



---

---

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**

**“ANTONIO NARRO”**

DIVISION DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA



Evaluación De Un Transductor Integral De Fuerza Bajo  
Condiciones De Campo.

Por:

**César Alberto Ozuna Gómez**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Agosto del 2011.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA**

**EVALUACIÓN DE UN TRANSDUCTOR INTEGRAL DE FUERZA  
BAJO CONDICIONES DE CAMPO.**

POR:

**César Alberto Ozuna Gómez**

TESIS

Que Somete a Consideración del H. Jurado Examinador Como Requisito Parcial  
para Obtener el Título de:

**INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA**

Aprobado por el comité de tesis

Director de Tesis

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Santos Gabriel Campos Magaña**

Co-Director de Tesis



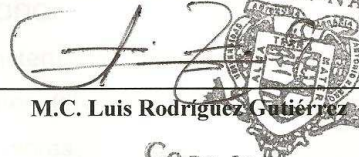
\_\_\_\_\_  
**Dr. Martin Cadena Zapata**


Sinodal



\_\_\_\_\_  
**Ing. Juan Arredondo Valdez**

Coordinador de la división de ingeniería

  
\_\_\_\_\_  
**M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez**

  
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO  
AGOSTO DEL 2011.

## INDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO .....	i
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iii
ÍNDICE DE CUADROS .....	vi
AGRADECIMIENTOS .....	vii
DEDICATORIAS .....	ix
RESUMEN .....	1
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes .....	2
1.2. Objetivos e hipótesis .....	7
Objetivo general .....	7
Objetivos específicos .....	7
Hipótesis .....	7
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>8</b>
2.1. Tecnología de implementos .....	8
2.1.1 Factores de diseño para herramientas de labranza .....	8
2.1.2 Fuerzas actuando sobre una herramienta de labranza .....	9
2.1.3 Relación de la fuerza vertical y horizontal .....	11
2.2. Análisis de esfuerzos .....	12
2.3. Análisis teórico del diseño del anillo .....	17
2.4. Transductores .....	22
2.4.1 Factores involucrados en la selección para el diseño de un transductor de fuerzas .....	24
2.4.2 Galgas extensiométricas .....	25
2.4.3 Puente de Wheatstone .....	28
2.5. Sistema de adquisición de datos .....	30
<b>III. MATERIALES Y MÉTODO .....</b>	<b>31</b>
3.1. Criterios para las características del transductor .....	32
3.2. Selección y dimensiones del material para los sensores .....	33
3.3. Fabricación de los sensores .....	34
3.4. Acondicionamiento de sensores .....	34

3.5. Estructura flotante .....	35
3.6. Calibración del equipo y transductor .....	36
3.6.1 Preparación del equipo de adquisición de datos .....	37
3.6.2 Preparación del software para capturar datos .....	37
3.6.3 Calibración directa del equipo .....	38
3.6.4 Registro de información.....	38
3.7. Análisis de datos .....	39
3.8. Análisis de información .....	39
<b>IV. RESULTADOS.....</b>	<b>41</b>
4.1. Diseño, construcción y calibración de transductores axiales .....	41
4.2. Calibración de los sensores .....	43
4.2.1. Calibración del sensor octagonal negro. ....	43
4.2.2. Calibración del sensor octagonal de energía.....	45
4.2.3. Calibración del sensor octagonal amarillo. ....	47
4.2.4. Calibración del sensor octagonal amarillo. ....	48
4.3. Pruebas con arreglos de medios puentes.....	50
4.3.1. Pruebas concentradas a distancia de 0.56 m.....	50
4.3.2. Pruebas concentradas a distancia de 0.73 m.....	54
4.3.3. Pruebas desfasadas a distancia de 0.56 m.....	56
4.3.4. Pruebas desfasadas a distancia de 0.73 m.....	59
4.4. Pruebas con arreglos completos.....	61
4.4.1. Pruebas concentradas a distancia de 0.56 m.....	61
4.4.2. Pruebas concentradas a distancia de 0.73 m.....	64
4.4.3. Pruebas desfasadas a distancia de 0.56 m.....	66
4.4.4. Pruebas desfasadas a distancia de 0.73 m.....	68
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>71</b>
<b>VI. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....</b>	<b>72</b>
<b>VII. ANEXOS .....</b>	<b>75</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Fuerza de arrastre de un implemento acoplado al tractor.....	1
Figura 1.2. Propuesta de diseño de transductor integral de fuerzas montado a los tres puntos de enganche del tractor .....	5
Figura 2.1. El valor de la fuerza vertical V se incrementa con la velocidad .	12
Figura 2.2. El estado de deformación en tensión o compresión .....	13
Figura 2.3. Estado de deformación-flexión .....	14
Figura 2.4. Estado de deformación en torsión .....	17
Figura 2.5. Fuerzas actuando en un elemento del anillo. ....	17
Figura 2.6. Diagrama de adquisición y procesamiento de datos .....	13
Figura 2.7. Galga extensiométrica. ....	26
Figura 2.8. Diferentes formas de rosetas para transductores de fuerzas. ...	26
Figura 2.9. Puente de Wheatstone .....	29
Figura 3.2. Sensor octagonal.....	34
Figura 3.3. Modelo de galga extensiométrica .....	34
Figura 3.4. Localización de las galgas y puentes de Wheatstone .....	35
Figura 3.5. Estructura flotante.....	35
Figura 3.6. Captura de datos de una sesión de DaqView.....	38
Figura 4.1. Dimensiones del octagonal. Acero 1018, con un esfuerzo a la tensión de 343 MPa. ....	41
Figura 4.2. Galgas montadas y cableado en el sensor octagonal extendido con capacidad de 40 kN. ....	42
Figura 4.3. Marco de calibración de los sensores individuales con capacidad de 10 kN. ....	43
Figura 4.4. Calibración del octagonal negro con capacidad de 5 kN con cuatro diferentes pesos.....	43
Figura 4.5. Línea ajustada de la calibración del octagonal negro con capacidad de 5 kN con cuatro diferentes pesos. ....	45
Figura 4.6. Calibración del octagonal de energía con capacidad de 10 kN versus octagonal negro.....	45
Figura 4.7. Línea ajustada de la calibración del octagonal de energía con capacidad de 10 kN versus octagonal negro. ....	46
Figura 4.8. Calibración del octagonal amarillo con capacidad de 40 kN versus octagonal negro.....	47

Figura 4.9. Línea ajustada de la calibración del octagonal amarillo con capacidad de 40 kN versus octagonal negro. ....	<b>48</b>
Figura 4.10. Calibración del ring rojo con capacidad de 40 kN versus octagonal de energía. ....	<b>48</b>
Figura 4.11. Línea ajustada de la calibración del ring rojo con capacidad de 40 kN versus octagonal de energía. ....	<b>50</b>
Figura 4.12. Pruebas con los sensores integrales con sus respectivas fuerzas montado en el banco de pruebas. ....	<b>50</b>
Figura 4.13. Banco de prueba diseñado con el programa SolidWorks 2010. ....	<b>51</b>
Figura 4.14. Distancia media que es de 0.56 m cuando está en medio puente de Wheastone activo y la fuerza concentrada. ....	<b>52</b>
Figura 4.15. Línea ajustada de la distancia media que es de 0.56 m cuando está en medio puente y la fuerza concentrada. ....	<b>53</b>
Figura 4.16. Distancia media que es de 0.56 m cuando está en medio puente y la fuerza concentrada. ....	<b>53</b>
Figura 4.17. Distancia larga que es de 0.73 m cuando está en medio puente y la fuerza concentrada. ....	<b>54</b>
Figura 4.18. Línea ajustada de la distancia de 0.73 m cuando está en medio puente y la fuerza concentrada. ....	<b>55</b>
Figura 4.19. Línea ajustada de la distancia de 0.73 m cuando está en medio puente y la fuerza concentrada. ....	<b>56</b>
Figura 4.20. Distancia media que es igual a 0.56 m cuando está en medio puente y la fuerza desfasada. ....	<b>56</b>
Figura 4.21. Línea ajustada de la distancia media de 0.56 m cuando está en medio puente y la fuerza desfasada. ....	<b>58</b>
Figura 4.22. Línea ajustada de la distancia media de 0.56 m cuando está en medio puente y la fuerza desfasada. ....	<b>58</b>
Figura 4.23. Distancia larga de 0.73 m cuando está en medio puente y la fuerza desfasada. ....	<b>59</b>
Figura 4.24. Línea ajustada de la distancia larga de 0.73 m cuando está en medio puente y la fuerza desfasada. ....	<b>60</b>
Figura 4.25. Línea ajustada de la distancia larga de 0.73 m cuando está en medio puente y la fuerza desfasada. ....	<b>61</b>
Figura 4.26. Sensores integrales cuando está en puente completo y la fuerza concentrado a la distancia de 0.56 m ....	<b>61</b>

Figura 4.27. Línea ajustada de los sensores integrales cuando está en puente completo y la fuerza concentrado a la distancia de 0.56 m.....	<b>63</b>
Figura 4.28. Línea ajustada de los sensores integrales cuando está en puente completo y la fuerza concentrado a la distancia de 0.56 m.....	<b>63</b>
Figura 4.29. Sensores integrales cuando está en puente completo y la fuerza concentrado a la distancia de 0.73 m. ....	<b>64</b>
Figura 4.30. Línea ajustada de los sensores integrales cuando está en puente completo y la fuerza concentrado a la distancia de 0.73 m.....	<b>65</b>
Figura 4.31. Línea ajustada de los sensores integrales cuando está en puente completo y la fuerza concentrado a la distancia de 0.73 m.....	<b>65</b>
Figura 4.32. Sensores integrales cuando está en puente completo y la fuerza desfasada a la distancia de 0.56 m.....	<b>66</b>
Figura 4.33. Línea ajustada de los sensores integrales cuando está en puente completo y la fuerza desfasada a la distancia de 0.56 m.....	<b>67</b>
Figura 4.34. Línea ajustada de los sensores integrales cuando está en puente completo y la fuerza desfasada a la distancia de 0.56 m.....	<b>67</b>
Figura 4.35. Sensores integrales cuando está en puente completo y la fuerza desfasada a la distancia de 0.73 m.....	<b>68</b>
Figura 4.36. Línea ajustada de los sensores integrales cuando está en puente completo y la fuerza desfasada a la distancia de 0.73 m.....	<b>69</b>
Figura 4.37. Línea ajustada de los sensores integrales cuando está en puente completo y la fuerza desfasada a la distancia de 0.73 m.....	<b>69</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1. Determinación de fuerza de tiro de implementos de labranza .	10
Cuadro 2.2. Medias de las fuerzas y momentos en un subsoleador.....	10
Cuadro 2.3. Rango de fuerzas en implementos.....	11
Cuadro 2.4. Análisis de datos para la fuerza en cada implemento. ....	11
Cuadro 2.5. Localización de los nudos de concentración de esfuerzos derivados por diferentes investigadores .....	22
Cuadro 4.1. Voltajes de excitación, ganancias y constantes de calibración de los sensores para $F_x$ .....	42
Cuadro 4.2. Datos de calibración del octagonal negro con capacidad de 5 kN. con cuatro diferentes pesos.....	44
Cuadro 4.3. Datos de calibración del octagonal de energía con capacidad de 10 kN versus octagonal negro. ....	46
Cuadro 4.4. Datos de calibración del octagonal amarillo con capacidad de 40 kN versus octagonal negro. ....	47
Cuadro 4.5. Datos de calibración del ring rojo con capacidad de 40 kN versus octagonal de energía.....	49
Cuadro 4.6. Datos de la distancia media que es de 0.56 m cuando está en medio puente y la fuerza concentrada. ....	52
Cuadro 4.7. Datos de la distancia larga que es igual a 0.73 m cuando está en medio puente y la fuerza concentrada. ....	54
Cuadro 4.8. Datos de la distancia media que es igual a 0.56 m cuando está en medio puente y la fuerza desfasada. ....	57
Cuadro 4.9. Datos de la distancia larga que es igual a 0.73 m cuando está en medio puente y la fuerza desfasada. ....	59
Cuadro 4.10. Datos de los sensores integrales cuando está en puente completo y la fuerza concentrado a la distancia de 0.56 m. ....	62
Cuadro 4.11. Datos de los sensores integrales cuando está en puente completo y la fuerza concentrado a la distancia de 0.73 m. ....	64
Cuadro 4.12. Datos de los sensores integrales cuando está en puente completo y la fuerza desfasada a la distancia de 0.56 m.....	66
Cuadro 4.13. Datos de los sensores integrales cuando está en puente completo y la fuerza desfasada a la distancia de 0.73 m.....	68
Cuadro 4.14. Concentrado de constantes de cuadros de calibración con cargas desfasadas y concentradas.....	70



## AGRADECIMIENTOS

*“Son muchas las personas especiales a las que me gustaría agradecer su amistad, apoyo, ánimo y compañía en las diferentes etapas de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en el corazón. Sin importar en dónde estén o si alguna vez lleguen a leer estas dedicatorias quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones”.*

**A Mi Señor Dios.** por haberme dado la vida con buena salud y no dejar solo a mis seres queridos, por guiarme en el camino del bien y rodeado de seres queridos, porque me diste la oportunidad de saltar otro escalón más en mi vida (mis sueños), por todas las bendiciones que recibo día tras día. Esta tesis es para ti de corazón “Gracias”.

