemas sin remoción continua es considerada una de las limitantes para adoptar los sistemas de labranza cero en la región Pampeana (Chagas *et al.* 1994, Ferrerias *et al.* 1998), pudiendo en ciertos casos, reducir el rendimiento de los cultivos (Schmidt, Belford 1994). Esta densificación de la capa superficial sólo puede ser disminuida con labranzas de tipo vertical (Fontanetto, Gambaudo 1996) aunque Pikul y Aase (1995) encontraron menores valores de resistencia mecánica en superficie bajo SD. La estabilidad de agregados es uno de los indicadores para evaluar la sustentabilidad de los sistemas de manejo (Pillati *et al.* 1998). Las labranzas (tipo, intensidad y frecuencia) y el manejo de residuos actúan sobre la estructura del suelo.

2.2. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS

La calidad y la salud del suelo son conceptos equivalentes, no siempre considerados sinónimos Doran y Parkin, (1994). La calidad debe interpretarse como la utilidad del suelo para un propósito específico en una escala amplia de

tiempo Carter *et al.*, (1997). El estado de las propiedades dinámicas del suelo como contenido de materia orgánica, diversidad de organismos, o productos microbianos en un tiempo particular constituye la salud del suelo.

Ortiz *et al.*, (1989) en la agronomía, el suelo es la capa superficial de la corteza Terrestre que contiene minerales, materia orgánica, aire, agua y los nutrientes necesarios para dar sostén y desarrollo a las plantas superiores.

La mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la física y las ciencias naturales a los problemas que involucran las cargas impuestas a la capa superficial de la corteza terrestre. Esta ciencia fue fundada por Karl von Terzaghi, a partir de 1925.

Según Cañavate (1989), los suelos agrícolas son objeto de una serie de acciones por parte de los vehículos y máquinas agrícolas. Para su mejor utilización, los diseñadores y usuarios han de conocer la respuesta del suelo a todo tipo de operación mecánica en la que este implicado además de las condiciones propias del mismo (tipo de suelo, pedregosidad, humedad, cobertura vegetal, etc.).

La utilización de equipos e implementos inadecuados tiene una incidencia negativa en el crecimiento y desarrollo del cultivo, consumo de energía, facilidad de erosión, desgaste prematuro del equipo, tiempo de trabajo y desde luego un aumento en los costos y una disminución de la productividad entre otros factores.

Según Cañavate (1989), las variables más importantes a tomar en cuenta para medir los efectos del suelo sobre el desempeño de los discos de arado:

- Compactación.
- Estados de consistencia.
- Esfuerzo cortante.
- Resistencia al deslizamiento metal-suelo.
- Resistencia a la penetración.

A continuación se describen las propiedades mecánicas más importantes, descritas por Cañavate (1989).

➤ **Compactación.**

Proceso por el cual se genera una disminución del volumen de suelo bajo la acción de fuerzas de compresión que pueden ser de origen mecánico o natural, la cuantificación del suelo de compactación se realiza en base a los valores que toman una serie de propiedades del suelo, tales como: índice de huecos, densidad aparente y densidad real.

➤ **Esfuerzo cortante.**

Se denomina como resistencia al corte de un suelo a la tensión de corte o fractura en el plano de corte y en el momento de la falla. Se debe entender la naturaleza de la resistencia al corte para analizar los problemas de capacidad de carga, estabilidad de taludes y presiones laterales sobre estructuras de contención de tierra.

➤ **Resistencia a la penetración.**

La resistencia de un suelo a la penetración de una determinada herramienta de sondeo, constituye una variable que aglutina otras propiedades del suelo tales como compactación, cohesión y rozamiento interno. Nos da una idea de la dureza para las condiciones específicas que se encuentran en un determinado momento. Aunque los valores obtenidos no reflejan más que un índice, siempre podemos encontrar una relación que nos lleve a establecer un valor para este parámetro y su relación con un implemento de trabajo determinado o un neutro.

El efecto del laboreo del suelo sobre las propiedades físicas del suelo se ha documentado extensamente (González, 2004a,b; Osuna et al., 2005; Buj and Gisbert, 2007), permitiendo con ello, entre otras cosas, caracterizar su funcionamiento, como el que se muestra en el Cuadro 2.1, a partir de

propiedades poro simétricas tales como: tamaño, forma, continuidad y distribución a lo largo del perfil de penetración y exploración de las raíces (Henderson, 1979; Lal y Vandoren, 1990; Kay y Vanden, 2002; Udawtta, 2008b; González *et al.*, 2004a,b).

Cuadro 2. 1. Tamaño, propiedad y función de los poros del suelo.

Diámetro de poros en mm	Propiedad de poros	Funciones de los poros
<0.0002	Residual	Retienen agua que las plantas no pueden usar
0.0002-0.05	Almacenamiento	Retienen agua que las plantas pueden usar (<i>PPM=0.0002 mm; CC=0.05 mm; pero CC puede variar de 0.03 a 0.1 de diámetro equivalente a 10 a 33 kPa</i>)
>0.05	Transmisión	Permite que el agua drene y que entre el aire
>0.1 a 0.3	Enraizamiento	Permite que las raíces de las plantas penetren libremente (<i>Tamaño de las raíces: raíces seminales de cereales >0.1mm; extremo de raíces de no cereales (dicotiledóneas)>0.3 mm; barbas absorbentes 0.005 a 0.01 mm</i>)
0.5-3.5	Canal de lombrices	Permiten que el agua drene y que entre el aire
2-50	Nidos de hormigas y canales	Permiten que el agua drene y que entre el aire

Fuente: FAO, Hamblin, 1985.

Actualmente la investigación brinda una mejor capacidad de explicar el efecto de la labranza sobre los suelos, aunque definitivamente no todos los procesos se entienden. La labranza es una actividad que modifica la estructura de la capa superficial del suelo, sin embargo existen efectos directos e indirectos que se logran con la labranza, entre los cuales se encuentran; facilitar la producción de los cultivos, acondicionar la superficie del suelo para permitir una buena irrigación y una cosecha más fácil, además de facilitar la incorporación de materia orgánica, fertilizantes, pesticidas, entre otros (Hoogmoed, 1999).

Esta forma de producción, ha hecho que se pueda manejar la fertilidad química del suelo pero la fertilidad física ha sido totalmente degradada. El exceso de labranza con maquinaria pesada ha hecho que la estructura se pierda totalmente. Estos suelos según (Tisdall y Oades) 1982, sus agregados quedan expuestos a la fragmentación por rápido humedecimiento, impacto de la lluvia e impacto directo de los implementos de labranza. Durante este proceso se presenta pérdida de materia orgánica lo que ocasiona una disminución del porcentaje de agregados estables al agua.

Una mala estructura del suelo puede significar efectos dañinos para la planta, por ejemplo, exceso o deficiencia de agua, falta de aireación, poca actividad bacteriana, impedimento del crecimiento de las raíces, cambios químicos perjudiciales, incidencia de enfermedades, etc.; por el contrario una buena estructura hace que los factores del crecimiento de la planta funcione a su máxima eficiencia y se obtengan mejores rendimientos en las cosechas, es decir, la estructura del suelo en determinados casos puede ser factor limitante de la producción (Vélez, 2002).

2.3. TAMAÑO DE AGREGADOS

Actualmente hay diferente teoría acerca del tamaño óptimo de los agregados para el desarrollo de las plantas. Hoyos (1999) define una buena estructura del suelo para el crecimiento de cultivos con agregados entre 1 y 10 mm de diámetro, Russell, et al., (1968), sitúan este tamaño entre 1 y 5 mm, según el mismo autor los agregados inferiores a 0.5 mm se limitan a bloquear los poros

más gruesos a través de los cuales puede filtrar el agua y penetrar el aire en el subsuelo, sin contribuir a la capacidad de retención de humedad, mientras que los agregados de más de 5 a 6 mm ordinariamente tienen a su alrededor un espacio aéreo demasiado grande para las raicillas de las plantas.

Trabajos anteriores de conservación de suelos concluyen que un tamaño de entre 5 y 3 mm de diámetro favorecen el desarrollo de las plantas (Díaz; Carmona 2005).

Es trascendental conocer los diferentes parámetros operativos de los implementos de labranza y su incidencia en el suelo con el fin de disminuir su impacto sobre el suelo, con objeto de obtener cambios en la producción de los cultivos y mantener la calidad del suelo, he aquí la importancia de la evaluación de los implementos (Camacho *et al*, 2007)

La labranza tradicional con barbecho (LTB) es una de las labores primarias de preparación de la cama de siembra, que tiene como propósito principal la roturación de suelo e inversión de la capa arable, así como para eliminar malezas y enterrar residuos de cosecha (Hunt 1986). Bajo sistemas de labranza mecanizados, se utiliza comúnmente el arado de 3 ó 5 discos o el de rejas y vertedera, seguido por uno o dos pasos de rastra con el fin de disminuir el tamaño de los agregados hasta lograr una condición manejable, cuyos diámetros tendrán que estar en el rango de 0.5 a 6 mm (Navarro *et al.*, 2000).

Los efectos adversos del laboreo excesivo (Conant *et al.* 2007) como son: deformaciones de la estructura y cambios en las relaciones de humedad en la zona radicular de las plantas cultivadas (González *et al* 2004a, b), así como por el ataque a procesos relacionados con los ciclos del carbono, C, trae como consecuencia disminución en el poder de agregación, cambios en la respiración del suelo y una mayor susceptibilidad a la erosión (Udawatta *et al* 2008a, b).

El objetivo principal de las evaluaciones de los implementos es conocer los efectos que ocasionan los diferentes métodos de labranza sobre las propiedades físicas del suelo (densidad aparente, porosidad, resistencia a la penetración, entre otras) para saber los resultados favorables y no favorables mostrando efectos beneficiosos o no beneficiosos para los cuales se ven reflejados directamente en el desarrollo del cultivo (Ohep *et al*, 1989)

La movilización del suelo es causada por cizallamiento, donde las partículas se someten a compresión – tensión, situación en el que el suelo se agrieta, y por deformación plástica, situación indeseada ya que el suelo solo se deforma en la superficie de contacto con la herramienta, lo cual puede llevar a la compactación (Aluko y Seig, 2000).

La humedad del suelo es un factor que incide directamente en la fuerza de tracción y requerimiento de potencia en la preparación del suelo. Suelos secos presentan agregados con alta cohesión, siendo más alta en suelos arcillosos, requiriendo mayor fuerza de tracción para ser disturbados. La cohesión disminuye a medida que el contenido de agua aumenta, aumentando entonces la adhesión de las partículas del suelo sobre la superficie de la herramienta y afectando la fuerza de tracción (Mouazen y Ramón, 2002).

El grado de la pulverización de los terrones está estrechamente relacionado con la humedad, resistencia a la penetración y resistencia al corte y nos ayuda a determinar la calidad de trabajo en todo el implemento de labranza. Para los equipos de labranza vertical, nos indica el nivel de roturación del suelo.

Para comprobar lo anterior (Cándido S. Ramírez, 2010) (Fig. 2.1.), realizo después del paso del implemento con una serie de tamices (100, 75, 50, 12.5 y < 12.5mm respectivamente) seleccionando muestreos al azar considerando tres muestras por corrida, en un espacio de 50 cm extrayendo todo el suelo removido por el paso del cincel hasta la parte donde implemento logro penetrar, para después tamizar el suelo, ordenando los tamices del diámetro mas grande al mas pequeño, los terrones de cada tamiz se pesaron para después aplicar la ecuación propuesta por Maza en el 2003 y sacar el diámetro medio de agregados. (Fig. 2.1.)



Figura 2. 1. Medición del tamaño medio de agregados (a y b).

Maza, (2003) propuso la fórmula para calcular el tamaño medio de agregados.

$$D = \frac{5(21k + 16h + 8d + 5c + 3b + a)}{w}$$

Donde:

D= diámetro medio de agregados (mm)

w= masa total de la muestra (kg)

k= peso de los agregados con diámetro >100 mm

h= peso de los agregados con diámetro de 75 a 99 mm

d= peso de los agregados con diámetro de 50 a 74 mm

c= peso de los agregados con diámetro de 25 a 49 mm

b= peso de los agregados con diámetro 12.5 a 24 mm

a= peso de los agregados con diámetro <12.5 mm

2.4. DISEÑO DE TRANSDUCTORES

El término transductor ha sido aplicado a dispositivos, o combinaciones de dispositivos, que convierten señales, o energía, de una forma física a otra forma. Más específicamente, en sistemas de medición, un transductor se define como un dispositivo que provee una salida usable, en respuesta a una medida especificada.

La medida es "una cantidad física, propiedad o condición, la cual es medida" y la salida es una "cantidad eléctrica, producida por un transductor, que es función de la medida".

2.4.1. ELEMENTOS

Si bien los transductores actuales suelen estar integrados en una sola pieza, se pueden distinguir, en general, tres etapas en la generación de la salida eléctrica en respuesta a la medida física.

1. Sensor: es un elemento que responde directamente a la medida.
2. Transductor propiamente dicho: es el elemento en el que se transduce la señal física en una salida eléctrica.
3. Circuito de acondicionamiento y procesamiento de la señal: es un circuito, eléctrico o electrónico, que le da formato a la señal entregada por el transductor. Su principal función es linearizar la salida y estandarizarla dentro de los límites de la aplicación.

El circuito acondicionador puede estar colocado dentro de la empaquetadura del transductor, o totalmente separado. Si el transductor consiste en varios módulos, las interconexiones provistas por el usuario son parte del sistema de medida y el correcto cableado, aislado y puesta a tierra, son esenciales para conseguir la condiciones de trabajo especificada.

En general, se suele tratar al sensor y al transductor como un mismo componente, Pero el circuito de acondicionamiento de la señal presenta algunas particularidades realmente importantes, por lo que se abarcará ahora este punto.

2.4.2. CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL

Las señales que tienen que ser traducidas del mundo físico al mundo eléctrico, pueden ser de las formas más extrañas, consecuencia de que la señal eléctrica obtenida es función de la variación de un proceso físico, químico, atmosférico, etc., que se está midiendo.

Se hace entonces necesario imponerle a la señal eléctrica, antes de insertarla en el circuito de medida (ó en un SAD), una serie de condiciones que hagan favorable su manejo dentro de un circuito eléctrico. El circuito acondicionador de la señal puede ser eléctrico o electrónico, y provee una variedad de funciones.

Campos (1993). Uno de los transductores más apropiados para determinar las fuerzas de reacción del suelo en los implementos de labranza es el transductor octagonal extendido, que tiene las ventajas sobre otros comúnmente

empleados en la evaluación de equipos de labranza cuando la precisión de la localización de las galgas extensiométricas ha sido realizada.

Un análisis teórico de la aplicación del anillo extendido del transductor octagonal fue desarrollado por Cook (*et. al.*, 1963) citado por Varela, (2000) está basado en el análisis de la energía elástica de un anillo usado como una celda de carga.

Consideraciones adicionales para el diseño del anillo extendido fueron dadas por Hoag (1977) Citado por Campos (1993). Estos tienen el objetivo de mejorar la sensibilidad del anillo por medio de aumentar al máximo la relación $[\epsilon/S \{x, y\}]$. Esta relación representa la cantidad de deformación por unidad de desplazamiento relativo del anillo del fondo medio.

Para obtener máxima ejecución del anillo en la tensión-proporción del desplazamiento, sugirió Hoag, (1977) citado por Varela (2000) que la relación (t/r^2) debe aumentarse al máximo. Para los requerimientos específicos esperados de cualquier fuerza máxima o momento, la deformación máxima en el anillo puede ser seleccionando el material del anillo apropiado junto con un máximo conveniente de deformación aceptable.

2.5. PUENTE DE WHEATSTONE

El puente de Wheatstone es el primer tipo de medida que se utilizó y es también el de uso más frecuente. Es un puente de corriente continua que se utiliza para medir resistencias de valor medio y que fue ideado por S. H. Christie el año 1833 e introducido por C. Wheatstone en 1843. El esquema de conexión se puede ver en la Figura 2.2.

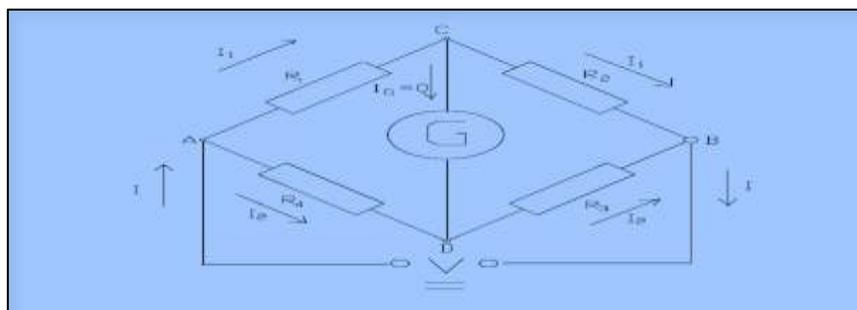


Figura 2. 2. Esquema de un puente de Wheatstone equilibrado.

Según Sakurai (1996), los dispositivos que son usados comúnmente para medir diferencias de resistencias y convertirlas en medidas de deformación, son el potenciómetro y el puente de wheatstone. El puente de wheatstone puede determinar lecturas extensiométricas dinámicas y estáticas.

Cooper (1991), las medidas de precisión de los valores de componentes se han hecho por muchos años utilizando diferentes tipos de puentes. El más simple tiene el propósito de medir la resistencia. El circuito puente forma la parte principal en algunas mediciones y como interface de transductores.

2.6. GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS

Cooper (1991), dice que la galga extensiométrica es un ejemplo de transductor pasivo que convierte un desplazamiento mecánico en un cambio de resistencia. La resistencia del alambre o de la lamina delgada cambia de longitud a medida que el material al cual esta soldada sufre tensiones o compresiones. En este cambio la resistencia es proporcional a la tensión aplicada y se mide con un puente de wheatstone adaptado especialmente.

Que es un strain gage?

Un extensómetro, galga extensiométrica o "strain gage" (en inglés) es un dispositivo de medida universal que se utiliza para la medición electrónica de diversas magnitudes mecánicas como pueden ser la presión, carga, torque, deformación, posición, etc. Se entiende por strain a la cantidad de deformación de un cuerpo debida a la fuerza aplicada sobre él. Si lo ponemos en términos matemáticos, strain (ϵ) se define como la fracción de cambio en longitud, como se demuestra la figura 2.3 a continuación:

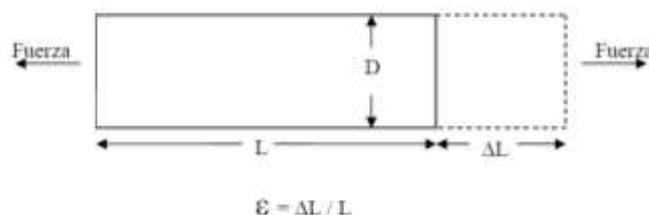


Figura 2. 3. Definición de deformación unitaria.

El parámetro strain puede ser positivo (tensión) o negativo (compresión). Si bien es adimensional, en muchos casos se suele expresar en unidades de mm/mm. En la práctica, la magnitud de medida de strain es muy pequeña por lo que usualmente se expresa como microstrain ($\mu\epsilon$), que es $\epsilon \times 10^6$.

Cuando una barra es tensionada por una fuerza uniaxial, como en la Figura 2.3, un fenómeno conocido como esfuerzo de Poisson causa que la circunferencia de la barra se contraiga en la dirección transversal o perpendicular. La magnitud de esta contracción transversal es una propiedad del material indicado por su coeficiente de Poisson.

Donde ϵ es la deformación unitaria μ es el coeficiente de Poisson, llamado así en honor de Simeón Denis Poisson el que propuso este concepto en 1828. El coeficiente de Poisson depende indirectamente del módulo de elasticidad o módulo de Young (E), del módulo de rigidez o de cizalladura (G), la cual se puede expresar de esta manera: $E = 2G(\mu + 1)$.

Se conocen varios métodos para medir esfuerzo, pero el más utilizado es mediante un strain gage, dispositivo cuya resistencia eléctrica varía de forma proporcional al esfuerzo a que éste es sometido. El strain gage más ampliamente utilizado es el confinado en papel metálico o “bonded metallic” strain gage. El strain gage metálico consiste en un cable muy fino o papel aluminio dispuesto en forma de grill (malla). Este grill, maximiza la cantidad de metal sujeto al esfuerzo en la dirección paralela, figura 2.4. El grill está pegado 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 gage, el cual responde con cambios lineales de resistencia eléctrica.

Los strain gages se encuentran en el mercado con valores nominales de resistencia de 30 a 3000 Ω : con 120, 350 y 1000 Ω : como los valores más comunes.

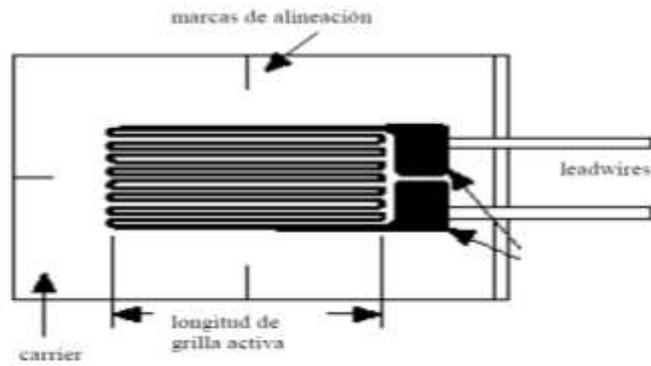


Figura 2. 4. Strain gage metálico.

Es de suma importancia que el strain gage sea apropiadamente montado sobre la pieza para que el esfuerzo sea transferido adecuadamente desde la pieza a través del adhesivo y el material de respaldo hasta el mismo grill metálico. Un parámetro fundamental de los strain gage es la sensibilidad a la deformación, expresado cuantitativamente como el factor de galga (GF). El factor de galga es definido como la relación de variación fraccional de resistencia eléctrica y la variación fraccional de longitud:

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

El factor de galga típico para un strain gage metálico es de aproximadamente 2.

Longitud de una galga:

Es la región activa o longitud de malla sensible a la deformación de una galga. Los codos y almohadillas de soldadura no se consideran sensibles al esfuerzo debido a su gran sección transversal y su baja resistencia eléctrica. Para satisfacer las amplias necesidades de análisis de esfuerzos se ofrecen longitudes de galgas que van de 0.2mm a 100mm.

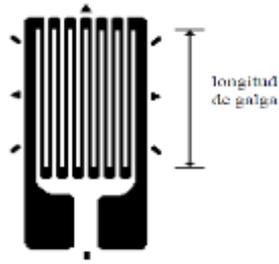


Figura 2. 5. Longitud de un strain gage.

Concentración del esfuerzo:

La longitud de la galga es usualmente un factor muy importante a la hora de determinar su rendimiento bajo ciertas circunstancias. Por ejemplo, las medidas de esfuerzo son realizadas, en general, sobre las piezas o estructuras críticas de una máquina (sometidas a mayor esfuerzo). Y muy frecuentemente, las piezas más fatigadas son las que se encuentran sometidas mayor esfuerzo, donde el gradiente de esfuerzo es más pronunciado y el área de mayor esfuerzo se circunscribe a una pequeña región. Los strain gage tienden a integrar, o promediar, el área cubierta por el grill. Puesto que el promedio de la distribución de un esfuerzo no uniforme es siempre menor al máximo, un strain gage que es más larga que la máxima región de esfuerzo, indicará una magnitud de esfuerzo muy bajo. La figura siguiente ilustra de forma representativa la distribución de esfuerzo en la vecindad de la concentración de esfuerzo, y demuestra el error en el esfuerzo indicado para un strain gage demasiado largo con respecto a la zona de máximo esfuerzo.

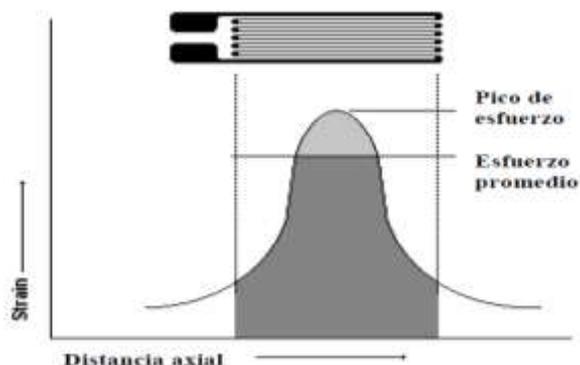


Figura 2. 6. Distribución del esfuerzo sobre un strain gage.

Como una regla general, en lo posible, la longitud de la galga no debe ser mayor a la dimensión del esfuerzo para que la medición sea aceptable. Cuando la causa del esfuerzo es pequeña, digamos del orden de 13mm, la regla general conduciría a longitudes de galgas muy chicas.

2.7. ADQUISICIÓN DE DATOS

2.7.1. SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS

Proceso en el cual la señal a medir adquirida es convertida a una señal eléctrica. Un sistema de adquisición de datos es el instrumento que nos sirve para obtener datos de un proceso. Este tiene las siguientes etapas:

1. Los sensores o transductores convierten un fenómeno o magnitud física en una magnitud o señal eléctrica.
2. Un sistema de acondicionamiento de señal que va a aislar, filtrar, convertir y/o amplificar la señal.
3. Un sistema de adquisición de datos que convierte la señal analógica en digital.
4. Un sistema de tratamiento que va a transformar la información digital presentada por el bloque anterior, en información útil al usuario.
5. Un sistema de visualización que va a ser el que va a desplegar la información procesada.

El sistema de adquisición de datos se compone de la siguiente forma:



Figura 2. 7. Sistema de adquisición de datos.

2.7.2. DAQ BOOK200/2000

El DaqBook200/2000 (figura 2.8.) es un dispositivo de adquisición de datos donde podemos observar las diferentes entradas analógicas de medida, entradas de frecuencia, y entradas digitales. El DaqBook200/2000 está equipado con una función de señal con una capacidad, que puede ser ampliado y mejorado con más de 40 canales.



Figura 2. 8. Dispositivo de adquisición de datos DAQ BOOK200.

La serie Daq Book 200/2000 cuenta con dispositivos portátil interfaz de adquisición de datos disponibles con una orden interna (red de área local). El Daq Book 200/2000 basado en el Ethernet puede conectarse directamente a una PC. EL Daq Book también contiene tres puertos de expansión paralelos que se pueden conectar a otras PC a través de un concentrador o conmutador Ethernet, capaz de ser sincronizado y transferir datos continuos a toda velocidad en el PC. [http:// www.iotech.com.mx](http://www.iotech.com.mx)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Este proyecto se dividió en tres etapas paralelas; como primer punto se trabajara con el diseño del equipo, calibración del sensor ring. En segundo lugar se llevara acabo la construcción del equipo y pruebas en laboratorio, para posteriormente pasar a la siguiente etapa que será relacionada con la evaluación bajo condiciones de campo y registrando el peso específico del suelo tamizado.

Para la primera fase, la cual pertenece al tema específico de mi tesis que esta enfocado nada más al diseño, desarrollare e integrare los siguientes componentes:

- Desarrollo de sensores ring de fuerza con capacidad de trabajo de 250kg. Cada uno y calibración de ellos.
- Uso del sistema de adquisición de datos, el DAQ BOOK200/2000 y una computadora de escritorio del departamento de maquinaria agrícola
- Calibración de sensor ring bajo condiciones de laboratorio.

Para la segunda y tercera fase, la cual será el seguimiento del proyecto se construirá el equipo para selección del tamaño de agregados que permita la separación de estos. Clasificándolos en 7 diferentes tamaños, realizando las pruebas en laboratorio haciendo evaluaciones en la selección de agregados con diferentes amplitudes y frecuencias hasta obtener la mejor separación de estos con el menor impacto entre los mismos. Además, se llevará acabo la evaluación bajo condiciones de campo la cual consistirá en comprobar los resultados esperados de la separación de los agregados tamizados.

Los materiales y equipos que se ocuparon u ocuparan en el proyecto son los que a continuación se mencionan:

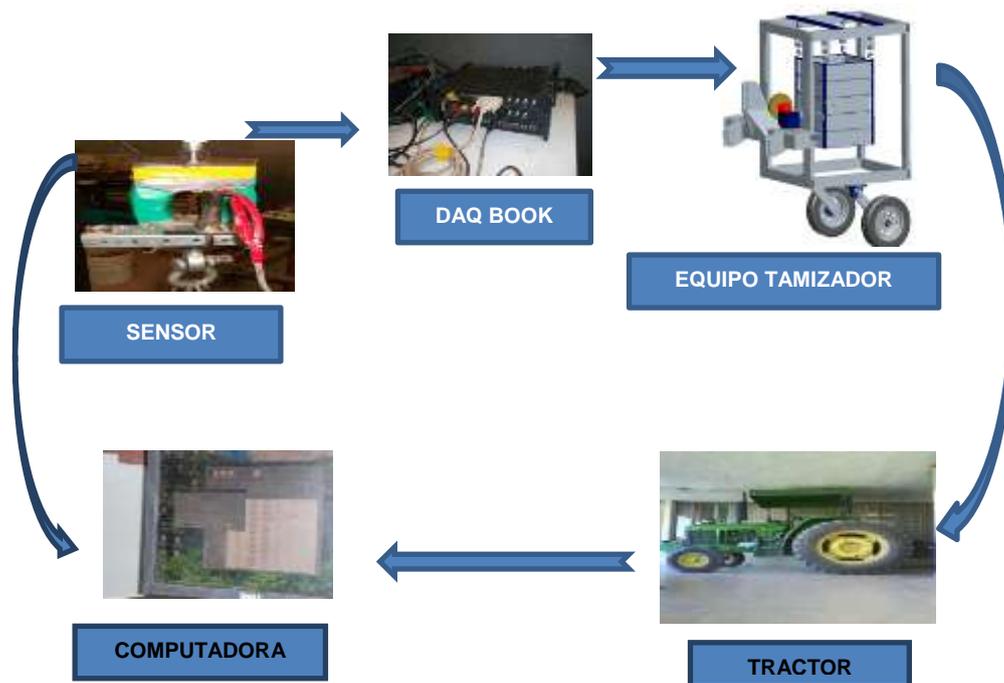


Figura 3. 1. Materiales y equipo.

- **Convertidor analógico – digital (DAC).** Se utilizó la unidad de Daq Book 200 de IOtech, Inc. el cual es un módulo que se conecta al puerto paralelo de una computadora y que convierte los valores de voltaje en valores digitales para que puedan ser procesados por la computadora. Este módulo se compone de dos partes, la parte que procesa la información y un banco de baterías que alimenta a la anterior. Este convertidor analógico tiene la capacidad para instrumentar 16 canales analógicos con una frecuencia de muestreo hasta de 100 KHz.
- **Computadora.** Se utilizó una computadora de escritorio del departamento de maquinaria agrícola (marca Dell con un procesador genuino Intel, con una memoria RAM de 512 MB, y una capacidad en el disco duro de 32 GB).
- **Software (programa).** Se utilizó el programa Daq View 7, 11,08 de IOtech, Inc. Programa para MS Windows, para la adquisición de datos a través del Daq Book 200 y donde posteriormente se guarden en un archivo por medio de la computadora para después ser analizados.