**A Mi Alma Terra Mater.** Por darme la oportunidad de ser parte de tí cobijado en tus aulas y por haberme dado la educación de todo un profesionista para seguir adelante en la vida y a todos los docentes de cada departamento que me apoyaron para elegir decisiones correctas.

**Al Doc. Santos G. Campos Magaña.** Por brindarme sus conocimientos dentro y fuera de las aulas, gracias por tener su confianza, apoyo y tiempo en el desarrollo del proyecto de tesis.

**Al M.C. Héctor Uriel Serna Fernández.** Por transmitir sus conocimientos en la carrera, por la paciencia que tiene y lo más importante gracias por la amistad que me brindó como maestro y amigo.

**Al Ing. Juan Arredondo Valdez.** Por haberme dado sugerencias en la tesis, por sus conocimientos transmitidos en la carrera y su amistad.

**Al Doc. Jesús R. Valenzuela García.** Por contar con su apoyo, gracias por su amistad de maestro y amigo y sus conocimientos transmitidos.

A los docentes que conforman el Departamento de Maquinaria Agrícola pero cabe distinguir al, **M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández, M.C. Blanca Elizabeth de la Peña Casas, Ing. Tomás Gaytán Muñiz, Ing. Rosendo González Garza, Ing. Jorge Flores Berrueto**, al igual que todos los maestros de la primaria, secundaria y preparatoria que fueron tejiendo los conocimientos

que me brindaron para llegar a ser un profesionalista, gracias por aceptarme como su alumno y su amistad de cada uno de mis profesores.

**Al Profe. Julio César Ozuna Domínguez.** Por brindarme el apoyo incondicional como maestro y amigo, por transmitir tus conocimientos y lo más importante por la confianza que le has dado a tu hijo guapo jaja gracias mi maestro de la vida, te quiero padre.

**Al Profe. Roberto Thompson.** Por haberme dado sus consejos en las buenas y en las malas, por tenerme paciencia y transmitirme sus conocimientos y sobre todo su gran amistad como profesor y amigo.

A mis compañeros de la carrera **I.M.A., Generación CX**, en especial a **Ángel, Edelman, Ermenegildo, Ulver, Adelfo, Fausto, Yesmin, Gerardo, Daniel (Lobo), Ezequiel, Luciano, Maynor, Rafael, Kelvin, Alejandro, Roberto, Jorge, Jesús, Edgar, Nayin, Octavio, Darío**, por ser parte de mi camino de formación compartiendo momentos buenos y no muy buenos.

A mis **amigos** de la **UAAAN** los cuales son dignos de recordar por los momentos inolvidables que hemos pasado. **José, Cecilio, Dilmar, Gabriel, Lulu, Laury (Primis), Bony, Marisol, Armando, Jorge (Coqui), Rubén, Francisco, Obeth** y a todos mis paisanos de Pinola. Al igual que amigos antes de la Universidad como es **Antonio, Ricardo, Diego, Rafael, Edgar, Francisco, Josue, Gustavo, Oswaldo, William, Jorge, Lesly y Marianita** gracias por ser Mis Amigos que fueron parte de mi vida.

**A Mi Novia Selene.** Por ser parte de mi vida en las cuales he pasado momentos muy bonitos y especiales, por ayudarme cuando mas la necesito, por tu comprensión que tuviste aunque muy poco jaja no es cierto, gracias osita por todo lo que me has dado.

A Mis **Amigos De Saltillo** por los que me dieron momentos en las cuales me sentía solo y en las que me divierte mucho. **Oscar, Chirris, Alonso, Checo, Pamela, Alexis, Mario, Ricardo y Aarón** cuídense y saludos a su familia.

**A Mis Vecinos.** Por apoyarme cuando los necesite, por ustedes que me aceptaron en su ciudad para terminar la carrera y ser un profesionalista Dios los bendiga a todos con sus respectivas familias. De corazón gracias.

## DEDICATORIAS

A las personas que son mi motor de sobrevivencia, superación y mi más gran respeto se los dedico a ustedes.

### MIS QUERIDOS PADRES:

#### MI MADRE ENEIDA DE LOS ÁNGELES GÓMEZ LÓPEZ

No me equivoco si digo que eres la mejor mamá del mundo, por creer siempre en mí, a ti mi **mamita** querida que siempre estuviste al pendiente de mí y aparte dándome tus consejos de toda la vida, por compartir todos los momentos buenos y los no muy buenos y por esto y mucho más te amo **madre mía** gracias por tu amor y comprensión no soy un poeta para decirte freses lindas pero todo lo que te escribo es de corazón **TE AMO**.

#### MI PADRE JULIO CÉSAR OZUNA DOMÍNGUEZ

Por estar siempre a mi lado cuando más lo he necesitado, por la economía que nunca me faltado nada, a enseñarme lo bueno y malo para ir en el camino correcto, por enseñarme a tomar decisiones para mi formación, gracias por todo **mi viejo TE AMO** siempre quiero que lo recuerdes, mi mayor respeto y agradecimiento por todo lo que hiciste por mí.

Sin ustedes dos no sería nada, me enseñaron que todo se puede y este es un esfuerzo conjunto y ya llego la recompensa se los dedico a ustedes a los que siempre están presentes en mi corazón y mente gracias a ustedes puedo decir que el sueño de mi vida se ha cumplido.

#### A Mi Hermanita:

**Yeniffer Del Roció Ozuna Gómez.** ¿Adivina qué? que ya te gané y también ¡tienes cara de panqué! Jajá y gracias por tu buen humor, por tu sinceridad, por tu humildad de aceptar las cosas tal y como son, por eso y más; quiero que sepas que cuentas con un amigo y que siempre estaré contigo apoyándote en todo. T.Q.M.

**A Mis Abuelos.** Que siempre los llevo en el corazón, por arrullarme cuando era un bebe y compartir buenos momentos en la vida aunque no están aquí con nosotros pero los tengo siempre presentes ocupan un lugar especial en mi vida.

**A Mis Tíos.** Por haberme apoyado y aconsejado para ser persona de bien por eso y más los recuerdo en especial a **Ramiro, Ma. De Lourdes, Baldemar, Cristina, José Luis, Federico, Clementina, Virgilio, Hipólito, Esperanza, Félix. Eddy, Elida, Miriam, Zotico, Obdulio, Mario y Sergio** a todos que creyeron siempre en mí los quiero.

**A Mi Primo Álvaro.** Por creer siempre en mí, por tenerme paciencia, porque me indujiste a tiempo en el camino del bien y porque jamás voy a olvidar el gran apoyo que me distes al traerme a esta gran ciudad de Saltillo para terminar un sueño más en mi vida: la de ser Ingeniero Mecánico Agrícola; de todo corazón mil gracias. Dios te bendiga.

**A mis primos.** Por tener siempre su amistad y contar con ellos en especiales a **Migue, Marcos, Víctor, Cande, Érick, Luis, Beto, Luis, Juanita, Diego, Eleazar, Jorge Luis, Lupe, Ramón, Vicente** y a todos que alguna vez convivimos como familia gracias por ser mis primos y aceptarme como soy.

#### **A MI MISMO:**

Por este momento tan inolvidable e importante en mi vida quiero dedicármelo, porque siempre me propuse metas en la cabeza y jamás me deje vencer por las adversidades que la vida me dio, ya que uno de los principales obstáculos es no retroceder y creer en uno mismo y claro darse ánimos siempre para subir otro escalón más.

**César Alberto Ozuna Gómez**

## RESUMEN

Se evaluó un sensor integral con capacidad de 80 kN para las fuerzas horizontal y vertical así como 70 kN de transferencia de peso. Los elementos que lo integran son dos anillos octagonales extendidos, un sensor axial tipo anillo y un marco de enganche de tres puntos, categoría II. Cada uno de ellos con galgas extensiométricas sobre los elementos sensores, en arreglos completos de puente de Wheatstone.

La calibración del transductor integral se hizo tanto en forma individual por sensor en un marco de calibración como en un dispositivo construido exprofeso simulando la fuerza de tiro en campo con capacidad de carga hasta 20 kN. De los resultados obtenidos se tuvo una linealidad superior al 99% en cada uno de los sensores en forma independiente lo cual permite una alta confiabilidad de los datos bajo condiciones de campo.

Así mismo el equipo evaluado en el marco de calibración presenta una sensibilidad mayor del 7% para cambios de posición de la fuerza de tiro lo cual indica que existe un efecto de momento en los octagonales extendidos para esto se recomienda desarrollar la ecuación correspondiente, para que en función de los valores detectados en los octagonales y en el sensor de transferencia de peso se determinen, tanto la fuerza de tiro como la posición de la misma y con esto obtener una confiabilidad del 99% bajo condiciones de campo.

*Palabras clave:* sensor octagonal extendido, transductor acoplado a los tres puntos del tractor, fuerzas en labranza.

## I. INTRODUCCIÓN

En nuestro país, no se cuenta con información acerca del desempeño, en términos de eficiencia, demanda de fuerza de tiro de implementos agrícolas de labranza vertical y además de desconocer también cual es la más apropiada para los diferentes sistemas y tipos de suelo y como se puede incrementar la producción agrícola y la reducción de costos de energía, optimizando sistemas de labranza de conservación y/o convencionales (Campos, 2000).

Con relación a esta problemática el Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola (CENEMA), al igual que otras instituciones mexicanas de investigación, se encuentra trabajando en la elaboración de métodos y manuales de prueba para la evaluación de maquinaria y equipo agrícola. El objetivo global del proyecto CENEMA es el de coadyuvar al desarrollo y extensión del uso de maquinaria agrícola adecuada y segura para pequeños y medianos productores (Ochoa 2002).

Una prioridad para la evaluación de implementos es contar con instrumentos para satisfacer los requerimientos de prueba de los diferentes parámetros a medir durante la evaluación del desempeño de los equipos de labranza. Una de las pruebas es la determinación de la fuerza de tiro, actualmente el método aprobado en México (Norma de Arados NMX-O-182-SCFI-2003) requiere de un dinamómetro de tiro el cual es colocado entre dos tractores, un tractor con el implemento a evaluar en posición de trabajo y otro como fuente de potencia como se observa en la Figura 1.1.



Figura 1.1. Fuerza de arrastre de un implemento acoplado al tractor.

Las empresas que producen implementos agrícolas en fechas recientes se han preocupado por implementar diseños óptimos y controlar la calidad de los diseños ya existentes. Debido a los pocos conocimientos de los mismos fabricantes acerca de las necesidades de la fuerza de tracción para los implementos, así como la potencia consumida por cada implemento para efectuar las labores específicas, se hace necesario conocer la magnitud y dirección de las fuerzas de reacción del suelo sobre un implemento, por lo que se requiere contar con instrumentos capaces de medir en forma precisa dichos parámetros para la evaluación de implementos de labranza bajo condiciones de campo. El contar con los instrumentos anteriores y sensores servirá para dar servicio a fabricantes de equipo agrícola, así como generar información para desarrollar nuevas tecnologías donde no se pierda o consuma demasiada potencia y combustible que en un momento determinado redunde en gastos para el productor agropecuario y disminuya por un lado su capacidad económica y por consiguiente aumente su capacidad de producción del mismo (Campos, 2000).

Ante esta situación es posible desarrollar e implementar un instrumento integral confiable que reemplace el utilizar dos tractores como es especificado en el desarrollo de normas mencionadas, con la finalidad de reducir costos y aumentar la confiabilidad de los resultados.

### **1.1. Antecedentes**

Godwin y Spoor citado por Campos (2000) indican que uno de los aspectos más importantes 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.

Tradicionalmente se emplean dinamómetros de tiro que representan un 60% de las fuerzas a medir en la evaluación de herramientas, requiriéndose para estos diseñar elementos que permitan medir tanto la fuerza de penetración (30%) y las parásitas (10%). Esto con la finalidad de contar con un instrumento integral para el desarrollo de nuevas formas de implementos que demande menor consumo de energía (Campos 2000).

Graham *et al.* (1990) desarrollaron como parte de un sistema de monitoreo de variables, un transductor de tipo hidráulico empleado para medir fuerzas de tiro en la evaluación de implementos remolcados. El sistema consistió de un cilindro de simple acción conectado entre el tractor y el implemento. Se empleó un transductor de presión para convertir esta a una señal eléctrica. Una respuesta lineal fue obtenida entre la presión ejercida por el tiro y la salida en mV. El inconveniente de este sistema a pesar de su alta confiabilidad es que solamente mide una componente de la fuerza resultante.

Thomson y Shinnars (1989) desarrollaron un sistema para medir fuerzas de reacción de suelo en dos direcciones colocado en una estructura rígida simulando un sistema de enganche rápido a los tres puntos del tractor. El sistema emplea celdas de carga como unidades de medición de las fuerzas de reacción. El arreglo de las celdas de carga indicaron errores de sensibilidad cruzada del orden de +5 % para fuerzas que fluctúan entre 1.5 N y 35 kN. El transductor octagonal de anillo extendido para uso en estudios de labranza. (Cook and Ravnovich 1954) se diseñó primeramente para monitorear las dos componentes de fuerzas y el momento en el plano de estas fuerzas de reacción del suelo. El sistema de fuerzas en estudios de labranza donde la falla del suelo es simétrica consiste de dos fuerzas mutuamente perpendiculares, y el momento en el plano de estas dos fuerzas.

Thomas Fontain en 1991 evaluó un sistema de transductor de platos flotantes de seis componentes. Estas componentes permiten la medición de la fuerza de reacción en las tres direcciones. Las componentes empleadas en la medición



de las fuerzas de reacción fueron celdas de carga. Encontrando en sus resultados sensibilidades cruzadas del orden +5 %. El método de análisis de las vigas en cantiliver empleadas como transductores es explicado ampliamente por Sakurai (1996). En él señala como las fuerzas son determinadas a través de un análisis de suma de momentos en un punto en la viga, mediante el cual son determinadas cada una de las fuerzas y la dirección de la fuerza resultante ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $R$  y  $\emptyset$ ).

Campos *et al.* (2000) diseñaron y compararon el funcionamiento de tres transductores de fuerzas, basados en el principio de funcionamiento de las galgas extensiométricas, evaluados bajo condiciones de laboratorio y simulando las condiciones de suelo sin labrar en campo. Los transductores diseñados fueron: 1. El octagonal extendido, 2. Placas flotantes y 3. Viga en "U". Los tres transductores fueron diseñados para cubrir los siguientes parámetros de operación: magnitud  $F_x$  igual a 5000 N,  $F_z$  igual a 2500 N y momento debido a la fuerza resultante igual 7 kN.m. Los porcentajes de sensibilidades cruzadas obtenidas para cada uno de los transductores fueron, octagonal (1.5%), viga en "U" (2.3%) y placas flotantes (5.0%). La mejor respuesta fue obtenida con el transductor octagonal, seguida por la viga en "U".

Hinojosa, (2003) propone el diseño de un transductor integral para tractores categoría II que permita medir en un solo instrumento cuatro variables, fuerza de tiro, fuerza de penetración, momento y transferencia de peso. Esto mediante la integración de dos transductores octagonales extendidos (con capacidad de 40 kN cada uno), un transductor axial con capacidad de 80 kN. Dicha propuesta se muestra en la Figura 1.2

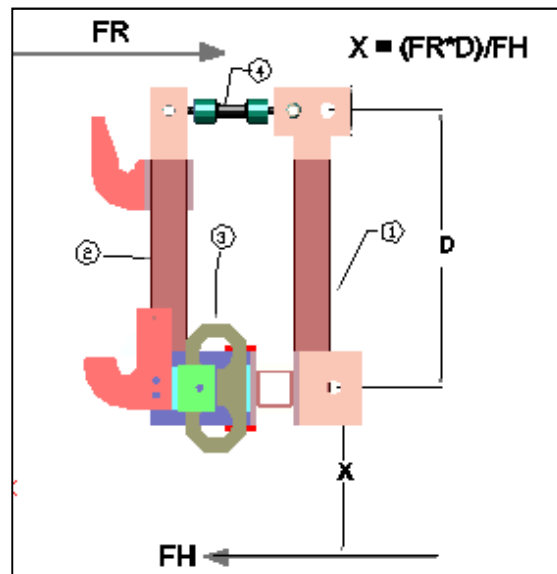


Figura 1.2. Propuesta de diseño de transductor integral de fuerzas montado a los tres puntos de enganche del tractor, (Hinojosa 2003).

En el caso de implementos acoplados a la barra de tiro del tractor, la medición de solamente una fuerza, la fuerza de tiro, se realiza al insertar un dinamómetro entre las barras de tiro del tractor y del implemento (Ochoa, 2002). Sin embargo para el caso de los implementos montados en el enganche de los tres puntos del tractor, un simple y muy utilizado método para determinar la fuerza de tiro de estos ha sido el de tirar del tractor con el implemento acoplado a este por medio de un segundo tractor y midiendo la fuerza requerida por el primero con un dinamómetro que registra fuerza axial (Arcos, 1997). La fuerza promedio con el implemento en posición de trabajo, menos la fuerza obtenida con el implemento levantado, es tomada como la fuerza de tiro requerida por el implemento; al mismo tiempo se mide la velocidad de operación, con lo que se puede calcular la potencia desarrollada por el tractor al jalar un implemento.

El desarrollo de los implementos montados ha disminuido considerablemente el utilizar un dinamómetro en la barra de tiro para medir el esfuerzo tractivo y el tiro del implemento, particularmente para calcular la capacidad tractiva y la transferencia de peso del tractor en diferentes condiciones de campo (Campos, *et al.*, 2000).

Tomando en cuenta la importancia que tienen las pruebas y evaluación de la maquinaria agrícola, para su correcta selección, de tal forma que se garanticen los mejores índices técnico – económicos durante su explotación bajo condiciones específicas de cada país, y considerando el interés para México, el objetivo fundamental de evaluación técnica de equipos es proveerle al agricultor de escasos recursos económicos equipo confiable que rinda un beneficio neto positivo y atractivo (AFRC, 1990).

La mejoría en calidad de las técnicas de evaluación de un programa de prueba nacional o regional sería de beneficio para varios grupos entre ellos:

- Fabricantes locales de implementos agrícolas.
- Extensionistas laborando en programas de desarrollo rural.
- Bancos de crédito rural que toman decisiones acerca de líneas de crédito extendidas a los pequeños productores.
- Proyectistas y tomadores de decisiones en los sectores agrícolas e industriales.

Además la disciplina de evaluación científica desarrolla las aptitudes de observación y medición precisa, aspectos fundamentales en la capacitación de ingenieros agrícolas.

El propósito principal de obtener datos del comportamiento de un equipo es compararlo con el requerimiento para el cual fue diseñado (Crossley y Kilgour 1983). En práctica, la gran mayoría de procedimientos para equipos agrícolas incluyen una parte realizada bajo condiciones ideales y controlables (pruebas), y una parte realizada en condiciones reales de la agricultura (evaluaciones).

Esta propuesta tiene como propósito el rediseñar un transductor basado en la propuesta de Hinojosa (2003), que pueda ser utilizado para la evaluación de implementos de labranza integrales tales como: multiarado, arado, rastra, vibrocultivador, sembradora, cultivadora y cualquier otro implemento integral a

tractores de categoría II (40 – 100 Hp), por lo que podrá emplearse en la determinación de la fuerza de tiro que dentro del procedimiento de desarrollo de las normas como lo son de arados, rastras, sembradoras comprende la medición de la magnitud de este parámetro, además en la creación de bancos de pruebas, así como para dimensionar implementos en cuanto a magnitudes de las fuerzas de tiro, penetración y localización de la fuerza resultante.

## **1.2.- Objetivos e Hipótesis**

### **Objetivo General:**

Evaluar, un transductor integral confiable con capacidad de 80 kN de tiro y fuerza vertical, 70 kN.m de par, así como 70 kN de transferencia de peso, para la determinación de las magnitudes y posición de las fuerzas que actúan en implementos integrales a tractores categoría II.

### **Objetivos específicos:**

- ✓ Calibración de un transductor integral con registro de datos en tiempo real.
- ✓ Determinación de las fuerzas de reacción del suelo en cuatro diferentes equipos de labranza primaria.

### **Hipótesis:**

Mediante el uso de este dinamómetro (transductor octagonal extendido) se podrá determinar las fuerzas de reacción del suelo en implementos integrales.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Tecnología de implementos.**

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. Con el avance de la herramienta, el suelo en esta trayectoria está sujeto a esfuerzo de compresión que, en un suelo friable, resulta ser una acción de corte. El cortado de los suelos es considerablemente diferente del cortado de muchos sólidos, esto es debido que la reacción puede ser ejercida por una distancia considerable sobre cualquiera de los lados del plano de corte por la fricción interna y la acción cohesiva de las películas de humedad.

#### **2.1.1 Factores de diseño para herramientas de labranza**

Kepner, (1978). Normalmente entre los factores que deberían ser considerados para diseñar y evaluar un sistema de implementos de labranza enganchados en la parte posterior de un tractor son:

1. Habilidad para obtener penetración del implemento bajo condiciones adversas, particularmente con implementos tales como rastras de discos y arados de discos.
2. Efecto del implemento sobre la habilidad tractiva del tractor (transferencia de peso).
3. Uniformidad de la profundidad de laboreo, que el implemento pase sobre partes irregulares de la superficie del suelo.

4. Estandarización del enganche que permita intercambiabilidad.
5. Rapidez con la cual las herramientas entran a la tierra.

Kepner *et al.* (1978) menciona que el objetivo de un herramienta de labranza es manipular un suelo (cambiar, mover o formar) que requiere cambiar una condición deseada de éste. Tres factores resumidos de diseño son necesarios, (a) condición inicial del suelo, (b) forma de la herramienta y la manera del movimiento de la herramienta (c) controlar o definir la manipulación del suelo. Los resultados de estos tres factores independientes de entrada son evidenciados por dos factores de salida, a saber, la condición final del suelo y las fuerzas requeridas para manipular el suelo.