- **Galgas extensiométricas.** Las galgas extensiométricas empleadas KFG-5-120-D17-11N3062 de la marca Kyowa, teniendo una resistencia de 120 Ω . Con un factor de galga de 2.11, en ambas partes fueron colocadas tanto en el interior y exterior del anillo.
- **Marco de calibración de sensores.** Se utilizó el marco metálico en forma de tripie, para la calibración del sensor se realizó bajo condiciones controladas de laboratorio. Para el sensor ring, se hizo la calibración empleando cuatro pesas, tres de 45 kg y una de 30 kg.
- **Arreglos de puente de Wheatstone.** Completo para realizar las mediciones en el cambio de resistencia en las galgas, permitiendo medir galgas estáticas y dinámicas.
- **Tractor.** Para este trabajo se utilizó en la tercera fase, el tractor John Deere modelo 6403 de 101 hp con sistema hidráulico de centro abierto con bombas de engranes a 66.62 litros por minuto y una velocidad nominal del motor de 2100 rpm. Se adecuó el tractor, para que reciba el sistema de adquisición de datos, computadoras; así como, la alimentación de energía (110v) para las mismas.

3.1. METODOLOGIA

3.1.2. DESARROLLO DEL EQUIPO

El prototipo se diseñó bajo los siguientes pasos:

- Primero se discutió la forma y el tamaño del prototipo y el número de sub-ensambles que lo integran.
- Se diseñó pieza por pieza en pro engineer wildfire 5.0.
- Una vez terminado el diseño de cada pieza se hicieron los ensambles de cada sub-ensamble del prototipo.
- Posteriormente obteniendo cada sub-ensamble se prosiguió a ensamblar nuestro prototipo final.

3.2. CONSIDERACIONES DEL DISEÑO DEL SENSOR

Para el diseño del sensor de Anillo para medir peso se empleó el programa y el método desarrollado por Campos (1993) el cual considera las siguientes variables:

- ✓ = Fuerza (N)
- ✓ = Radio (m)
- ✓ = Ancho (m)
- ✓ = Espesor (m)
- ✓ = Constante
- ✓ Último esfuerzo del acero a ser empleado (Nm⁻²).

Para el diseño del ring de esfuerzo flexiónate se empleó la siguiente ecuación.

$$\sigma = \frac{6 Fr}{b t^2} \dots \dots \dots \text{Ecuación 3.1}$$

La ecuación para determinar la deformación del ring de acuerdo a las dimensiones anteriores; así como, su factor de seguridad es la siguiente:

$$L_{90^\circ} = 1.09 \frac{Fr}{Ebt^2} \dots \dots \dots \text{Ecuación 3.2}$$

$$\sigma_l = 1.09 \frac{Fr}{bt^2} \dots \dots \dots \text{Ecuación 3.3}$$

$$Fs = \frac{\sigma_\rho}{\sigma_l} \dots \dots \dots \text{Ecuación 3.4}$$

Donde:

F = Fuerza (N)

r = Radio del ring (m)

L = Modulo de elasticidad del acero (Pa)

b = Ancho del ring (m)

t = Espesor (m)

σ_l = Esfuerzo calculado

σ_ρ = Último esfuerzo normalizado (1045)

Fs = Factor de seguridad

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El prototipo diseñado (fig. 4.1.) cuenta con enganche de tres puntos para que sea montado al tractor, un bastidor, el cual mantiene suspendido el mecanismo de tamización que esta integrado por: sensores, tamices, un motor hidráulico y un mecanismo de biela manivela el cual genera un movimiento alternativo en los tamices, esto contara con una velocidad de 30 a 120 rpm y una frecuencia de cada 10 Hz, dependiendo la humedad de agregados, con una amplitud de 0 a 30 m y un espaciamiento de 0.05 m.

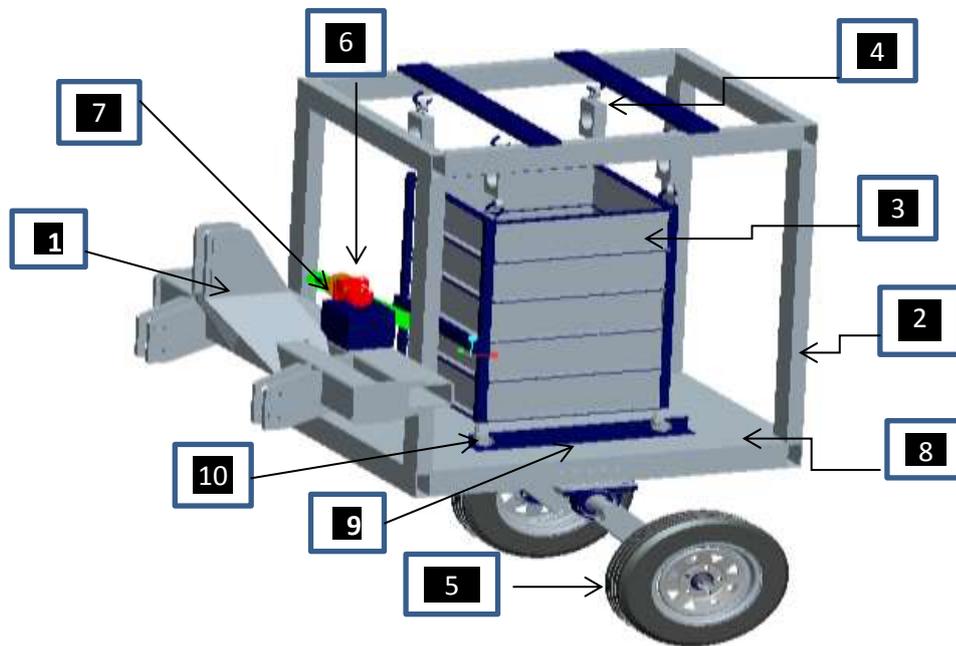


Figura 4. 1. Equipo de separación de agregados del suelo.

Cuadro 4. 1. Listado de componentes del equipo de selección del tamaño de agregados del suelo.

Punto	Descripción	Observación	Cantidad
1	Chasis delantero		1
2	Bastidor		1
3	Tamiz		5
4	Sensor		4
5	Sistema de desplace		1
6	Motor hidráulico		2
7	Mecanismo		1
8	Plataforma		1
9	Guías de desplace		2
10	Baleros		4

Las características y dimensiones de cada uno de los diseños del cuadro 4.2 se encuentran detallados en el anexo VII. El cual contiene las especificaciones para su fabricación elaboradas en PRO_ENGINEER 5.0.

4.1. CARACTERIZACIÓN DEL SENSOR DE RING

Para el funcionamiento del equipo seleccionador de tamaño de agregados se empleo un sensor desarrollado y evaluado por Gutiérrez (2012). Este sensor es un dispositivo que fue diseñado para medir el peso de los tamaños de los agregados de suelo y transformarla en una señal eléctrica.

Para la calibración del sensor ring se utilizó el que se describe a continuación: el sensor cuenta con una capacidad de 10 kN, las dimensiones de;

- Largo 100 mm.
- Alto 150 mm.
- Ancho 50 mm.
- Diámetro 50 mm.

El cual cuenta con los arreglos de las galgas en puente de wheatstone.

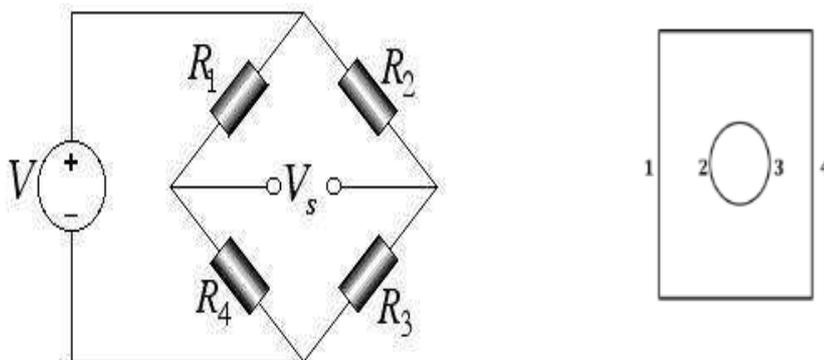


Figura 4. 2. Sensor de resistencia a la penetración y cableado del sensor del ring.

Las características de las galgas extensiométricas que fueron montadas en el elemento sensor, fueron las que se describen en el procedimiento descrito por Sakurai (1996) para el montaje de las galgas, Así como su verificación de aislamiento, debiendo este ser superior a los 50 MΩ.

En la figura (4.3), se muestra el ejemplo de la gráfica de los datos obtenidos en la calibración bajo condiciones de laboratorio del sensor ring, para las fuerzas aplicadas en Newton en el plano horizontal de acuerdo con los arreglos del puente de wheatstone.

Para la calibración del sensor bajo condiciones de laboratorio primeramente se instaló el equipo de adquisición de datos activando el programa Daq View, posteriormente, se realizaron 10 corridas con los siguientes pesos: tres de 45 kg y una de 30 kg. En esta evaluación se registraron 6, 000 datos para cada arreglo, siguiendo la secuencia siguiente: cada 600 datos de registró en el daq book se subía cada contrapeso, los cuales fueron cuatro (600, 1200, 1800 y 2400), pero una vez que este registraba 3000 datos los contrapesos se comenzaban a bajar uno por uno siguiendo la secuencia antes mencionada de 600 datos, como se muestra en la figura 4.3.

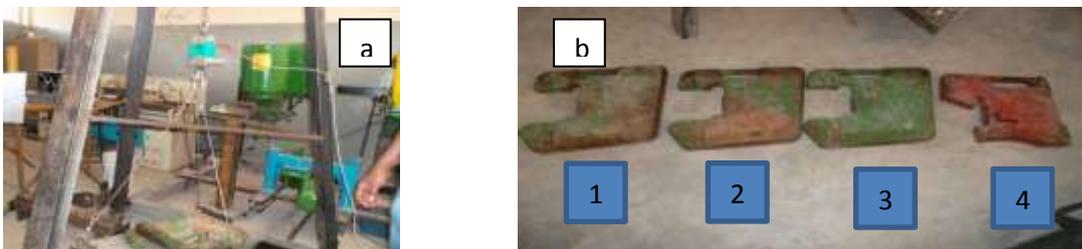


Figura 4. 3. Calibración del sensor (a y b).

En la figura (4.4), se muestra el ejemplo de la grafica de los datos obtenidos en la calibración bajo condiciones de laboratorio del sensor ring, para las fuerzas aplicadas en Newton en el plano horizontal de acuerdo con los arreglos del puente de wheatstone.

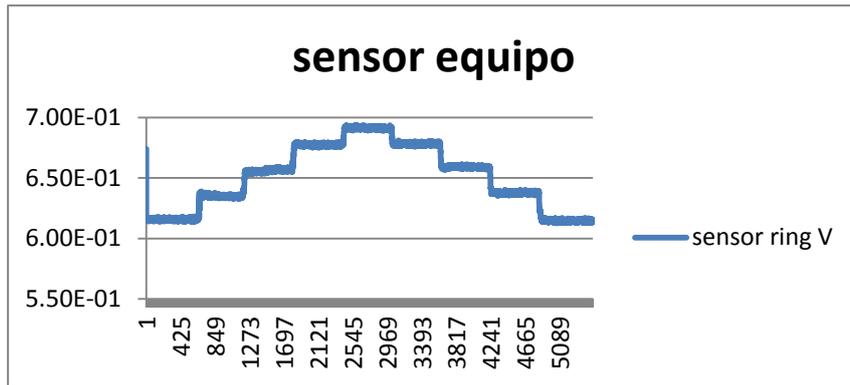


Figura 4. 4. Calibración de fuerzas del sensor ring con una capacidad de 10 kN. A diferentes fuerzas.

En la figura (4.5), se muestra la regresión lineal obtenida mediante los datos de calibración, bajo condiciones controladas empleando el paquete del programa estadístico de Minitab. En él se aprecia un alto coeficiente de correlación (R^2) de más del 99.7% entre las cargas aplicadas (N) y los valores obtenidos en (mv).

Esta linealidad de respuesta del sensor, nos da una alta confiabilidad de los datos a obtener bajo condiciones de campo.

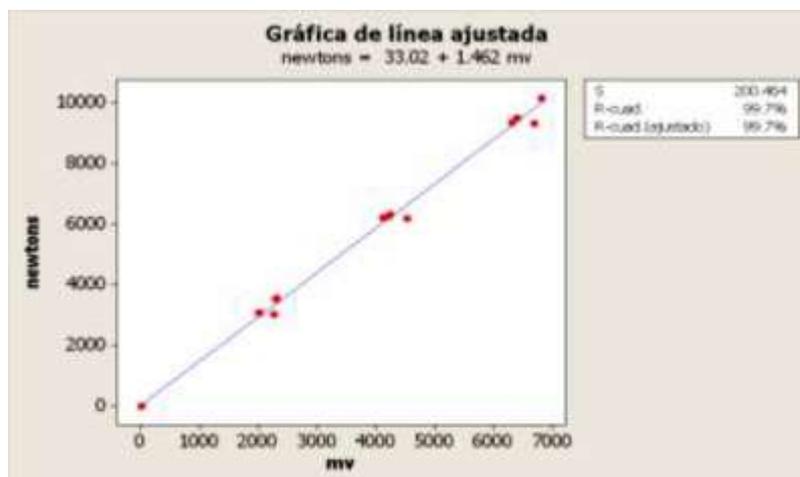


Figura 4. 5. Ecuación de respuesta de la fuerza, aplicada del sensor del ring con una capacidad de 10 KN.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con el objetivo planteado, se logró el diseño del equipo para la selección del tamaño de agregados del suelo. Además se le integró el mecanismo de biela manivela controlado por el motor hidráulico.

Se obtuvo la calibración del sensor integrado por un ring con una capacidad de 10 kN. Mostrando una alta sensibilidad de 1.462 mv/N y confiabilidad, con coeficientes de correlación de más del 99%, en los datos que se obtuvieron en la grafica de regresión.

La siguiente fase de este proyecto es la construcción del prototipo propuesto y su evaluación en términos de selección de tamaños de agregados.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Aluko, O.B., and D.A. Seig. 2000. An experimental investigation of the characteristics of and conditions for brittle fracture in two-dimensional soil cutting. *Soil Tillage Res.* 57:143-157.
- ❖ Barber, R.G., Navarro, F. y Orellana, M. 1993. *Labranza Vertical*. Centro de Investigación Agrícola Tropical, Misión Británica en Agricultura Tropical y Proyecto de Desarrollo Tierras Bajas del Este del Banco Mundial, Santa Cruz, Bolivia.
- ❖ Buckingham F. 1984. *Fundamentos de funcionamiento de maquinaria (FMO), serie cultivo*. Deere & Company Service Training. Moline, Illinois. E. U. A.
- ❖ Cabeda, 1984, "Efecto de la labranza sobre las características físicas del suelo" (Documento web).s/f, http://www.fao.org/ag/ags/AGSE/agse_s/7mo/iita/c2.htm#ini
- ❖ Campos Magaña, S.G.1993. *Development of minimum maize plante for Mexican agriculture*. Unpublished phd thesis, Newcastle University, England. 167p.
- ❖ Campos, M S. Wills, B.; Cadena Z., M; 2002. *Consideraciones para el diseño de transductores octagonales y su aplicación en la evaluación de implementos de labranza*. Memorias del XI congreso nacional de ingeniería agrícola (AMIA). Irapuato, Gto., México
- ❖ Camacho-Tamayo, J.H. y G.A. Rodríguez B. 2007. *Evaluación de implementos de labranza a diferentes velocidades de operación y contenidos de agua en el suelo*. *Agricultura Técnica* 67: 60-67.
- ❖ Conant R., M. Easter, K. Faustian, A. Swan and S. Williams, 2007. *Impacts of periodic tillage on soil C stocks: a synthesis*. *Soil Tillage Research* 95: 1-10.
- ❖ Carter, M.R., Gregorich, E.G., Anderson, D.W., Doran, J.W., Janzen, H.H. y Pierce, F.J. 1997. *Concepts of soil quality and their significance*. En *Soil quality for crop production and ecosystem health*.
- ❖ DÍAZ, D. CARDONA, N. 2005. *Determinación de la influencia de los tamaños de agregados del suelo en plantas de coliflor*. en Santa fe de Antioquia. Trabajo de manejo y conservación de suelos.
- ❖ FAO. 1994. *Erosión de suelos en América Latina*. *Suelos y Aguas*. p. 33-52.