### **2.1.2 Fuerzas actuando sobre una herramienta de labranza**

Un implemento de labranza o herramienta moviéndose a una velocidad constante está sujeto a tres fuerzas principales o sistemas de fuerzas que deben de estar en equilibrio Kepner *et al.* (1978) estas son:

- 1.- La fuerza de gravedad actuando sobre el implemento.
- 2.- Las fuerzas del suelo actuado sobre el implemento.
- 3.- Las fuerzas actuando entre el implemento y el primer movimiento.

Clyde (1936) subdivide el total de las fuerzas de reacción del suelo dentro de fuerzas útiles y parásitas. El define que las fuerzas del suelo útiles son aquellas en la cual la herramienta debe vencer el corte, quebramiento y movimiento del suelo. Las fuerzas parásitas son aquellas (incluyendo la fricción o resistencia al rodamiento) que actúan sobre superficies estables.

Hunt (1983) enlista los requerimientos de potencia, de tiro y de energía de varias máquinas de campo mostradas en el Cuadro (2.1).

Cuadro 2.1. Determinación de fuerza de tiro de diferentes implementos de labranza.

Implemento		$F_H$ (kN)	Energía o trabajo kW h/ha
Arado	3 Discos	12.649	22.1 – 46.1
	4 Discos	16.865	
Rastra	20 Discos	5.928	4.0 – 7.4
Multiarado	2 Cuerpos	73	3.1 – 5.2
Sembradora	2 Hileras	3.6	2.4 - 12

Fuente: Hunt (1983)

Para un implemento particular y condición del suelo la fuerza del suelo se incrementa con la profundidad de trabajo. La resultante del peso del implemento y las fuerzas del suelo, por lo tanto, tendrán magnitud variable, dirección y posición dependiendo de la profundidad de trabajo. Dentro de las investigaciones realizadas por Garner *et al.* (1988) con pruebas realizadas con un dinamómetro integrado al tractor tirando de arado de cinceles, determinaron las magnitudes de las fuerzas y momentos a 30 y 43 cm de profundidad mostradas en el Cuadro (2.2).

Cuadro 2.2. Medias de las fuerzas y momentos en un subsoleador.

Parámetros	Profundidad 0.30 m	Profundidad 0.43 m
Fuerza de tiro kN	<b>14.3</b>	<b>27.675</b>
Fuerza vertical kN	<b>- 3.175</b>	<b>- 9.125</b>
Momento kN.m	<b>7.805</b>	<b>16</b>
Fuerza en el enganche superior kN	<b>15.125</b>	<b>23.37</b>

Fuente: Garner, 1988

La norma ASAE D230 reporta la fuerza de tiro funcional para los diferentes implementos de labranza. En el Cuadro (2.3) muestra los valores extremos para la determinación de la fuerza de tiro en diferentes implementos:

Cuadro 2.3. Rango de fuerzas en implementos.

Implemento	Rangos de la fuerza de tiro	Variables
<b>Arado de vertederas</b>	$7+0.049s^2$ a $2+0.013s^2$ (N/cm <sup>2</sup> )	S=Velocidad (Km/h)
<b>Arado de discos</b>	$5.2 + 0.039s^2$ a $2.4+0.045s^2$ (N/cm <sup>2</sup> )	S=Velocidad (Km/h)
<b>Rastra de discos</b>	14.7 M a 7.8 M (N)	M=Masa (peso Kg)
<b>Subsuelo</b>	120-190d a 175-280d (N)	D=Profundidad
<b>Sembradora</b>	1100 a 800/fila N/fila	

Fuente: Norma ASAE D230.

Omaña (2003) y Ozuna (2003) en una serie de evaluaciones con diferentes implementos de labranza, midieron las fuerzas de tiro y en la barra de compresión, producidas por la interacción suelo-implemento que se muestra en el Cuadro (2.4).

Cuadro 2.4. Análisis de datos para la fuerza requerida en cada implemento.

IMPLEMENTO	FUERZAS EN LA BARRA DE COMPRESION			FUERZAS EN LA BARRA DE TIRO		
	Profundidad (m)	Fuerza media (kN)	Fuerza pico (kN)	Fuerza media (kN)	Fuerza pico (kN)	Radio entre Fc/Ft
<b>Arado</b>	0,30	23,21	33,71	15,48	30,66	1,50
<b>Multiarado (1 Timon)</b>	0,34	30,83	34,07	22,06	32,05	1,40
<b>Multiarado (2 Timones)</b>	0,21	38,52	43,64	23,77	3,05	1,62
<b>Rastra</b>		17,05	16,24	5,39	21,92	3,16
<b>Cultivadora</b>		4,84	9,16	4,76	20,72	1,02
<b>Vibrocultivador</b>		16,46	6,73	9,84	37,78	1,67

Fuente: Omaña (2003).

En donde: Fc= Fuerza en la barra de compresión y Ft = Fuerza en la barra de tiro.

### 2.1.3 Relación de la fuerza vertical y horizontal

Un arado de vertederas generalmente él mismo tiene una componente vertical actuando hacia abajo de la fuerza útil del suelo (succión). La magnitud de V en relación a L varía extensamente, empezando por la influencia del tipo de



suelo, condición del suelo, profundidad de corte, partes de la forma de corte o afilados y otros factores.

El valor de la fuerza vertical  $V$  se incrementa con la velocidad como se muestra Figura 2.1, pero con una tendencia en algunos suelos para una reducción ligera de la relación  $V/L$ . La relación  $V/L$  de las pruebas realizadas en un tanque de suelos esquematizadas se obtiene rangos de relación de 0.5 a 0.6 para las arenas y de 0.35 a 0.45 para limos arenoso finos. Resultados reportados por pruebas de campo en varios tipos y condiciones de suelos, presumiblemente con partes en condiciones buenas dan rangos de relaciones  $V/L$  de 0.1 a 0.3.

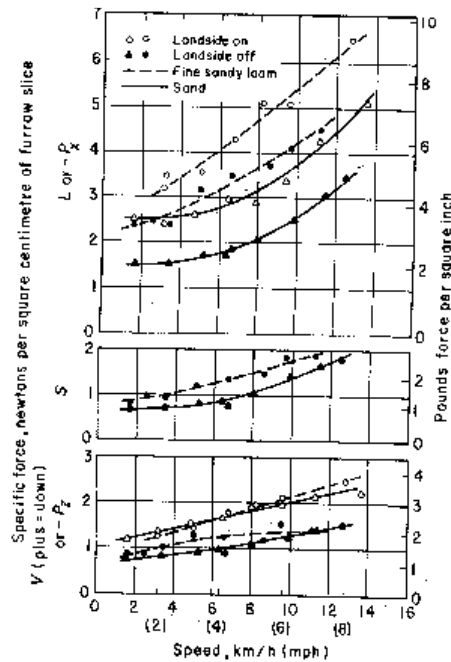


Figura 2.1. El valor de la fuerza vertical  $V$  se incrementa con la velocidad (Randolph).

## 2.2. Análisis de esfuerzos

Una medida de fuerza con alto grado de exactitud, es de gran importancia en el análisis mecánico en un problema de ingeniería. En particular, la resistencia medida del suelo para varios funcionamientos de maquinaria, tal como arado, que es indispensable en la maquinaria agrícola para nuestro campo (Sakurai, 1996).

La cantidad de acercamientos en este objetivo, el método de deformación de la galga puede proporcionar la exactitud más alta y el método de medición más barato. En este capítulo, una medida general de la fuerza en uno de los tres estados dimensionales es explicada que permite medir no solo una magnitud y una dirección de la fuerza sino también una posición en la línea de acción.

1.- Cuando la línea de acción de la fuerza es conocida:

En este caso, tres tipos de medición para la magnitud de la fuerza son considerados primeramente con:

a) Tensión o compresión

El simple estado de tensión y compresión ocurre en el eje cuando la línea de acción coincide con el eje para la medición se muestra en la Figura 2.2.

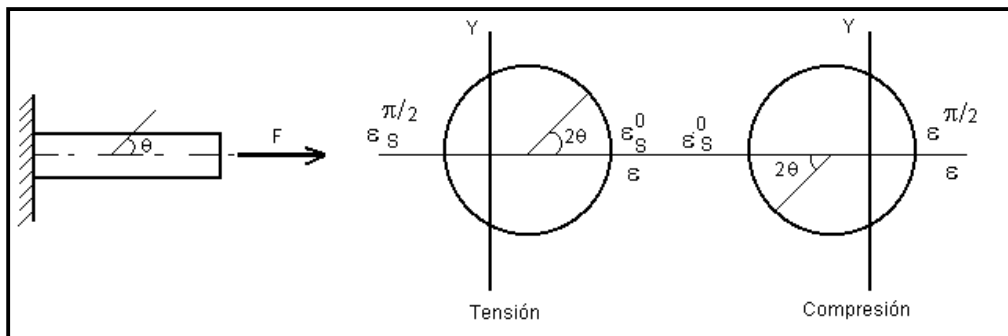


Fig. 2.2. El estado de deformación en tensión o compresión.

Las deformaciones máximas principales están dadas por:

$$\epsilon_s^0 = \frac{\sigma_s^0}{E} = \frac{F}{EA} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\epsilon_s^{\frac{\pi}{2}} = -\mu \epsilon_s^0 \dots\dots\dots (2.2)$$

Donde:

$\varepsilon_s^0$  ,  $\varepsilon_s^{\frac{\pi}{2}}$  = Deformación normal para  $\theta = 0$  y  $\pi/2$

$\sigma_s^0$  = Esfuerzo normal para  $\theta = 0$

$\theta$  = El ángulo medido de la línea del centro del eje a la dirección de la deformación normal  $\varepsilon$  en una dirección reloj-contador

F = Fuerza aplicada

A = Área de la sección cruzada del eje

E = Módulo de Young

$\mu$  = Relación de Poisson

El exponente y el subíndice son agregados a los esfuerzos y deformaciones para indicar las direcciones de ellos y condiciones de fuerza actuando respectivamente.

### b) Flexión

Un estado de flexión ocurre en el eje cuando la línea de acción es perpendicular al eje y es interceptada en el centro como se muestra en la Figura 2.3.

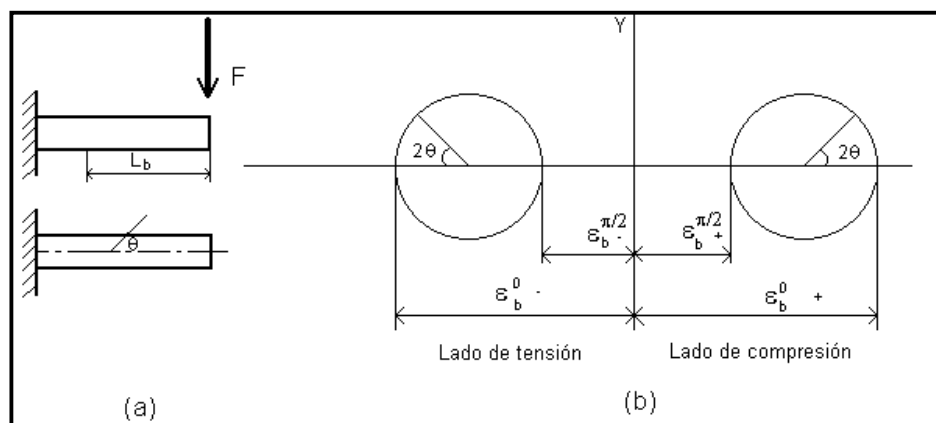


Figura 2.3. Estado de deformación-flexión.

El máximo y mínimo de deformaciones en posición aparte de la línea de acción con la distancia  $L_b$  son dados por:

$$\epsilon_b^{0\pm} = \pm \frac{\sigma_0}{E} = \pm \frac{M}{E Z_b} = \pm \frac{F L_b}{E Z_b} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\epsilon_b^{\frac{\pi}{2}\pm} = \mu \epsilon_b^{0\pm} = \pm \mu \frac{M}{E Z_b} = \pm \mu \frac{F L_b}{E Z_b} \dots\dots\dots (2.4)$$

Donde:

$\epsilon_b^{0\pm}$ ,  $\epsilon_b^{\frac{\pi}{2}\pm}$  = deformación normal a  $\theta = 0$  y  $\pi/2$  respectivamente, mientras el subíndice (+) y (-) son colocados para un lado máximo tensional y otro lado máximo a compresión respectivamente.

Por lo tanto,  $M = FL_b$  es un momento aplicado y  $Z_b$  es un módulo de la sección dado por:

$$Z_b = \frac{2I}{d'} \dots\dots\dots (2.5)$$

Donde:

$I$  = Segundo momento de área.     $\gamma$      $d'$  = Radio del eje

c) Torsión

Un estado de torsión ocurre en el eje, cuando la línea de acción no intercepta al eje y el producto escalar de vectores va en dirección de la línea del eje cero, es lo ilustrado en la Figura 2.4a

Las deformaciones principales máximas y mínimas están dadas por:

$$\varepsilon_t^{\frac{\pi}{4}} = \sigma_t^{\frac{\pi}{4}} = \frac{\tau_t}{G} = \frac{T_t}{GZ_p} = \frac{F L_t}{GZ_p} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\varepsilon_t^{\frac{\pi}{4}} = -\sigma_t^{\frac{\pi}{4}} = \frac{\tau_t}{G} = -\frac{T}{GZ_p} = -\frac{F L_t}{GZ_p} \dots\dots\dots (2.7)$$

Donde:

$\varepsilon_t^{\frac{\pi}{4}-}$  ,  $\varepsilon_t^{\frac{\pi}{4}+}$  = Deformación normal a  $\theta = \pi/4$  y  $-\pi/4$  respectivamente.

$\sigma_t^{\frac{\pi}{4}}$  = Esfuerzo normal a  $\theta = \pi/4$ .

G = Módulo de elasticidad.

Tt = Torsión que aplica al eje.

Lt = Distancia entre la línea de acción y el eje.

Zp = Momento polar de inercia de área.

Más allá referenciado a la Figura 2.4b, una deformación para un ángulo  $\theta$  arbitrario se representa por:

$$\varepsilon_t = \frac{F L_t}{GZ_p} \sin 2\theta \dots\dots\dots (2.8)$$

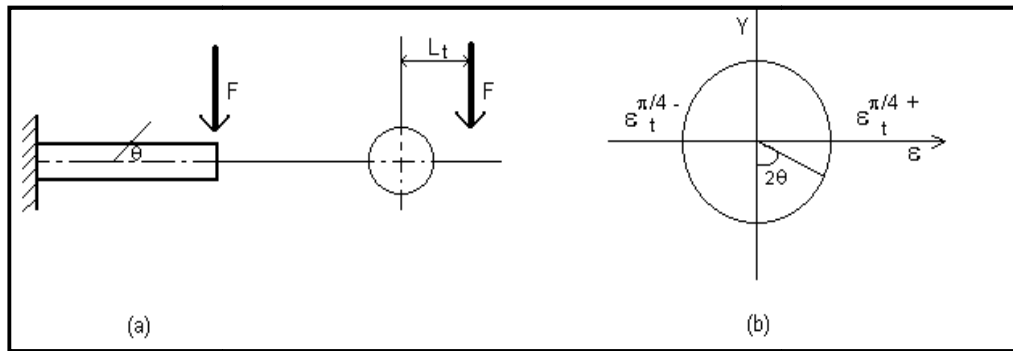


Fig. 2.4. Estado de deformación en torsión.

### 2.3. Análisis teórico del diseño del anillo

Un análisis teórico de la aplicación del anillo extendido del transductor octagonal fue desarrollado por Cook (*et. al.* 1963) citado por Varela, (2000) esto es basado en el análisis de la energía elástica de un anillo usado como una celda de carga. En la Figura 2.5 se muestra las fuerzas actuando en un elemento del anillo; donde el momento flexionante ( $M\theta$ ), a cualquier punto en el anillo es calculado y es dado por la ecuación 2.9.

$$M\theta = \frac{1}{2} F_x (r (\sin \theta - 2/\pi)) - \frac{1}{2} F_y (r \cos \theta) \dots\dots\dots (2.9)$$

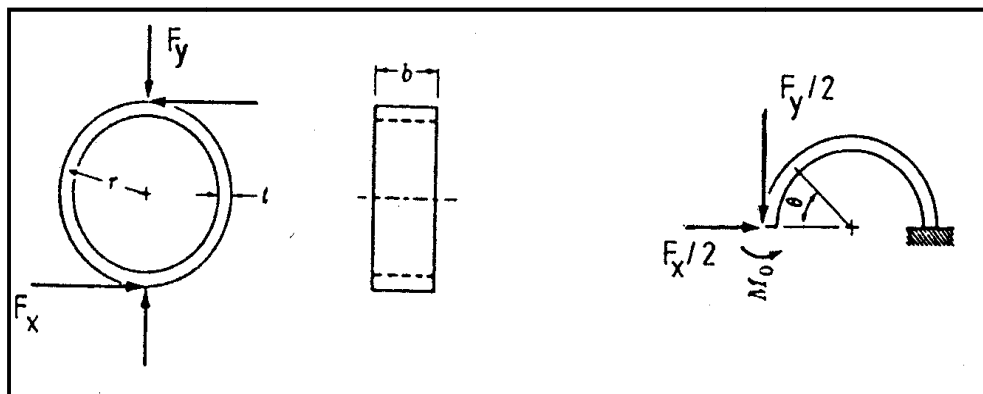


Figura 2.5. Fuerzas actuando en un elemento del anillo.

La colocación del nodo para cada fuerza individual involucrada en el elemento del anillo se encuentra cuando el momento producido por  $\frac{1}{2} F_x$  se vuelve cero y

esto es verdadero cuando  $\text{Sen}\theta = 2/\pi$ , ( $\theta = 39.6^\circ$ ). El momento debido a  $\frac{1}{2} Fy$  es cero cuando  $\text{Cos}\theta=0$ , ( $\theta = 90^\circ$ ).

Como resultado de este análisis, las dos colocaciones de nodo de deformación son: ( $\theta = 39.6^\circ$ ) para la fuerza ( $Fx$ ) y ( $\theta = 90^\circ$ ) para la fuerza ( $Fy$ ). La deformación esperada ( $\epsilon$ ), producida por el momento en el anillo de carga se obtuvo y esta dado por las siguientes ecuaciones:

$$\epsilon_{39.6^\circ} = \frac{2.31Fyr}{Ebt^2} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$\epsilon_{90^\circ} = \frac{1.09 Fxr}{Ebt^2} \dots\dots\dots (2.11)$$

Para propósitos prácticos, principalmente para evitar la rotación del anillo debido a la fuerza vertical ( $Fy$ ), una versión extendida del anillo fue sugerida por Cook *et al.* (1963) citado por Varela, (2000) fue encontrado que con esta modificación práctica, el anillo de carga, la colocación del nodo de deformación para la fuerza horizontal cambiaba a ( $\theta = 50^\circ$ ) pero permanecía a ( $\theta = 90^\circ$ ) cambiaba así para generar las siguientes ecuaciones:

$$\epsilon_{50^\circ} = \frac{1.4Fyr}{Ebt^2} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$\epsilon_{90^\circ} = \frac{0.7 Fxr}{Ebt^2} \dots\dots\dots (2.13)$$

Como resultado del análisis de esfuerzo - deformación de los anillos extendidos, (Cook *et al.* 1963) derivó la ecuación 2.14 que envuelve la relación Sensibilidad del momento flexionante – rigidez. Esta ecuación es básica para el diseño de cualquier tamaño de anillo octagonal extendido.

$$K = 6.626 - 19.63 Ms + 21.142 Ms^2 - 8.699 Ms \dots \dots \dots (2.14)$$

Esta ecuación da la relación básica para el diseño del anillo extendido donde los términos ( $Ms = \epsilon E b t^2 / M$ ) y ( $K = L/r$ ) son la sensibilidad del momento sensitivo ( $Ms$ ) y la rigidez respectivamente ( $K$ ).

La representación gráfica de la ecuación como una función de ( $Ms$ ) y ( $K$ ).

Una contribución importante al diseño de los anillo extendidos fue dado por Godwin (1975), el determino que para emplear estos transductores en la evaluación de implementos de labranza era necesario insertar dos platos separadores, uno entre el montaje y el transductor y otro entre el transductor y el implemento. Esto fue necesario para eliminar el cruzamiento de sensibilidades cuando las galgas extensiométricas fueron localizadas a:  $\theta = 50^\circ$  para  $Fy$  y  $\theta = 90^\circ$  para  $Fx$ , determinando su nueva localización y sensibilidad en forma experimental ( $\theta = 34^\circ$  para  $Fy$  y  $\theta = 90^\circ$  para  $Fx$ ).

Las sensibilidades experimentales determinadas por Godwin (1975) son dadas por las siguientes ecuaciones:

$$\epsilon_{90^\circ} = \frac{1.5 Fy r}{E b t^2} \dots \dots \dots (2.15)$$

$$\epsilon_{34^\circ} = \frac{1.66 Fx r}{E b t^2} \dots \dots \dots (2.16)$$

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. La relación  $\{\epsilon/S\}$  puede ser expresada como una función de las dimensiones principales del anillo  $\{t, r \text{ y } b\}$  y están dadas por la ecuación 2.17.

$$\epsilon / Sx = 0.60 t/r^2 \dots\dots\dots (2.17)$$

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 a la deformación aceptable, esto puede verse en la ecuación 2.18.

$$\left\{ \frac{t}{r^2} \right\} = \frac{M}{\sigma_{\max} t r^2 b} \dots\dots\dots (2.18)$$

La ecuación anterior puede verse que para mejorar la relación de  $\{\epsilon / Sx\}$ , estos deben ser valores relativamente pequeños de  $\{t, r, b\}$ .

Godwin *et al.* (1993) diseñaron un dinamómetro para medir las fuerzas y momentos que actúan sobre implementos de labranza. El diseño fue basado en dos anillos octagonales extendidos montados “espalda con espalda” o “espaldas no discretas” arreglados con sus ejes longitudinales en ángulos correctos, estos anillos se encontraban montados en un plato cada uno con la finalidad de ser colocado ante el tandem del implemento y así poder ser transportados, también se encontraban montados sobre un tubo con el propósito de medir las fuerzas que ocasiona un par o una fuerza lateral a un implemento. Mediante su investigación encontraron la posición óptima para el montaje de las galgas extensiométricas y fue de 22.5° considerando que es una modificación apropiada para la teoría de un anillo delgado. Las

sensibilidades experimentales determinadas por Godwin son dadas por las ecuaciones siguientes:

$$\varepsilon_{22.5^\circ} = \frac{2.66Fxr}{Ebt^2} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$\varepsilon_{90^\circ} = \frac{1.13Fyr}{Ebt^2} \dots\dots\dots(2.20)$$

Campos *et al.* (1992) desarrollaron una metodología sencilla para el diseño de anillos octagonales teniendo en mente su aplicación en la evaluación de implementos de labranza bajo condiciones de campo. Campos demostró que existe un efecto de la longitud del plato sobre la localización de los nudos de deformación, cosa que cabe señalar que Godwin no menciona el efecto de la longitud de los platos (en función del largo total del anillo extendido) sobre la Sensibilidad del transductor y su efecto sobre la localización de los nudos de deformación.