- ❖ FAO 2000. Manual de prácticas integradas de manejo de conservación de suelos. Roma, Italia, Cap 8 pp. 59-85.
- ❖ FAO.2003“Los principales tipos de labranza” (Documento web).s/f.http//www.fao.org./ag/ags/AGSE/agse_s/7 mo/iita/c8.htm#ini.
- ❖ FAO.2003” principios generales para el desarrollo de estrategias para el manejo de suelos” (Documento web).s/f http//www.fao.org./ag/ags/AGSE/agse_s/7 mo/iita/c3.htm#ini .
- ❖ González, C. G., I. Sánchez-Cohen, y D. García-Arellano. 2004a. Relaciones entre el manejo del huerto de nogal y la porosidad del suelo. Terra Latino. (22): 279-287.
- ❖ Gutiérrez, M; J (2012). Sensores de diagnóstico aplicados a la labranza para agricultura de precisión.
- ❖ HOYOS; P. E, AMEZQUITA1 R.J. THOMAS, R.R. VERA. D.L. MOLINA. 1999. Effect the land use system in aggregate size distribution of soil from the eastern plains of Colombia. En Revista Suelos Ecuatoriales • V. 29. Nª1 –Junio. p 61.
- ❖ Hoogmoed. W.B. 1999 Tillage for soil and water conservation in the semiarid tropic. Wageningen Agricultural University. The Netherlands.
- ❖ Hunt D. 1986. Maquinaria Agrícola: Rendimiento económico, costos, operaciones, potencia y selección de equipo. Manual de laboratorio y de trabajo. Trad. Farm Power and Machinery Managment. 1º reimp. En Español. Ed. LIMUSA. México, D.F. Pp 435.
- ❖ Lal R. 1991. Soil structure and sustainability. Sust. Agric. 1 (4):67-92. Lal, R. 1995. Tillage systems in the tropics: Management options and sustainability implications. *Soils Bulletin* 71. FAO, Rome, Italy.
- ❖ OHEP, C; F. 1998. Relaciones entre algunas propiedades físicas del suelo y laproducción del pimentón (*Capsicum annum* L.). Revista del instituto deEdafología de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Venezuela.
- ❖ Ortiz-Cañavate, J. y Hernaz, J. 1989. Técnica de la mecanización Agraria. 3era. Ed. 643 p. Mundial – Prensa. Madrid, España.
- ❖ Pacheco, B, O. 2000. Medidas de conservación para suelos potencialmente erosionables de relieve llano ha ondulado. Tesis en opción al título de Master en Fertilidad del Suelo, 50 pp.

- ❖ TISDALL, J.M; OADES, J.M. 1982. Organic matter and water stable aggregates in soils. *Journal of Soil Sciences* 33:141-163.
- ❖ Uribe C. H. y Rouanet M. J. L. 2002. Efecto de tres sistemas de labranza sobre el nivel de humedad en el perfil del suelo, *Agricultura Técnica*, vol. 62, No. 4 pp. 555 – 564.
- ❖ VÉLEZ, C. 2002. Física de suelos y la relaciónsuelo/planta/agua/atmósfera/labranza. 2002. En: <http://www.sagangea.org/hojaredsuelo/paginas/17hoja.html>.
- ❖ Vidal CM, Costa JL. 1998. Evaluación de algunas propiedades físicas en sistemas de labranza reducida y siembra directa. *RIA* Vol. 29. p. 211,212.

VII. ANEXOS

Anexo A

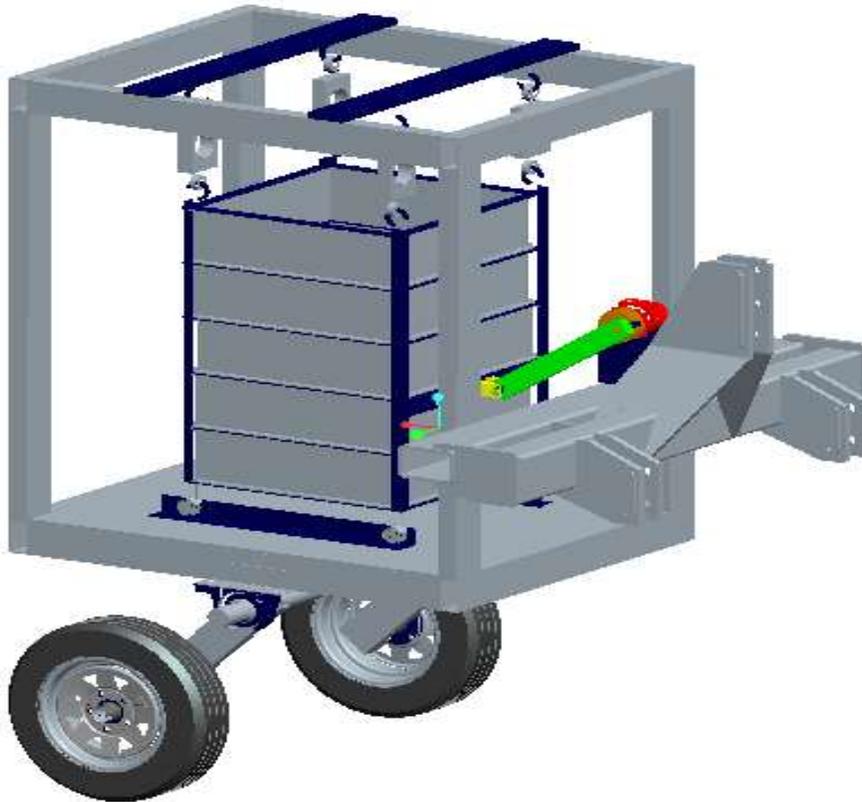


Figura A1. Equipo de selección de tamaño de agregados del suelo.

Cuadro A1. Partes que integran el equipo de selección de agregados

ITEM	NAME	QTY
1	CHASIS DELANTERO	1
2	BASTIDOR	1
3	TAMIZ	5
4	ENSAMBLE LLANTA	2
5	PERFIL DE LLANTA	2
6	EJE CENTRAL LLANTA	1
7	BASE CHUMASERA	2
8	CHUMASERA	2
9	MOTOR HIDRAULICO	1
10	MECANISMO	1
11	PLATAFORMA	1
12	BALERO	4
13	SENSOR	4

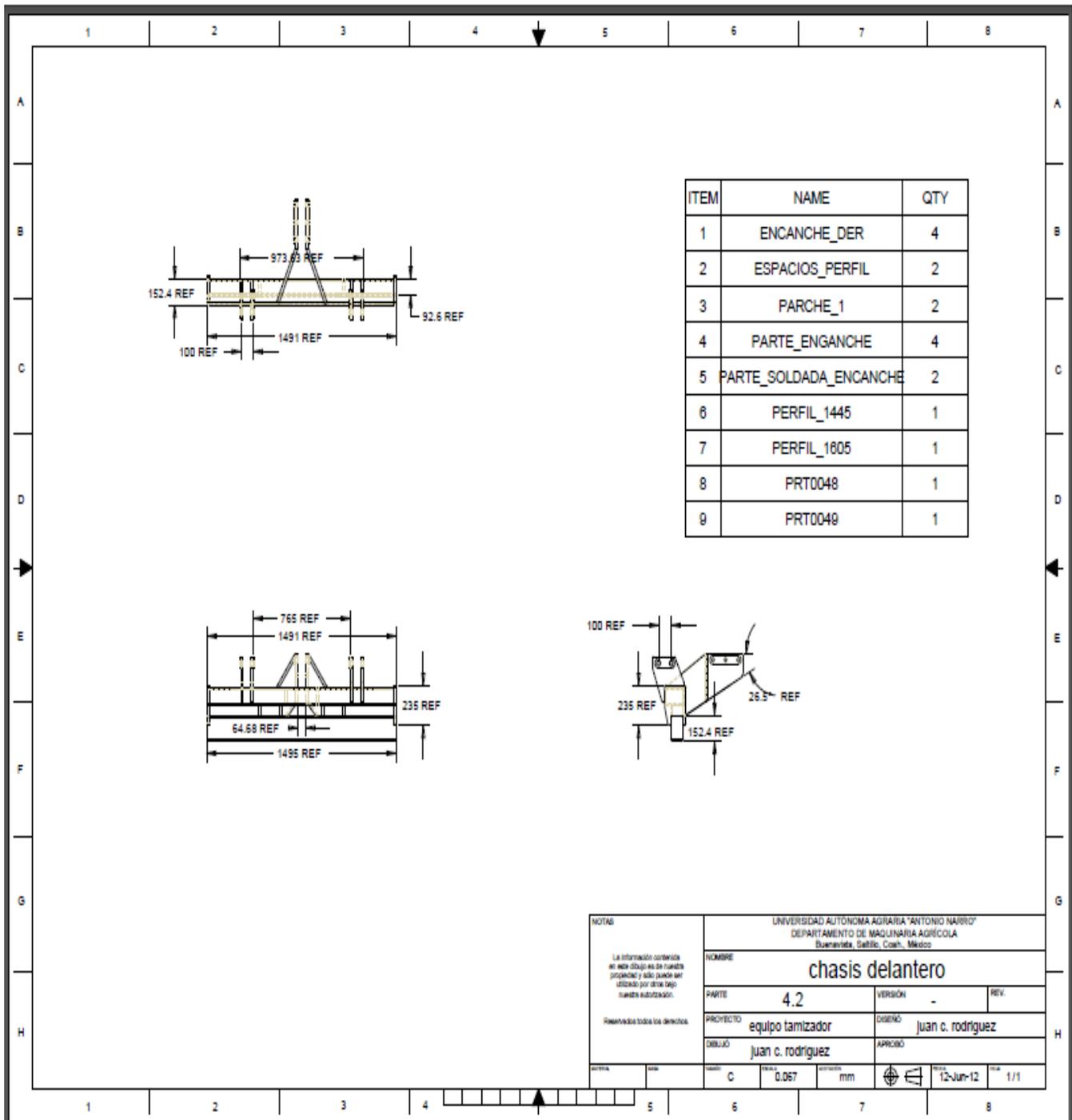


Figura A2. Plano del chasis delantero.

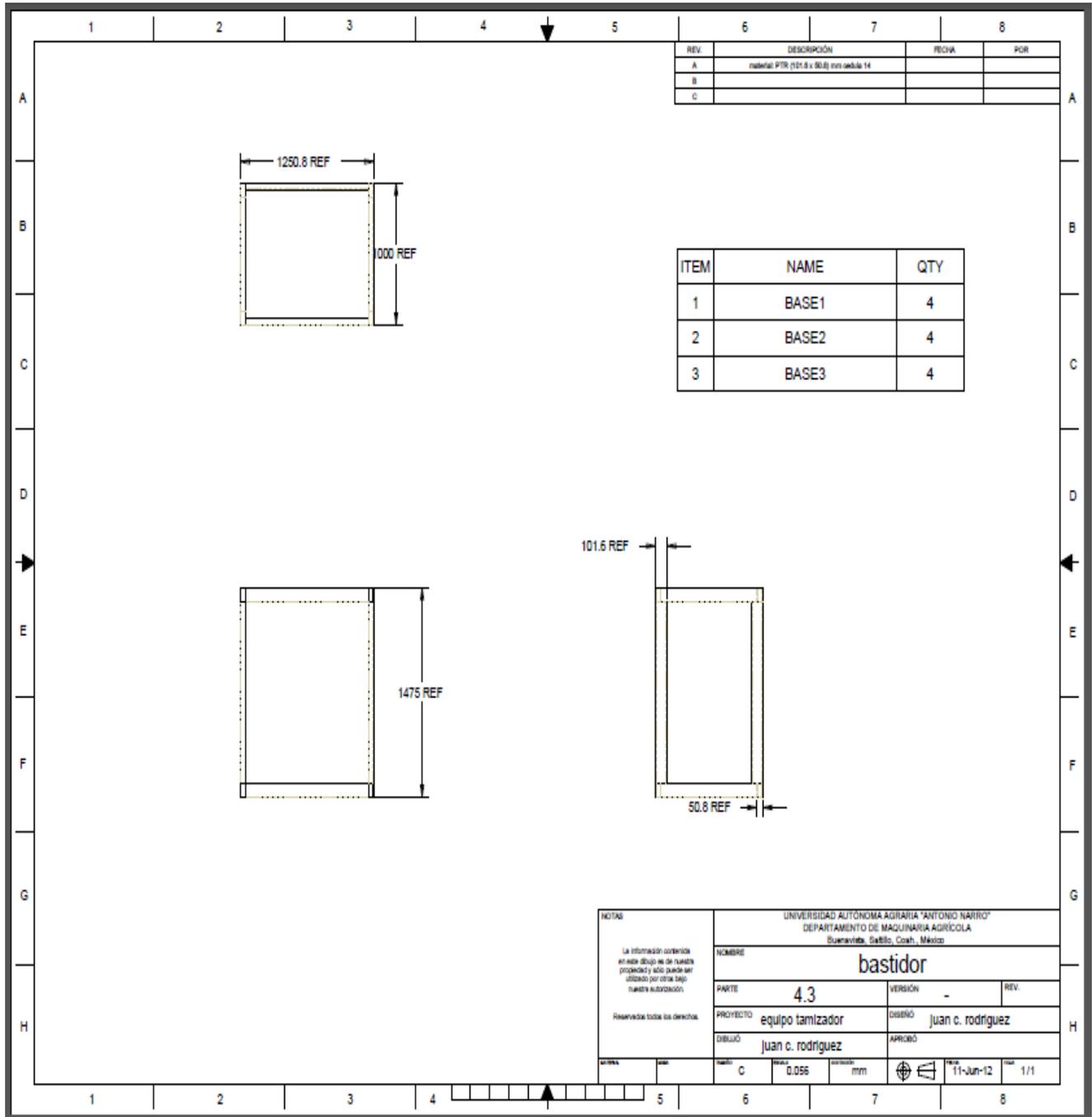


Figura A3. Plano del bastidor

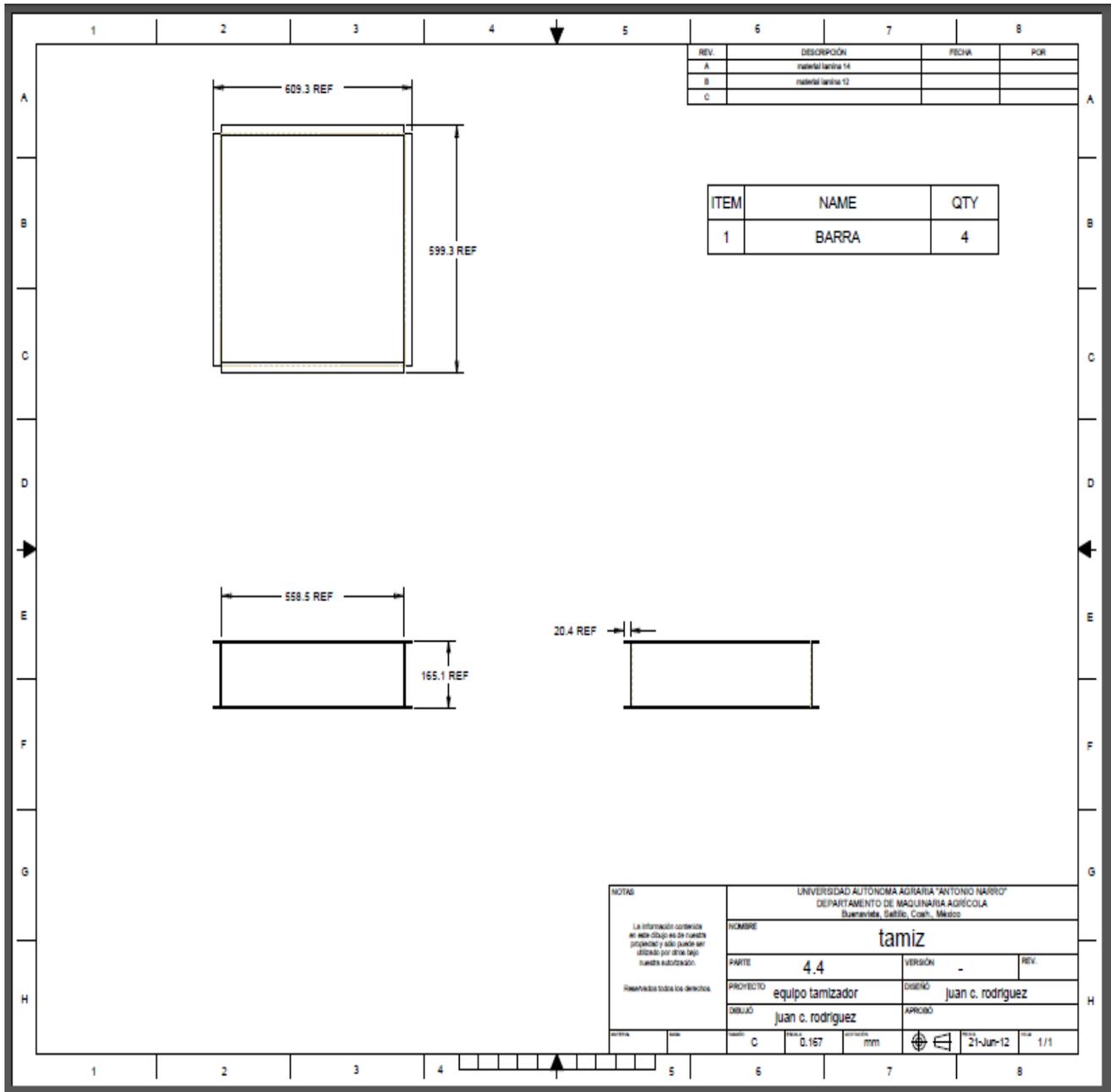


Figura A4. Plano del tamiz.