Esto derivó en realizar una determinación experimental de las dimensiones apropiadas del plato, así como su efecto en la nueva localización de los nudos de deformación para la fuerza horizontal (Fx), corrigiendo así la localización del nudo de deformación producido por la componente horizontal localizándose a  $\theta = 39.1/4^\circ$  y se encontró que las sensibilidades para cada nudo de deformación fueron:

$$\varepsilon_{90^\circ} = \frac{2.12Fxr}{Ebt^2} \dots\dots\dots(2.21)$$

$$\varepsilon_{39.25^\circ} = \frac{2.24Fyr}{Ebt^2} \dots\dots\dots(2.22)$$

En el Cuadro 2.5 se muestra una de las diferentes situaciones de nodo en deformación del anillo extendido en los transductores, como resultado de fuerzas horizontales y verticales aplicadas, y como sus respectivas sensibilidades derivadas por investigadores diferentes.

Cuadro 2.5. Localización de los nudos de concentración de esfuerzos derivados por diferentes investigadores.

SITUACIÓN DE NUDO DE CONCENTRACION DE ESFUERZOS ( $\theta$ )			SUGERIDO POR DIFERENTES AUTORES	
NUDO			SENSIBILIDAD ( $\epsilon$ )	
	$\theta F_y$	$\theta F_x$	$F_x$	$F_y$
Anillo de carga (Cook, 1963)	90°	39.6°	$\frac{1.09 F_x r}{E b t^2}$	$\frac{2.31 F_y r}{E b t^2}$
Anillo exterior (Cook, 1963)	90°	50°	$\frac{0.7 F_x r}{E b t^2}$	$\frac{1.4 F_y r}{E b t^2}$
Godwin (1975)		90°	$\frac{1.5 F_x r}{E b t^2}$	$\frac{1.4 F_y r}{E b t^2}$
(Anillos espaldas no discretas) (Godwin, 1993)	90°	22.5°	$\frac{2.66 F_x r}{E b t^2}$	$\frac{1.13 F_y r}{E b t^2}$
Campos (1992)	90°	39 ¼°	$\frac{2.12 F_x r}{E b t^2}$	$\frac{2.24 F_y r}{E b t^2}$

## 2.4. Transductores

Podemos decir que la mayoría de los sistemas de medición se pueden dividir en tres partes (Campos et al. 2000):

1. Etapa **detectora-transductora**, la cual detecta la variable física y efectúa una transformación, ya sea mecánica o eléctrica para convertir la señal a una forma más manejable. Generalizando el concepto, un transductor es un dispositivo que transforma un efecto físico en otro, y en la gran mayoría de los casos, la variable física se transforma en una señal eléctrica, ya que ésta es la forma de señal más fácilmente medible.

2. La etapa **intermedia**, la cual modifica la señal que proviene del transductor, ya sea por amplificación, filtrado u otros medios para tener una salida deseable.
3. Una etapa **final o terminal**, en la cual se indica, graba o controla la variable que va a ser medida.

Mojica (2000) describe que un transductor es un dispositivo que ha sido diseñado para reaccionar ante un estímulo físico y proporcionar una salida que puede ser un desplazamiento o por lo regular un voltaje, que posteriormente puede ser comparado o analizado dependiendo de los requerimientos del sistema donde se utiliza.

Moo (1999) señala que los transductores (sensores) son elementos de transformación de una variable física correspondiente a un fenómeno, a una señal eléctrica que describe ese comportamiento y su desempeño se debe a los elementos de captura, éstos solo trabajan con señales eléctricas.

Generalmente los transductores son empleados en la medición de magnitudes físicas, como por ejemplo, temperatura, presión, longitud, etc.

En la Figura 2.6. Se muestra un diagrama de bloques de un sistema típico de medición empleado en la recolección de datos.

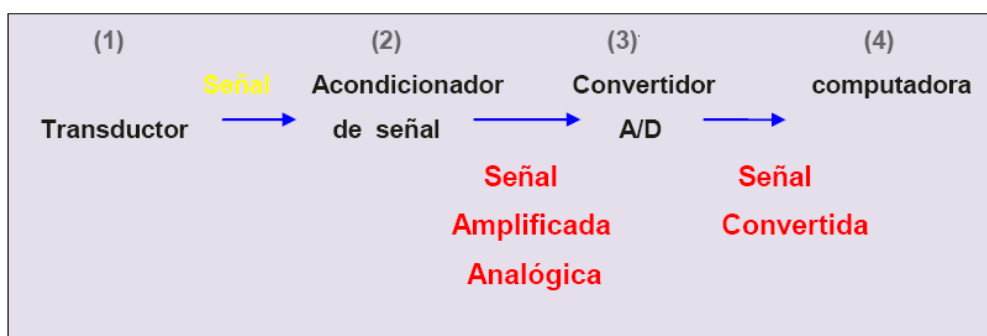


Figura 2.6. Diagrama de adquisición y procesamiento de datos.

### **2.4.1. Factores involucrados en la selección para el diseño de un transductor de fuerzas**

La necesidad de conocer con precisión la magnitud y dirección de las fuerzas de reacción del suelo, que actúan sobre un implemento en particular para su diseño óptimo requiere el uso de transductores para medir dichos parámetros los cuales se han diseñado para medir las fuerzas de tiro, fuerza vertical para herramientas de geometría simétrica ya que de acuerdo a la teoría de la falla de suelo son los componentes de interés. También existe una tercera fuerza de interés para elementos de geometría no simétrica como es la fuerza lateral.

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 tienen 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: (Campos, 1993).

- a).- Sensibilidad alta y predecible sin desviaciones grandes.
- b).- La sensibilidad cruzada insignificante.
- c).- No detecta fuerzas parásitas originadas por la fricción.
- d).- Tamaño relativamente pequeño.
- e).- Respuesta lineal.
- f).- Precisa determinación de la magnitud de las fuerzas no importando la localización de las mismas.
- g).- Detecta dos fuerzas en un plano, además del momento resultante en un solo transductor.
- h).- Detecta los cambios de dirección de las fuerzas.

Cuando un elemento de maquinaria se somete a una fuerza, este sufre una deformación proporcional a la fuerza aplicada. La deformación puede ser causada por una carga axial, por una torsión o por un momento. Esta deformación puede ser medida para conocer la fuerza que está actuando sobre el elemento ésta es censada mediante galgas extensiométricas. Las galgas extensiométricas pueden ser utilizadas para transformar esta deformación en valores de voltaje, estas son adheridas al material en el cual se desea conocer la fuerza aplicada, al deformarse el material, la galga aumentaría o disminuiría su longitud junto con el material, variando así su resistencia (Mojica, 2000).

Por lo tanto para los transductores de fuerzas se necesitan un elemento elástico que traduzca la fuerza en deformación. El material para construir los transductores de fuerza debe tener las siguientes características: rigidez elevada, carga de ruptura elevada, límite elástico y módulo de elasticidad bajo. Y para la elección de las galgas de deformación se consideran los siguientes factores: longitud de carga, factor de galga, salida de galga, temperatura característica, deslizamiento característico, endurecimiento y bajo costo (Moo, 1999).

#### **2.4.2. Galgas extensiométricas**

La galga extensiométrica es un ejemplo de transductor pasivo que convierte un desplazamiento mecánico en un cambio de resistencia. Una galga extensiométrica es un dispositivo delgado, como una oblea, que se puede unir (soldar) a una variedad de materiales con el fin de medir los esfuerzos aplicados. Las galgas extensiométricas metálicas se fabrican con alambres resistentes de diámetros muy pequeños, como constatan, o grabado en laminillas metálicas delgadas. La resistencia del alambre o de la lámina 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 (Cooper, 1991).

Para la configuración de las galgas la forma del elemento sensor se selecciona de acuerdo con la tensión mecánica por medir; uniaxial, biaxial o multidireccional. Para aplicaciones uniaxiales a menudo se utilizan elementos sensores largos y angostos para maximizar la tensión del material sensor en la sección de interés como se muestra en la Figura 2.7.

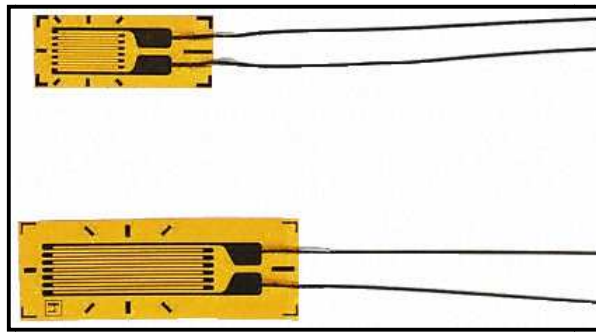


Figura 2.7. Galga extensiométrica.

Se pueden lograr mediciones simultáneas de esfuerzos en más de una dirección colocando galgas de un solo elemento en la dirección correcta. Sin embargo, para simplificar esta tarea y tener mayor exactitud, se dispone de galgas de múltiples elementos o rosetas.

Las siguientes rosetas pueden utilizarse en transductores de fuerzas. Las galgas se conectan en un circuito puente de Wheatstone para proporcionar una máxima salida. La Figura 2.8 muestra diferentes rosetas de dos elementos el inciso a) laminillas apiladas a 90 grados; b) laminilla plana a 90 grados; c) laminilla plana sesgada a 90 grados.

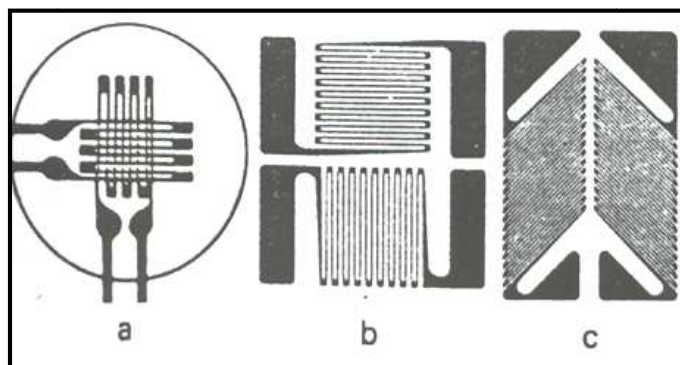


Figura 2.8. Diferentes formas de rosetas para transductores de fuerzas.

La sensibilidad de galgas de deformación es moderada en términos de “factor de la galga”. La fórmula para el factor de la galga se explica como sigue: la ley de Hooke para los materiales como metales generalmente se expresa como:

$$\varepsilon = \frac{dL}{L} = \frac{\sigma}{E} \dots\dots\dots (2.23)$$

Donde:

$\varepsilon$  = Deformación

L = Longitud original

dL = Cambio en longitud debido la deformación

$\sigma$  = Esfuerzo

E = Módulo de elasticidad

Según la ecuación (2.23), puede decirse que la tensión es obtenida por la determinación de deformación, en región elástica. Aunque hay varios métodos para determinar la deformación, se usan ampliamente las galgas para medir la deformación. Porque la tecnología de usar métodos de la galga extensiométrica es la simplicidad de manejo y la alta precisión.

Cuando la deformación ocurre, la resistencia eléctrica de una galga cambia como la ecuación siguiente:

$$\frac{dR}{R} = K\varepsilon \dots\dots\dots (2.24)$$

Donde: R = Resistencia sin deformación; dL = Incremento de la resistencia sin deformación; K = Número fijo proporcional;  $\varepsilon$  = Deformación.

Subsecuentemente, la relación entre resistencia (R) y la sección de material se expresan como sigue:



$$R = \rho \frac{L}{A} \dots\dots\dots (2.25)$$

Donde:

$\rho$  = Resistividad

L = Longitud

A = Área de la sección

En este punto Vaughan (1975) cita que una viga bajo una carga de tensión simple ésta incrementa su longitud y al mismo tiempo corresponde a un decremento en la sección transversal. Este es conocido como el efecto Poisson, de manera que la deformación es medida en cualquiera de los planos perpendiculares correspondientes a la carga aplicada, una deformación negativa con valores muy pequeños será detectada. La magnitud de ésta deformación es pequeña depende del radio de Poisson ( $\mu$ ), y esta constante varia de material a material. Éste valor usualmente es de 0.3, así que la deformación medida perpendicular a la carga será aproximadamente 0.3 veces a la deformación paralela a la carga.

### 2.4.3. Puente de Wheatstone

El dispositivo eléctrico que es normalmente usado para medir  $\epsilon K = \frac{dR}{R}$

y para convertir esta medición de cambio de resistencia en deformación, se utiliza el potenciómetro y el puente de Wheatstone como es mostrado en la Figura 2.9. El puente de Wheatstone puede determinar lecturas de galgas de tensión dinámicas y estáticas.

El voltaje de la excitación puede ser CA o DC, aquí solo DC es considerado.

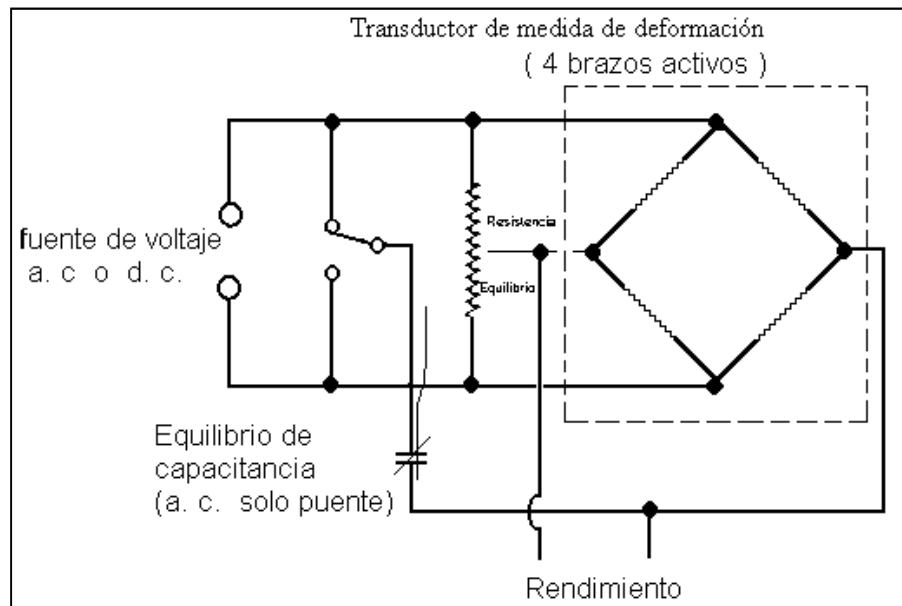


Figura 2.9 Puente de Wheatstone (Godwin, 1993)

De esto se puede desprender la ecuación 2.26.

$$V = \frac{(U)(F_G)(n)(\epsilon)}{4} * Gain \dots\dots\dots (2.26)$$

Donde:

V = Voltaje de salida esperado

U = Voltaje de excitación

n = Numero de galgas activas

$\epsilon$  = Deformación

$F_G$  = Factor de galga

Gain = Ganancia

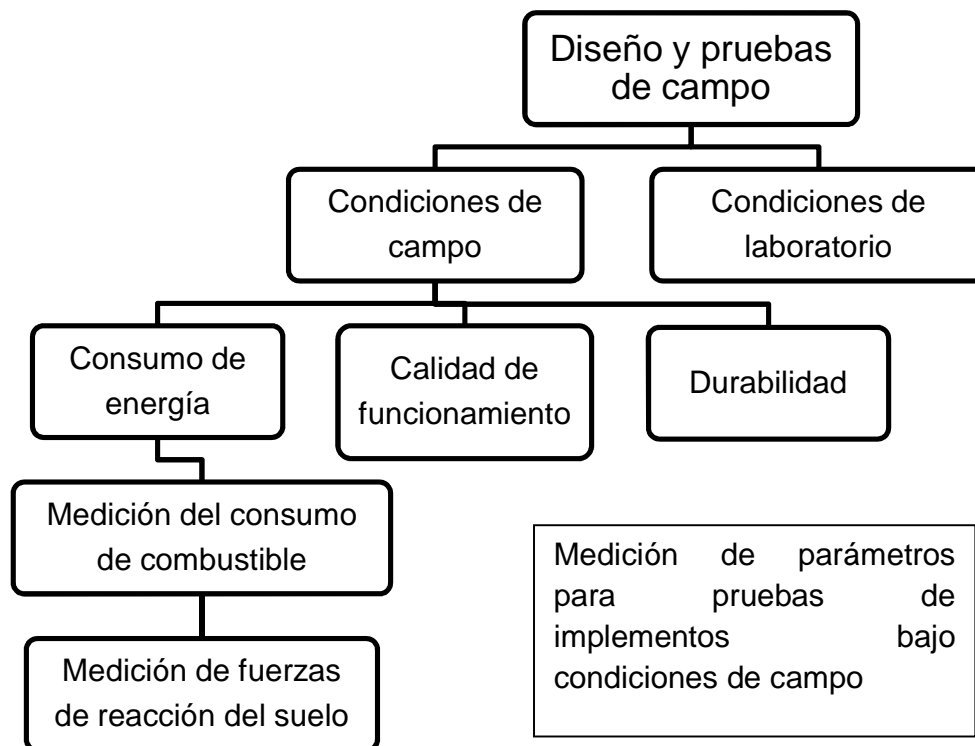
## 2.5. Sistema de adquisición de datos

Rogers y Johnston (1953) indican la necesidad del procesamiento de datos de las fuerzas que actúan sobre los implementos. Ellos usaron un cilindro de simple efecto para los brazos del enganche de tres puntos. Las líneas de presión de estos cilindros fueron ruta para las galgas, montadas sobre un equipo. Durante la operación de este sistema el equipo fue fotografiado con una cámara de video en 16 parte/s. Aparentemente el procesamiento de datos para las fuerzas fueron obtenidos de un análisis de foto por foto de la filmación. Ellos fueron capaces de gravar las fuerzas en intervalos de distancias de 5 cm. En el campo, Neuholff (1959) describe la técnica de cómo se puede usar un analizador de deformación y registrarla para medir la suma de dos fuerzas simultáneamente.

Licso (1988), Campos (2000), Graham (1989) describen la necesidad de un sistema de alta velocidad de muestreo para la reproducción de las fuerzas de reacción del suelo que incluye transductores de magnitudes de fuerzas y su localización; en cuanto al hardware en varias investigaciones se puede identificar en todas y cada una de ellas, un sistema de acondicionamiento de señales provenientes de los sensores de fuerzas, un sistema convertidor analógico a digital y software para su funcionamiento Moo (2000). El anterior sistema permite reproducir en términos de energía lo que está sucediendo en interacción suelo herramienta. Moo (2000) desarrollo un sistema de adquisición de datos de laboratorio y campo que permite evaluar el desempeño de los implementos de labranza, además muestra el diseño de medidores de velocidad y desplazamiento. Campos (1993) menciona que dentro de la adquisición de datos de laboratorio consta de un tanque de suelos el cual el sistema y los transductores se adaptan a este. Y para el análisis de información proveniente de los procesos de muestreo (conversión analógica a digital) utilizó la metodología del algoritmo de la transformada Rápida de Fourier para la obtención de la potencia espectral.

### III. MATERIALES Y MÉTODO

Los fines de evaluación y diseño del implemento agrícola integrado al tractor comienzan a partir del análisis de fuerzas de reacción del suelo sobre los implementos. El proceso de este análisis puede apreciarse en el siguiente esquema:



Donde para las condiciones de campo es necesario determinar las magnitudes, posición y dirección de las fuerzas de reacción del suelo que actúan sobre un implemento de labranza. El propósito de esto es corroborar con las magnitudes de la fuerza de tiro y transferencia de peso para así dimensionar los transductores, en el cual mediante el análisis de datos se toma como base la lectura promedio más alta de valores sumándole el pico más alto, determinado en valores de voltaje y expresado en magnitudes de fuerza. Para esto fue necesario diseñar dos dinamómetros axiales.

Los elementos que integran la propuesta son:

- a) Dos transductores octagonales con capacidad de 40 kN de fuerza.
- b) Un transductor para cargas axiales con capacidad de 70 kN.
- c) Un sistema de enganche.
- d) Una estructura flotante.

El diseño de la propuesta original (Ozuna, 2003) a ser construido se muestra en la Figura 3.1.

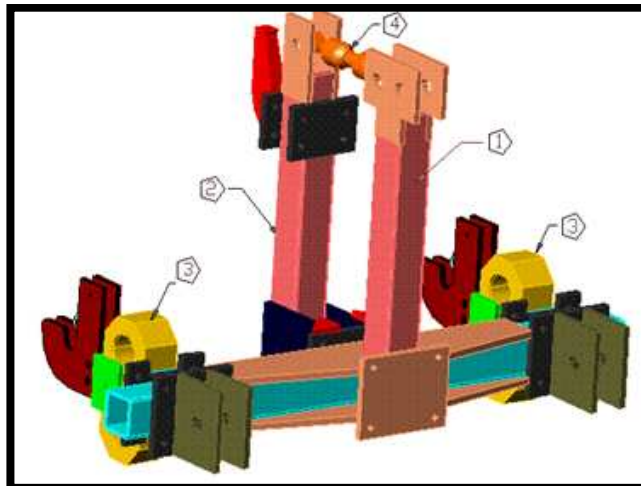


Figura 3.1. Propuesta de diseño de transductor integral de fuerzas montado a los tres puntos de enganche del tractor

### 3.1. Criterios para las características del transductor

Primeramente se estudiarán y se analizarán las diferentes fuerzas de algunos implementos conocidos de acuerdo a las Tablas 2.1 y 2.2 donde indican la fuerza de tiro y la transferencia de peso de los diferentes implementos de labranza, así como los reportes de prueba de tractores de Nebraska y OECD, para tractores de categoría II, para así poder llegar a la conclusión de la capacidad de los sensores octagonales y del dinamómetro de transferencia de peso.

### 3.2. Selección y dimensiones del material para los sensores

Siguiendo con la propuesta de Hinojosa (2003) el material a utilizar será un acero 1018, este acero de bajo-medio carbono tiene buena soldabilidad y ligeramente mejor maquinabilidad que los aceros con grados menores de carbono. Se presenta en condición de calibrado (acabado en frío). Debido a su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para componentes de maquinaria (<http://www.sumiteccr.com>).

Para obtener las dimensiones de los sensores octagonales se utilizara:

1. Una computadora de escritorio (marca Dell con un procesador Genuine Intel, una memoria RAM de 512 MB, con una capacidad en el disco duro de 34.1 GB).
- 2 Software de Turbo Basic con un programa llamado “diseño de transductores”, que incluye dimensiones del anillo: radio, ancho y espesor del anillo; esfuerzo de cedencia del material ( $N/m^2$ ), módulo de elasticidad; factores de seguridad y factor de galga, sensibilidad y voltaje de salida esperado; en el cual involucra todos los factores de diseño y se realiza variando el espesor ( $t$ ) y radio ( $r$ ), de manera que se obtengan las dimensiones específicas de aceros comerciales, ancho ( $b$ ) y profundidad del anillo (DPT) como se ilustra en la Figura 3.2. Para el dinamómetro de transferencia de peso también se utilizará acero 1018, y su factor de diseño respecto a los radios se obtiene mediante el factor de seguridad que se requiera.