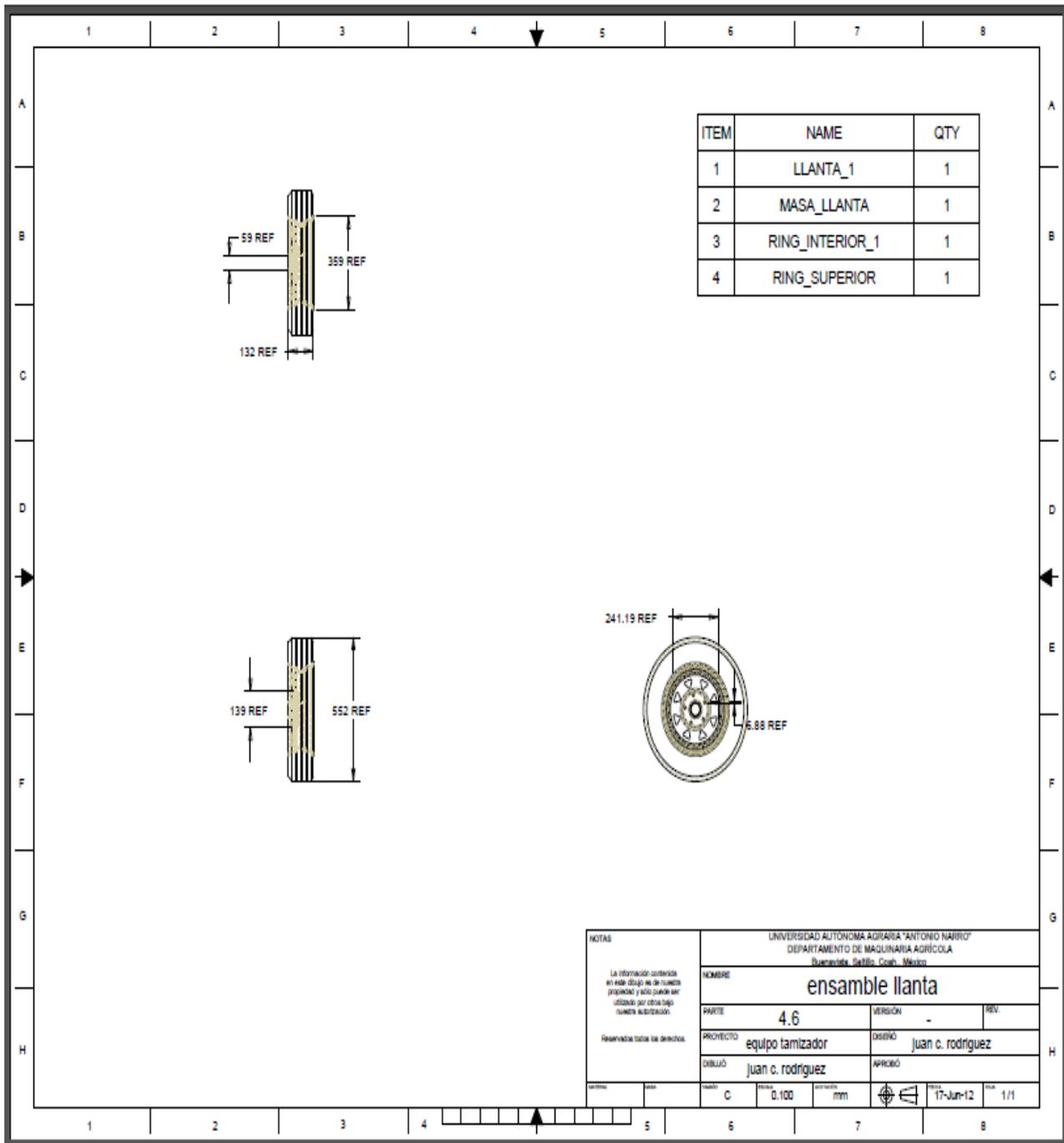


Figura A5. Plano del ensamble de llanta.

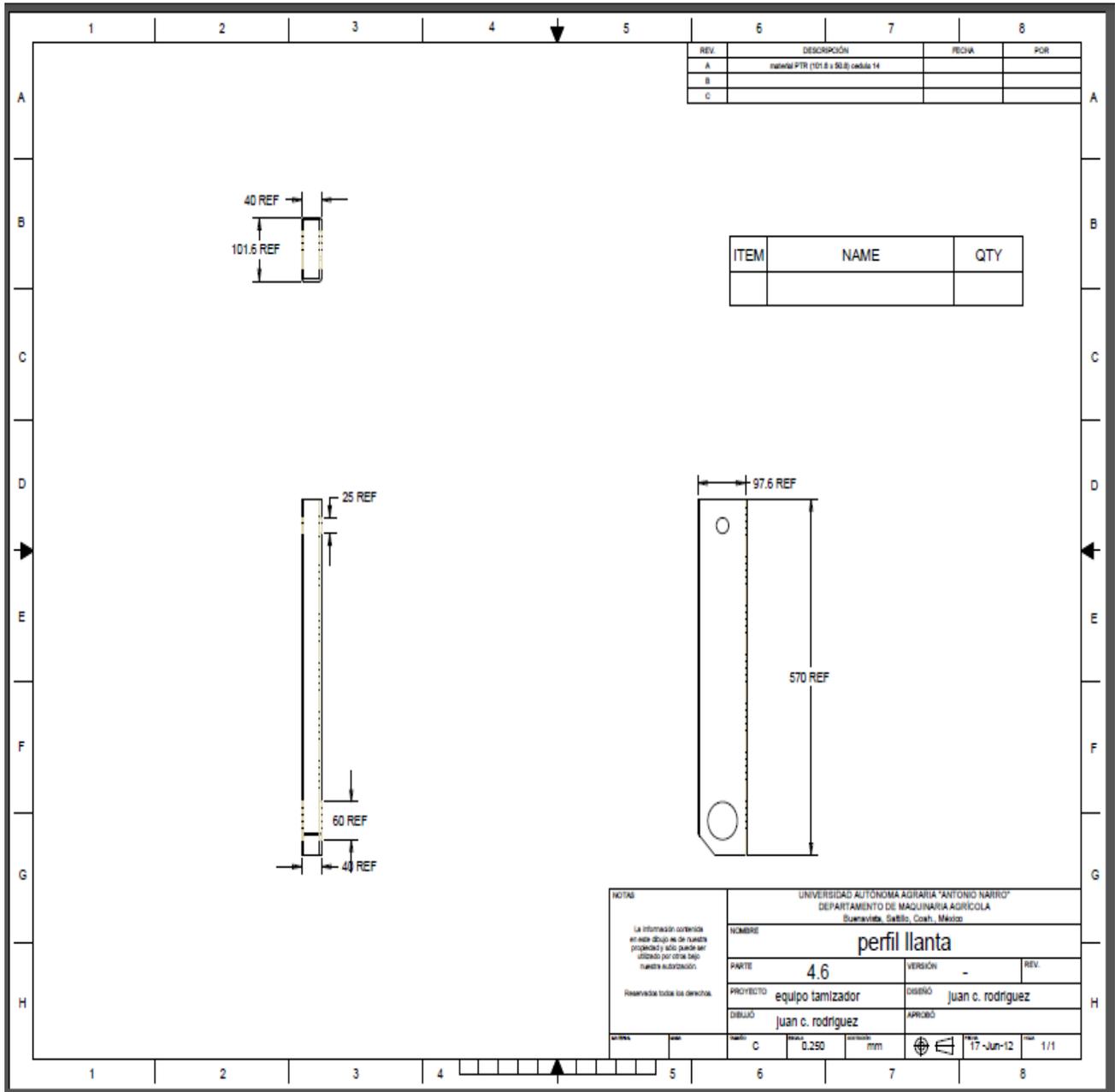


Figura A6. Plano del perfil de llanta.

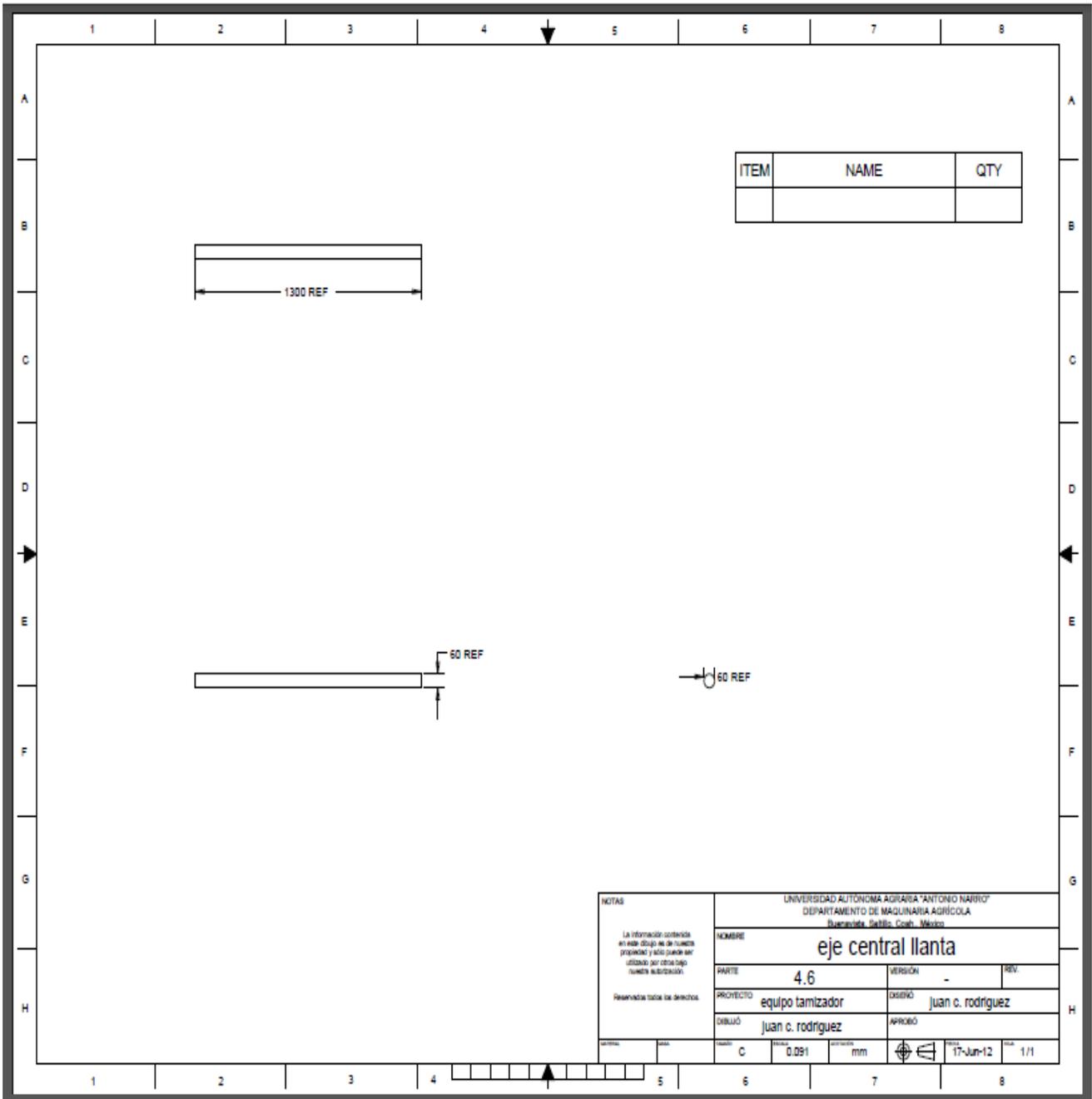


Figura A7. Plano del eje central de la llanta.

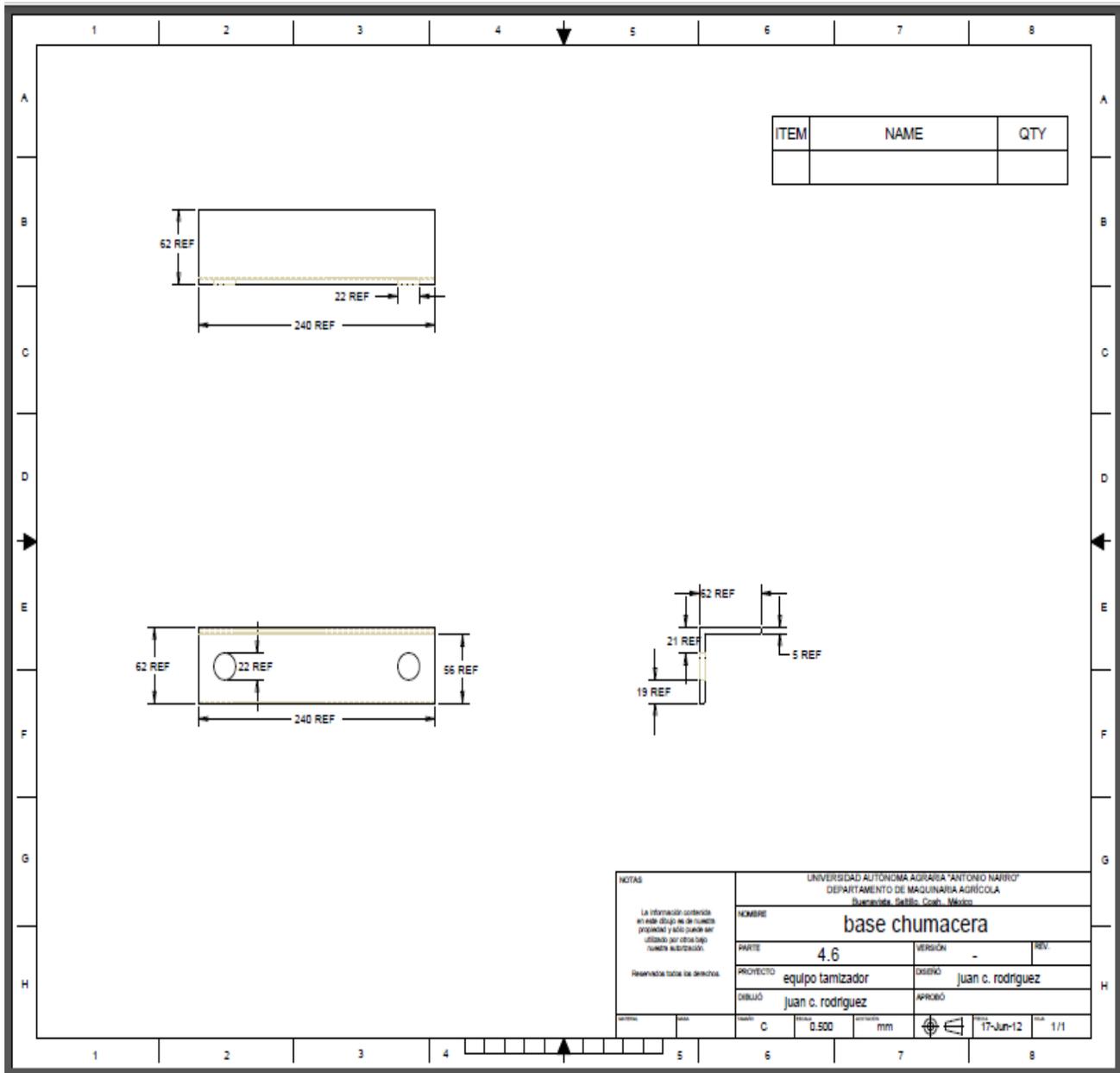


Figura A8. Plano de la base de la chumacera.

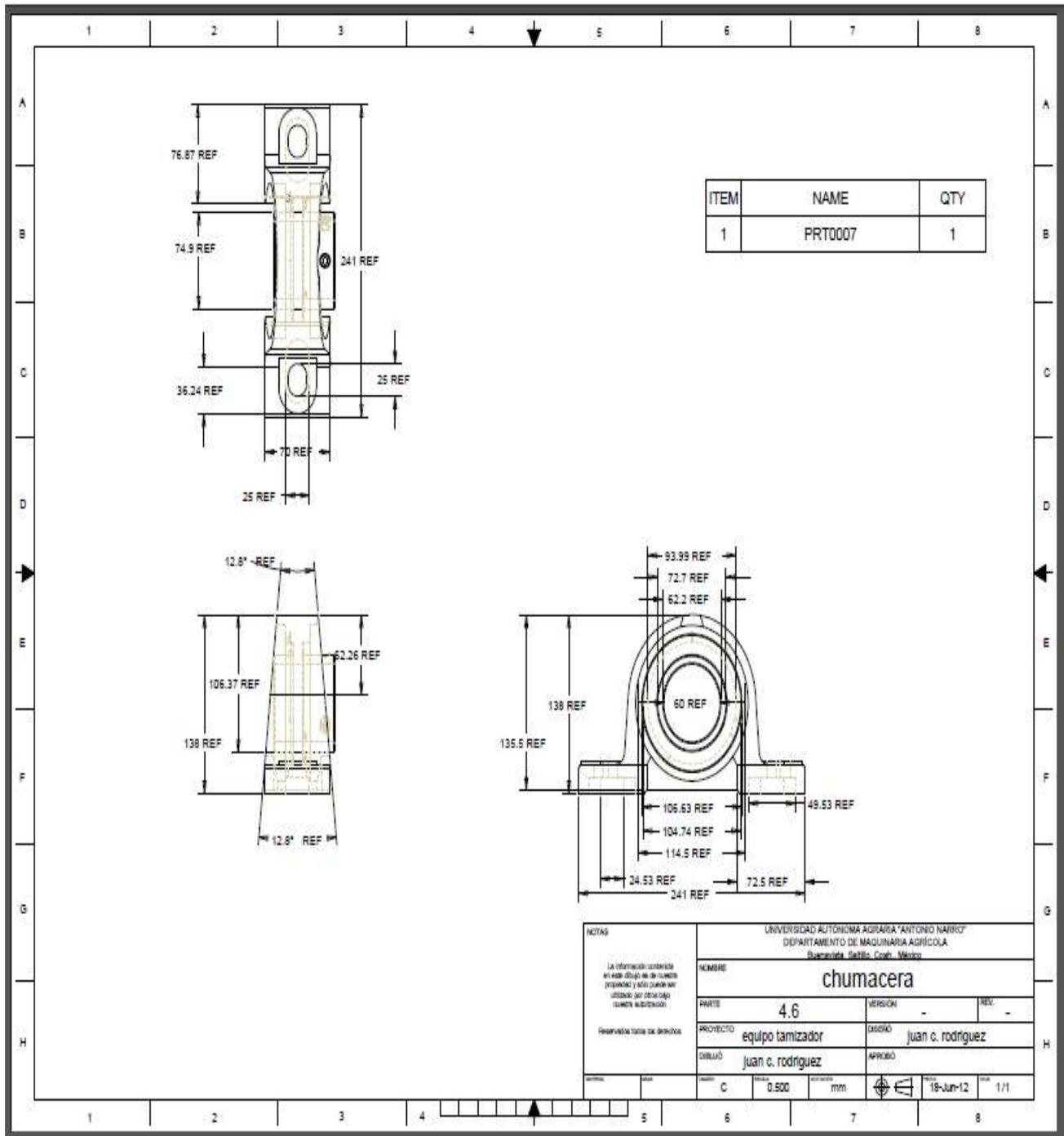


Figura A9. Plano de la chumacera.

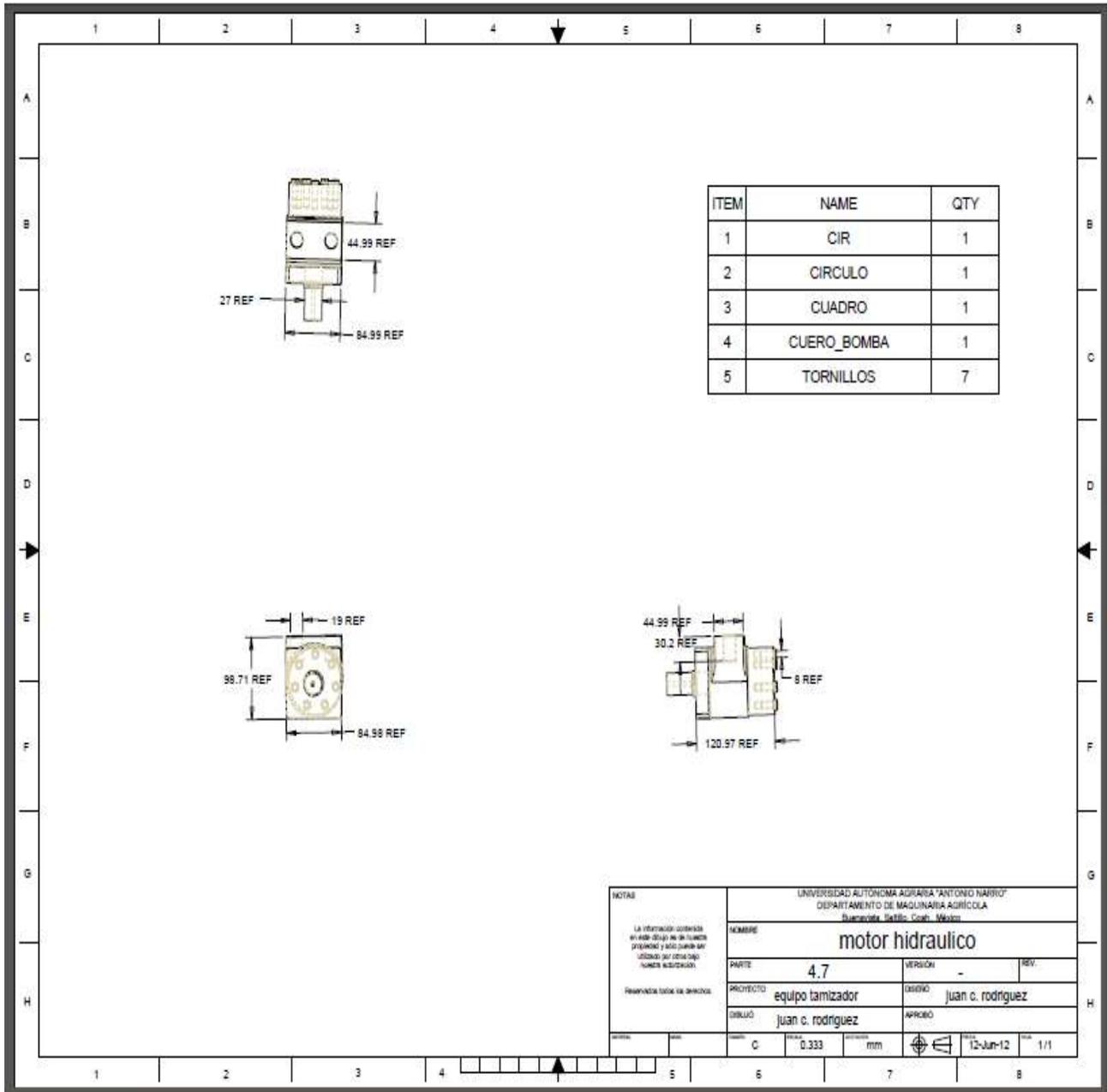


Figura A10. Plano del motor hidráulico.

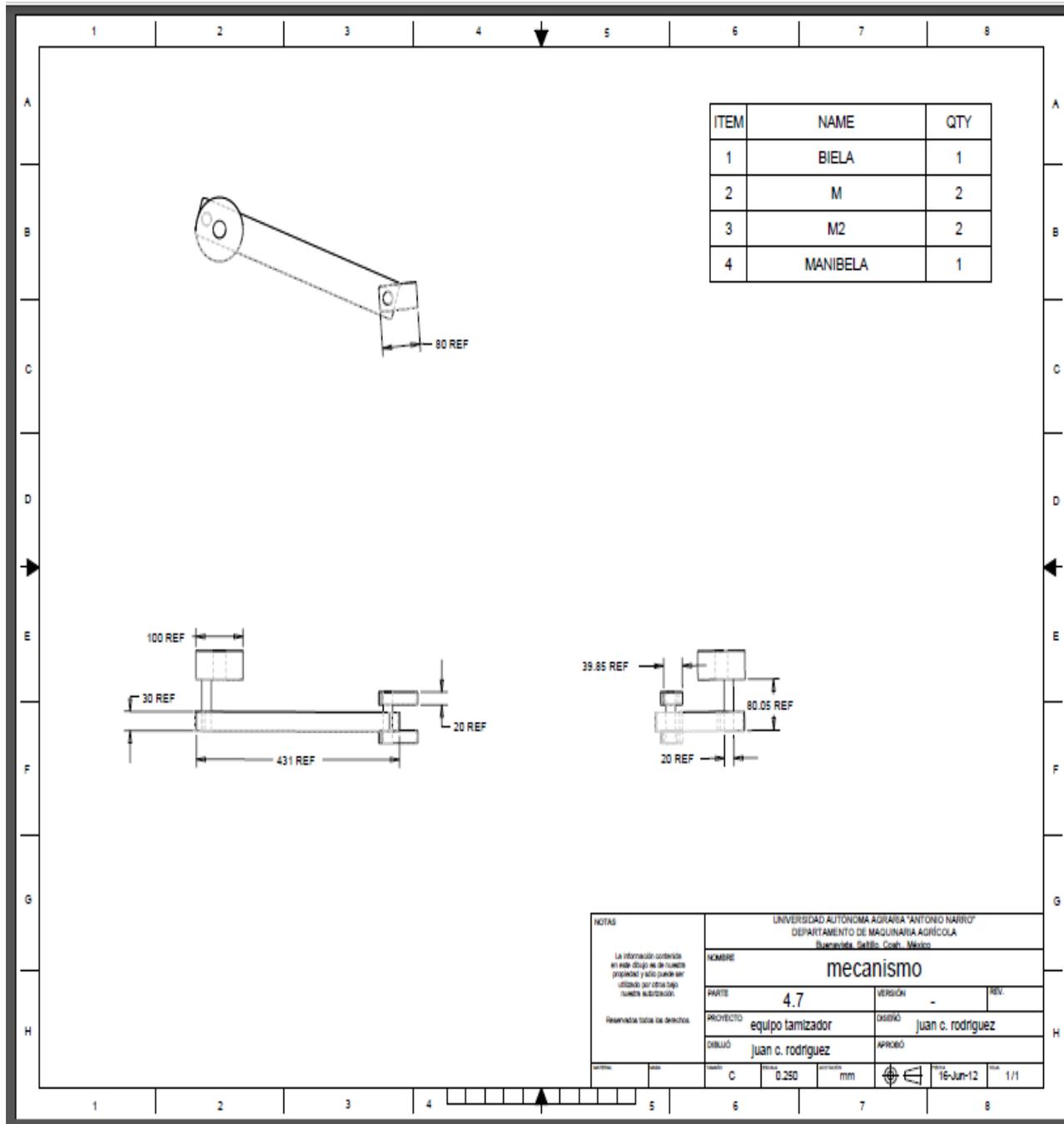


Figura A11. Plano del mecanismo.

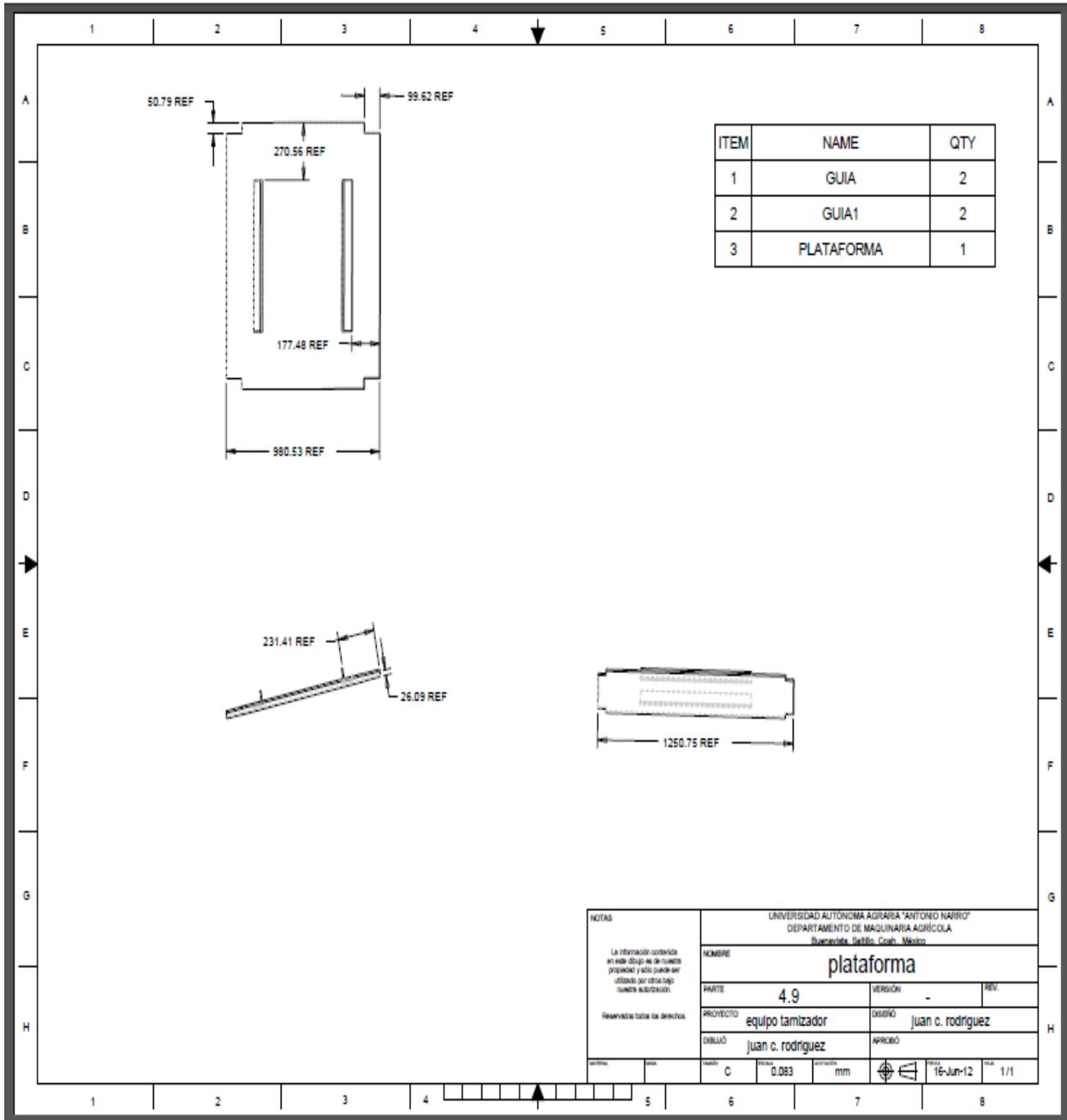


Figura A12. Plano de la plataforma.

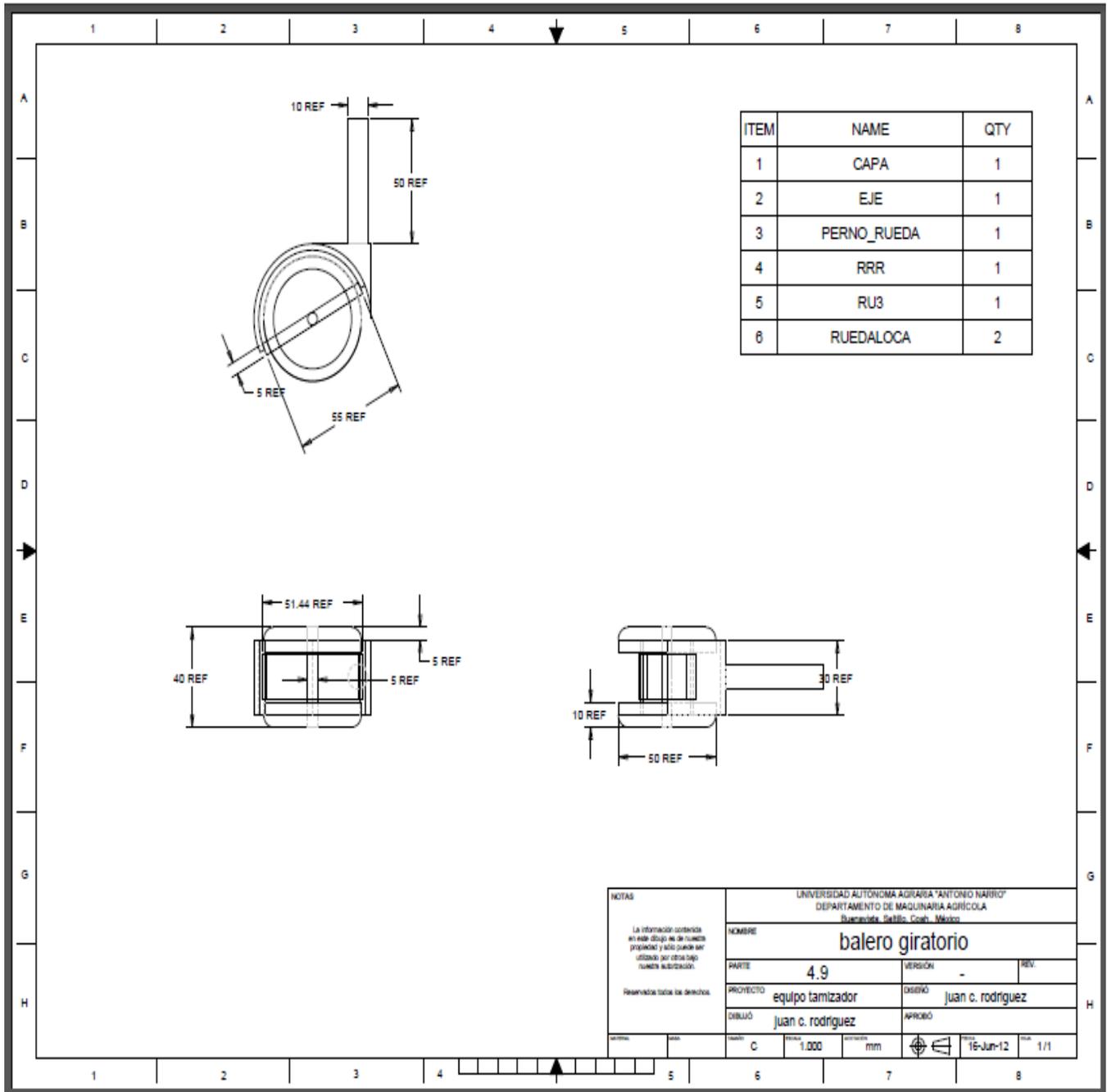


Figura A13. Plano del balero.

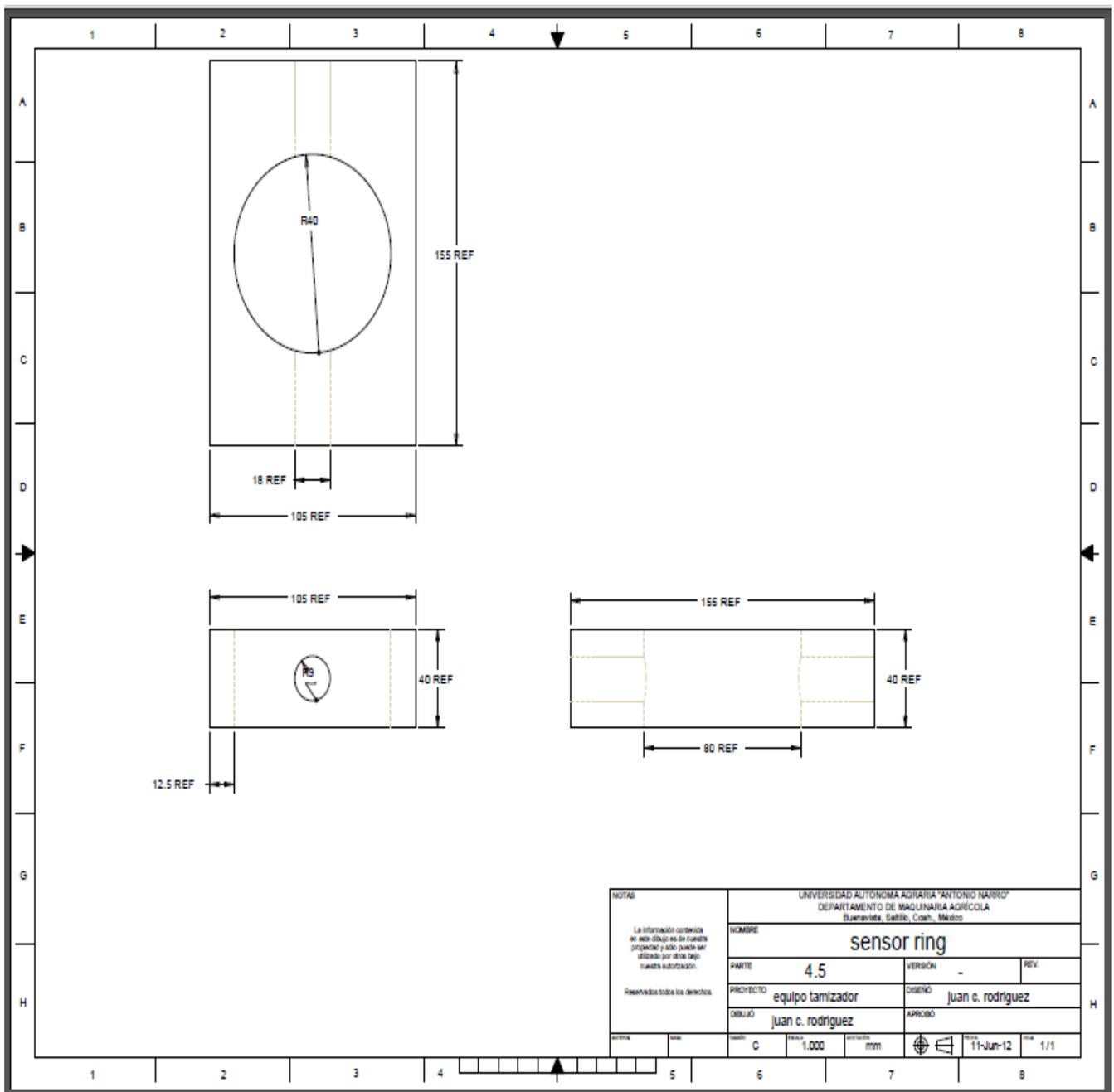


Figura A14. Plano del sensor de ring.

ANEXO B

DETALLES DE CALIBRACION BAJO CONDICIONES DE LABORATORIO DEL SENSOR RIN.

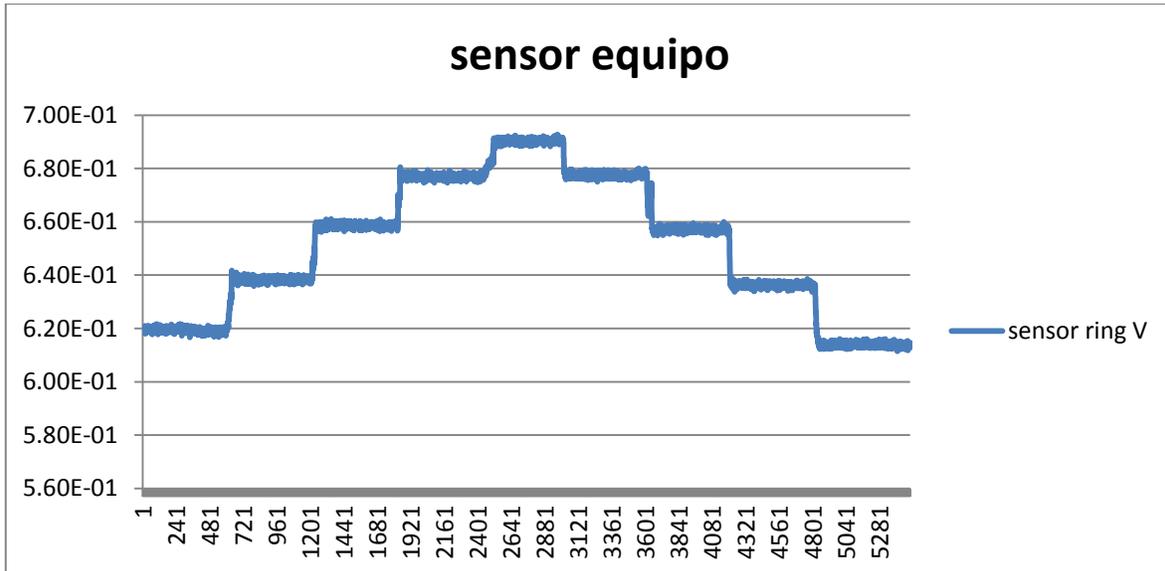


Figura B1. Calibración de fuerza del sensor ring con capacidad de 10 KN.

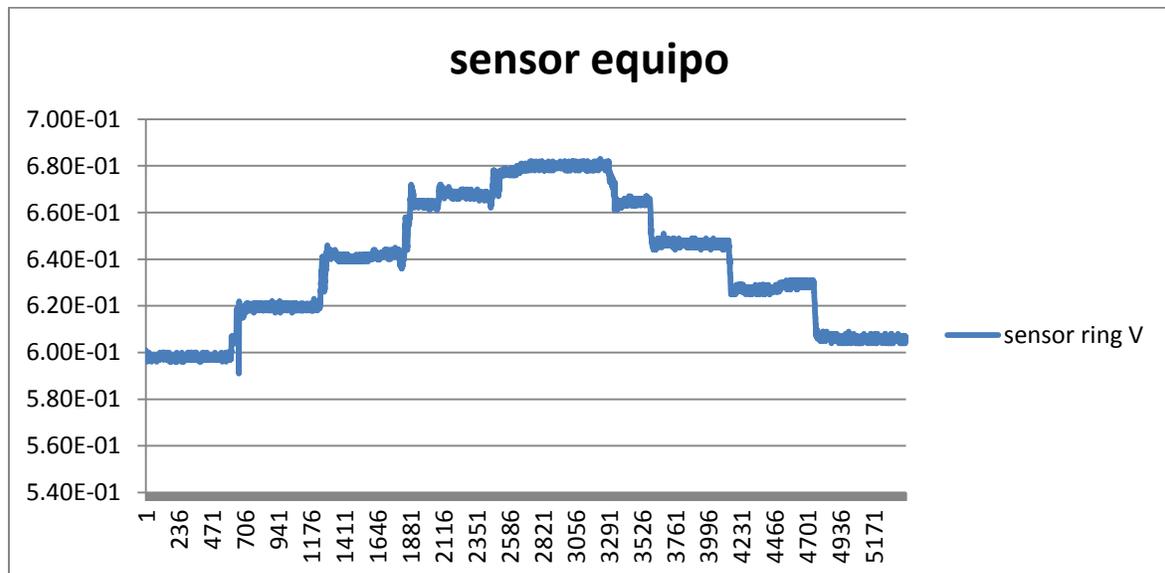


Figura B2. Calibración de fuerza del sensor ring con capacidad de 10 KN.

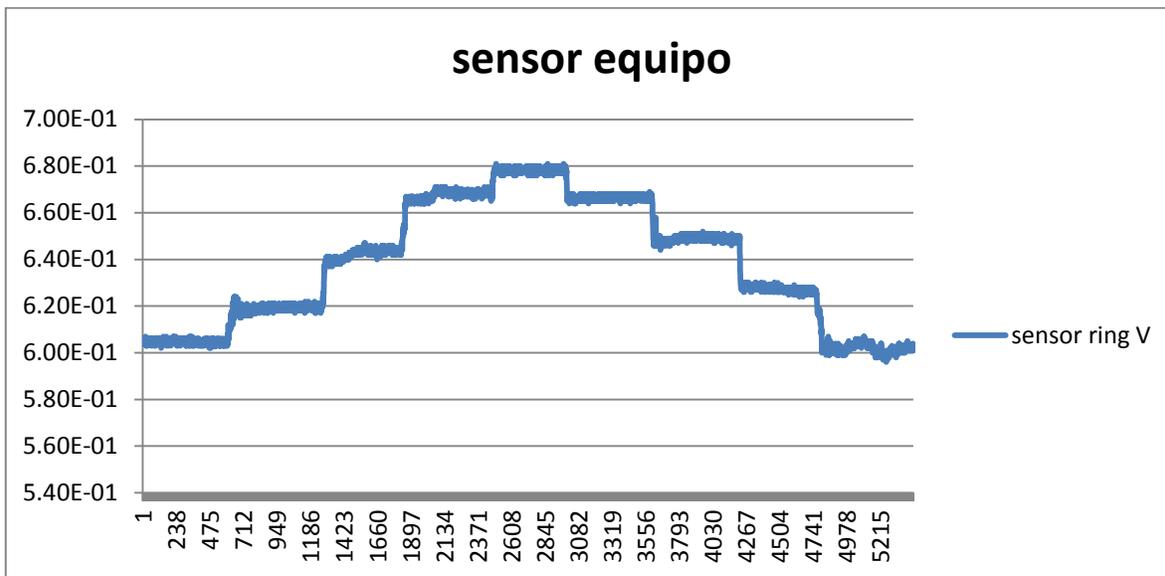


Figura B3. Calibración de fuerza del sensor ring con capacidad de 10 KN.

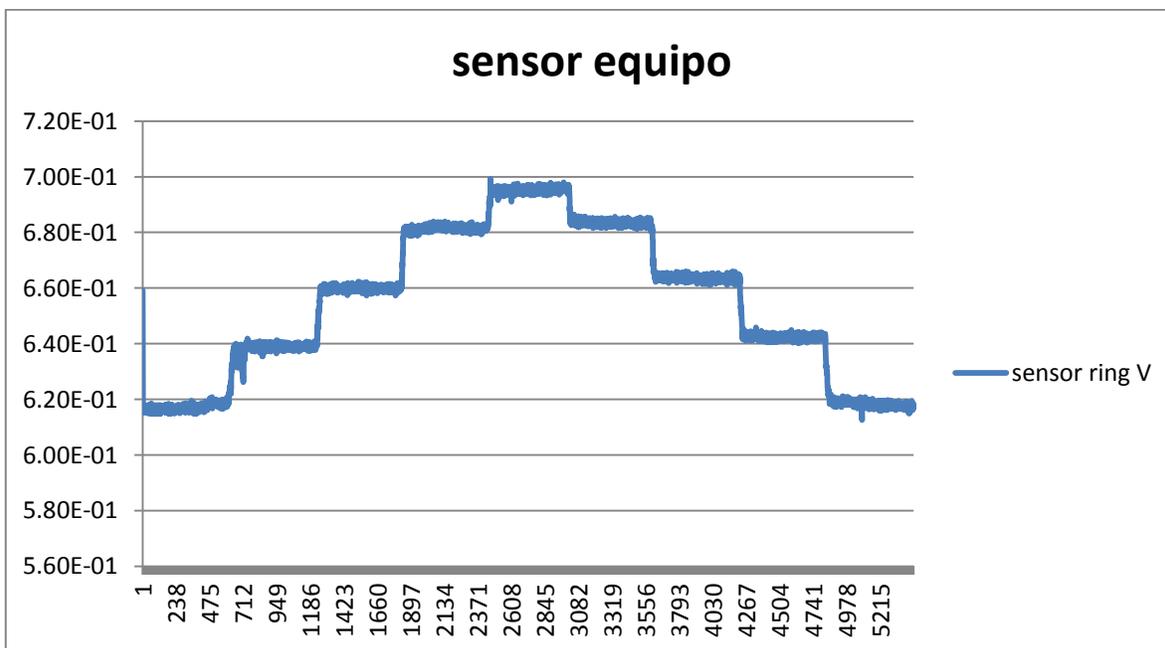


Figura B4. Calibración de fuerza del sensor ring con capacidad de 10 KN.

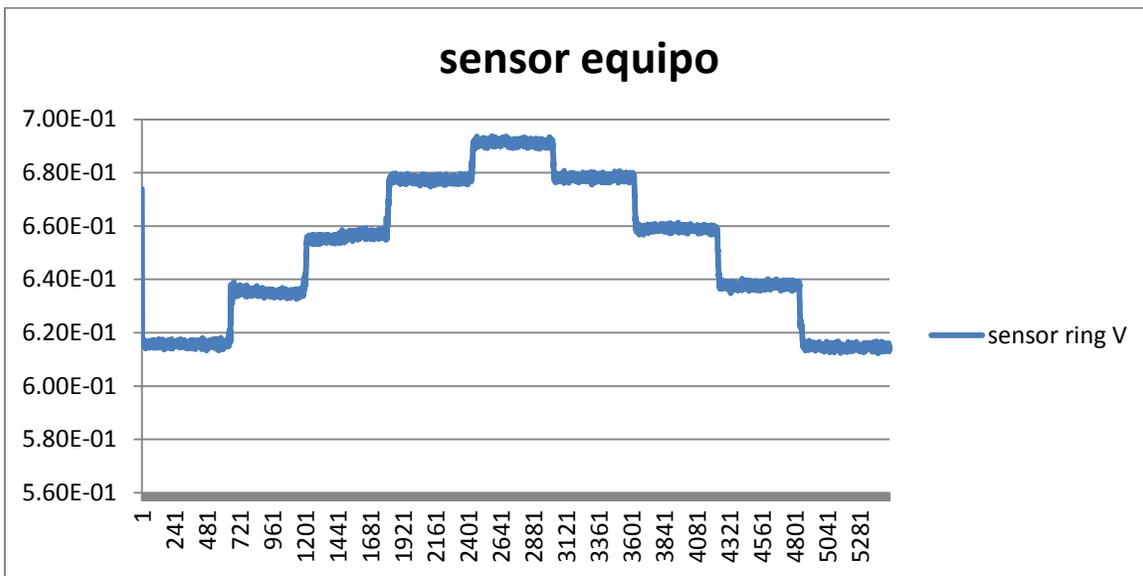


Figura B5. Calibración de fuerza del sensor ring con capacidad de 10 KN.

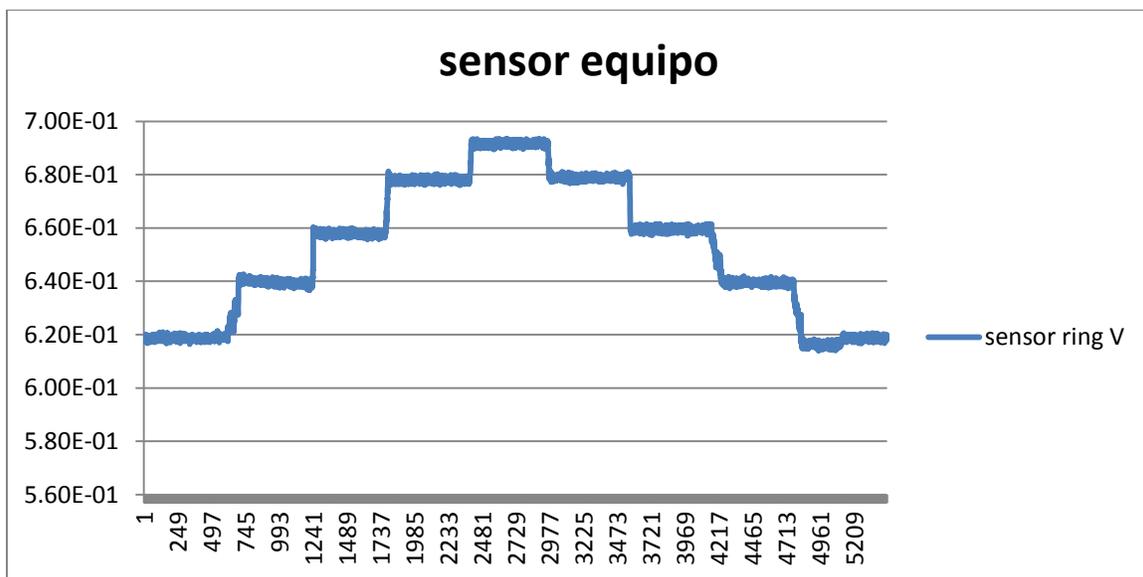


Figura B6. Calibración de fuerza del sensor ring con capacidad de 10 KN.

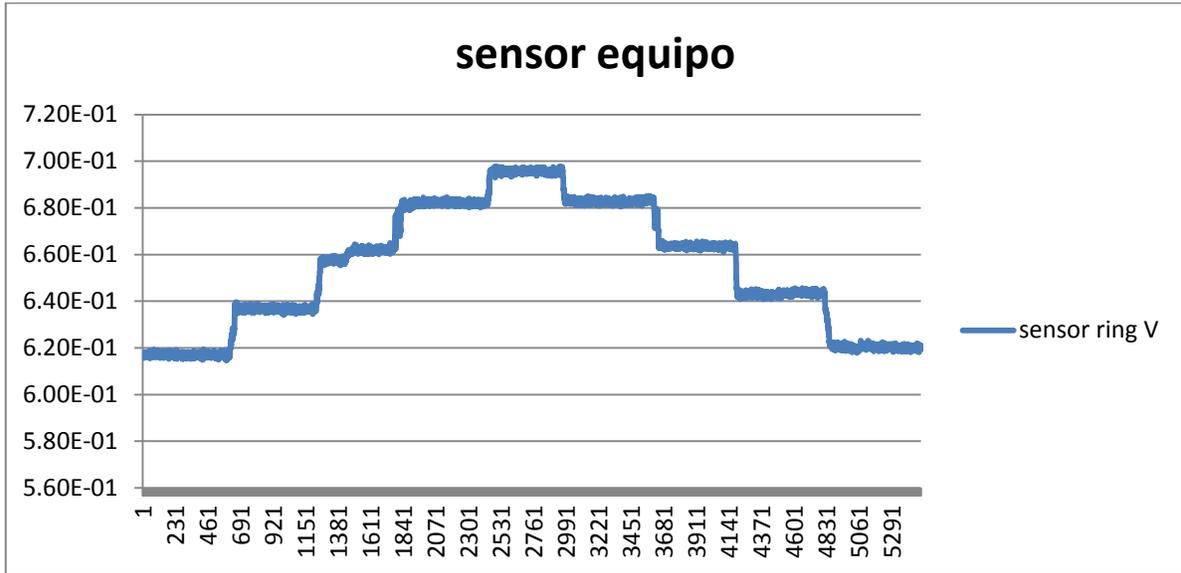


Figura B7. Calibración de fuerza del sensor ring con capacidad de 10 KN.

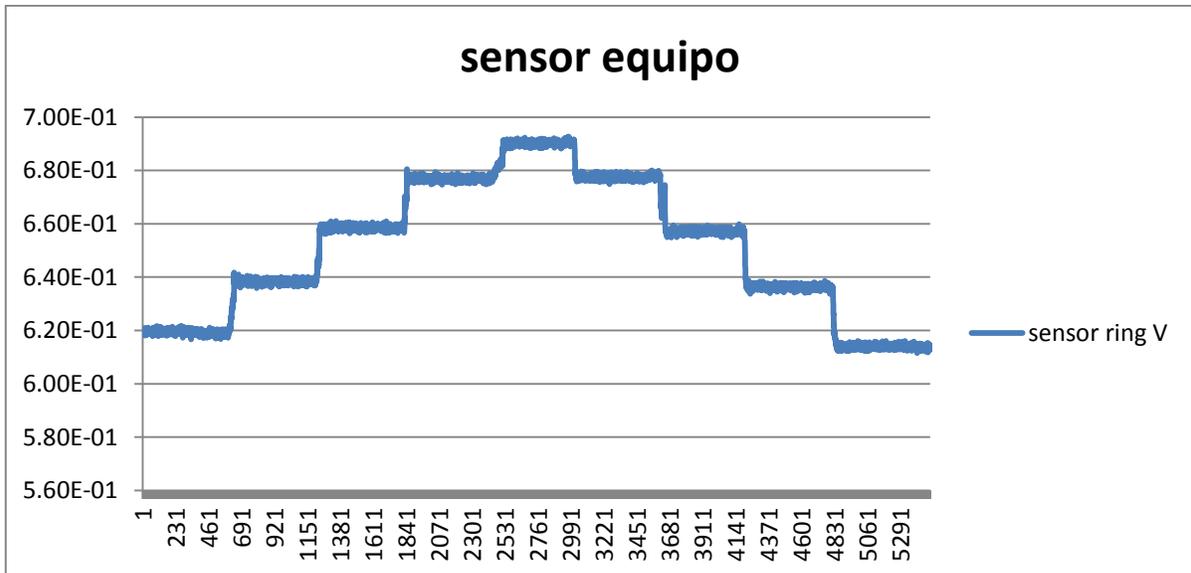


Figura B8. Calibración de fuerza del sensor ring con capacidad de 10 KN.

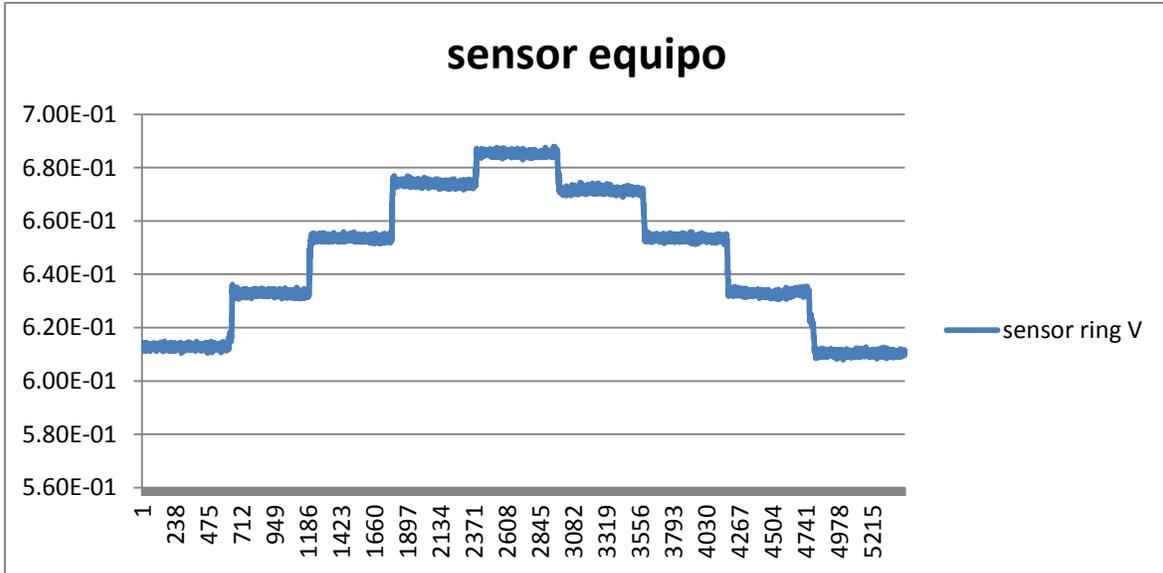


Figura B9. Calibración de fuerza del sensor ring con capacidad de 10 KN.

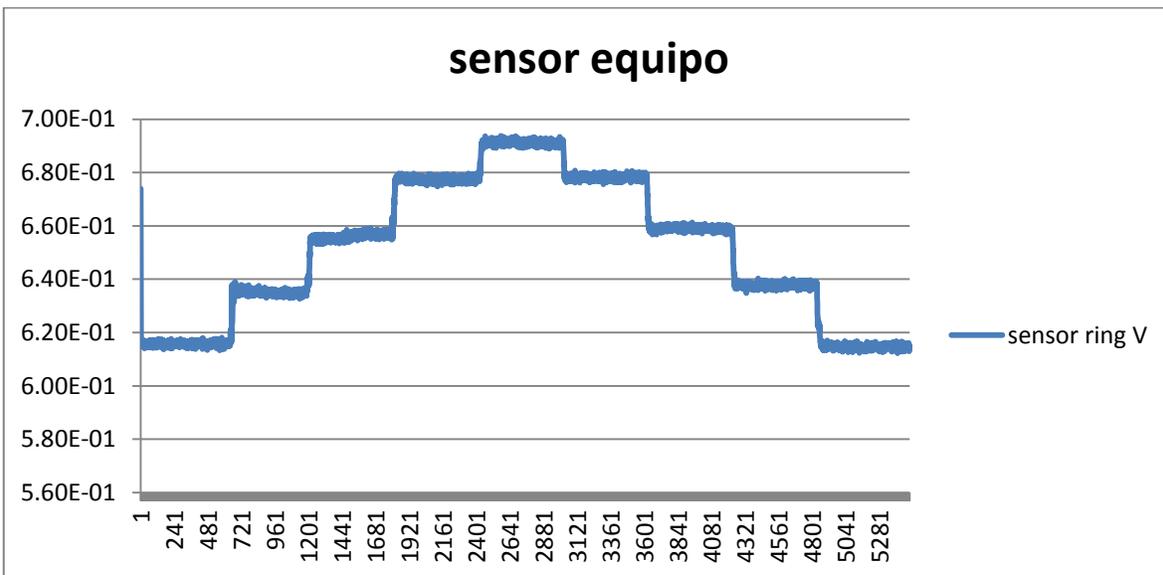


Figura B10. Calibración de fuerza del sensor ring con capacidad de 10 KN.