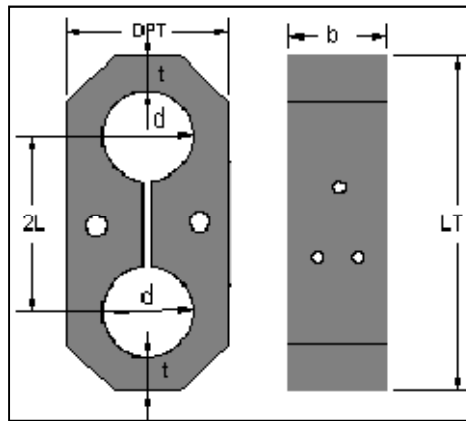


Figura 3.2. Sensor octagonal.

### 3.3. Fabricación de los sensores

La fabricación de los sensores octagonales se llevará a cabo en la empresa Bison porque ahí es donde también nos fabricaran los acoplamientos para la estructura flotante y el dinamómetro de transferencia de peso se fabricará en el laboratorio de mecánica de nuestra Universidad.

### 3.4. Acondicionamiento de sensores

Se colocaran las galgas extensiométricas de acuerdo al puente de Wheatstone que le corresponda y se cablearan cada una de ellas; el tipo de galgas extensiométricas empleadas para llevar a cabo la determinación de la  $F_x$  y para el momento para tomar la referencia para el diseño del octagonal extendido son del tipo KFG-5-350-C1-11 con un factor de galga de 2.11, conectadas en un circuito de puente de "Wheatstone". Para el dinamómetro axial y para la  $F_y$  fueron del tipo KFG-3-120-C1-11N30C2 con un factor de galga de 2.09, conectada a un circuito de puente de "Wheatstone". Mostradas en la Figura 3.3.

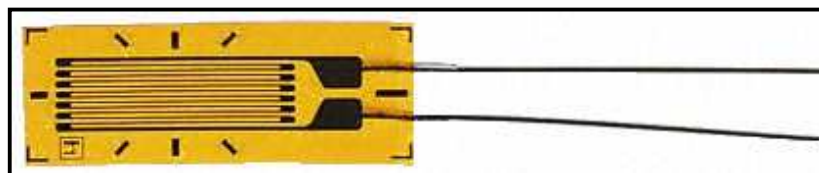


Figura 3.3. Modelo de la galga extensiométrica.

La localización de las galgas y los arreglos de los puentes de Wheatstone se muestran en la Figura 3.4.

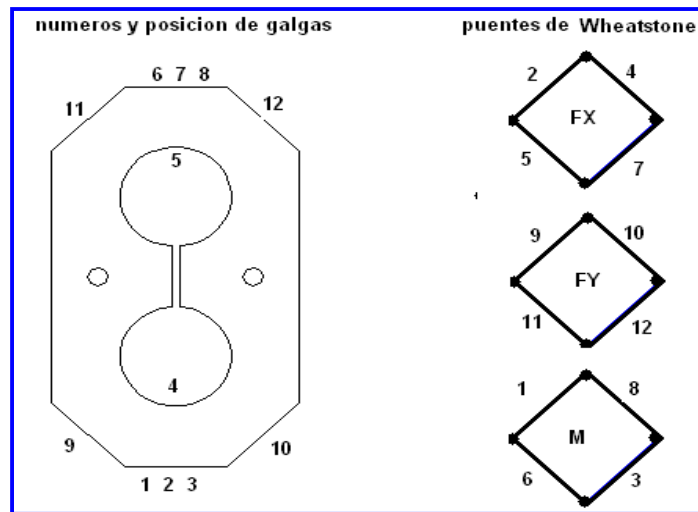


Figura 3.4. Localización de las galgas y puentes de Wheatstone.

### 3.5. Estructura flotante

Se utilizará como estructura flotante para colocar nuestros dinamómetros una parte del arado de cinceles del modelo MCC-357 de la marca BISON, acondicionado con placas para la colocación de los sensores octagonales como se muestra en la Figura 3.5.



Figura 3.5 Estructura flotante.



### 3.6. Calibración del equipo y transductor

Para esto se utilizará la computadora que anteriormente habíamos mencionado pero ahora con un software llamado "DaqView" y este software a su vez con:

1. Un amplificador – acondicionador (DBK–43A) con módulos de 8 canales, con ganancia de 10x a 1250x ( $\epsilon$ ), fabricado por Lotech, Inc. (<http://www.iotech.com>) usado para amplificar la señal del transductor y proporcionar una salida estandarizada de voltaje para así poder enviarla a un convertidor analógico – digital. Este además provee el voltaje de excitación al transductor en un rango de 1-10 V y 100 mA.
2. Un convertidor analógico – digital (DakBook/200).- El cual es un módulo que se conecta al puerto paralelo de la computadora y que convierte los valores de voltaje en valores digitales para que puedan ser procesados por la computadora. Este sistema se compone de dos partes, la primera parte es la que procesa la información y la segunda parte es un banco de baterías que alimenta a la parte de procesamiento. Este módulo es integrado por seis módulos de voltaje diferencial. Con una ganancia de 0.01 – 10 V y con una velocidad de muestreo de 25 – 625 E3 muestras por segundo. Con 16 canales analógicos y ocho canales digitales con rangos de ganancias en micro deformaciones de 100 a 10 K.

Este sistema permite almacenar en forma instantánea los datos, en el disco duro del ordenador, y permite ver la respuesta de los canales en pantalla durante el proceso. Los datos obtenidos durante el proceso son posteriormente analizados con los paquetes de Excel y Minitab.

### **3.6.1. Preparación del equipo de adquisición de datos**

- a) Primeramente se conectará la estructura flotante al enganche de tres puntos del tractor, para así posteriormente enganchar el implemento con el cual se va a calibrar.
- b) Se coloca todo el equipo al tractor para después empezar a conectar, tomando en cuenta que los transductores octagonales y el transductor axial ya tienen incluido una tarjeta para conexión rápida con cables que van desde el octagonal hasta el DBK-43a, considerando que hay que tener mucho cuidado en la conexión de los cables con los canales correspondientes del DBK-43a.
- c) El DBK-43a va conectado por medio de un puente al DaqBook/200.
- d) En el DaqBook/200, se conectan los cables de los datos: el que comunica al módulo con el puerto paralelo de la computadora. Se coloca el cable de alimentación que va de las baterías del DaqBook/200 a la unidad de proceso de datos. Se enciende el DaqBook/200 y el DBK-43a.
- e) Con todo el equipo ya encendido y bien conectado, se ejecuta el programa DaqView. En este momento el sistema de adquisición de datos ya está activado, es recomendable esperar de 5 a 10 minutos para iniciar la captura de datos, ya que las galgas extensiométricas deben alcanzar su temperatura de operación o de lo contrario se puede obtener datos erróneos.

### **3.6.2. Preparación del software para capturar datos**

La Figura 3.6 muestra una sección de DaqView y los parámetros que se deben configurar para iniciar el muestreo de información, estos son: selección y configuración del hardware, configuración de los canales a ser censados,

frecuencia de muestreo, cantidad de datos a registrar, nombre del archivo para guardar los datos.

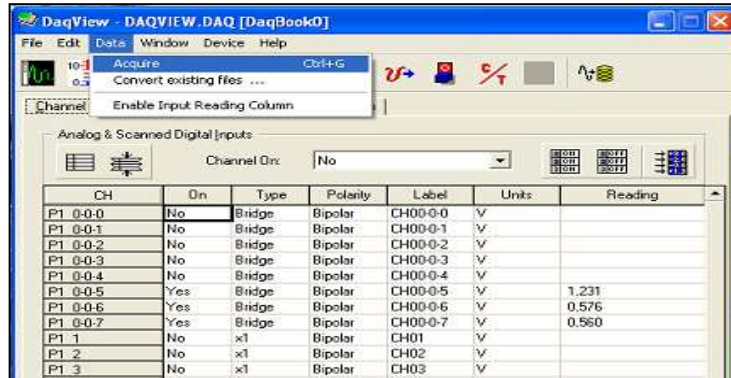


Figura 3.6 Captura de datos de una sesión de DaqView.

### 3.6.3. Calibración directa del equipo

Éste va calibrado de acuerdo a los parámetros que nosotros queremos obtener, se calibra canal por canal, pero antes debe de estar el DBK-43a en la posición de “cal” en la parte de atrás; se puede calibrar la excitación, ofset, gain scalling. Para calibrar el bridge y ver en que rango se estará guardando los datos debe de estar el programa en ejecución y en posición normal, y girar el potenciómetro del ofset hasta el valor deseado.

### 3.6.4. Registro de información

- a) En la barra de herramientas se presiona el icono DATA y una vez abierto se presiona el botón ACQUIRE y de ahí nos muestra otra ventana donde para empezar a almacenar los datos se presiona MANUAL TRIGGER.
- b) Esperar 30 segundos para iniciar el trabajo de la herramienta, esto se hace para que se registre la parte inicial de la evaluación, es decir, cuando la herramienta no presenta todavía resistencia por parte del peso, y así poder tener un punto de referencia en el momento de realizar el análisis de los

datos. Una vez pasados los 30 segundos se coloca el primer peso, se deja reposar un minuto y se coloca el segundo, y así sucesivamente hasta ver colocado el tercero y se comienza con la descarga de igual manera.

- c) De acuerdo a la calibración de cada dinamómetro octagonal, se estará almacenando la cantidad de 30 datos/segundo, con un total de 12600 datos que son los datos requeridos en tiempo para la colocación de los 3 contrapesos de 45.5 kg cada uno; que esto sería en la mitad para el periodo de carga y la otra mitad para el periodo de descarga.
  
- d) Al término de cada sesión automáticamente el programa lo guarda en la carpeta que nosotros habíamos destinado, se procede a revisar los datos graficando canal por canal en el programa de Excel para observar que en realidad está funcionando nuestros dinamómetros, se hacen tres repeticiones para cada evaluación.

### **3.7. Análisis de datos**

Para el análisis de datos primeramente se abren los archivos en Excel y se grafican los canales, para así poder determinar rangos de cada peso y obtener su promedio en mV, después a cada promedio se le resta el promedio cero, para así obtener su valor real, se promedian las tres repeticiones de cada prueba para así poder obtener su curva de calibración.

### **3.8. Análisis de información**

La disposición de un equipo de adquisición de datos que registren los valores que se obtienen por medio de un transductor y los envíe a una computadora, hace posible almacenar en un archivo en disco los valores registrados durante la operación de la herramienta. Este archivo puede ser leído

por el programa “análisis.mat”, en el ambiente de Matlab, que nos permita procesar toda la información contenida en él por medio de un análisis espectral se puede conocer las fuerzas que se presentan durante la operación del implemento.

La información que se obtiene del sistema de adquisición de datos es de tipo dinámico porque varía con el tiempo, y es aleatorio porque no tiene un comportamiento definido, ya que depende de las fuerzas en la interacción suelo – implemento que son registradas durante la operación de la herramienta. Para determinar que herramienta requiere la máxima fuerza y así poder dimensionar el dinamómetro, es necesario conocer la magnitud de las fuerzas de reacción del suelo y su frecuencia correspondiente, para lo cual se realiza un análisis espectral de los datos obtenidos.

Un espectro es una relación típicamente representada por una gráfica de la magnitud o valor relativo de un parámetro contra frecuencia. Cada fenómeno físico, ya sea electromagnético, mecánico, hidráulico, térmico o de algún otro sistema tiene un espectro único asociado a él.

Para conocer esta información se selecciona el algoritmo de la transformada rápida de Fourier incluido en el programa de Matlab, este algoritmo calcula el espectro de frecuencia de los datos obtenidos, y a partir de aquí se puede localizar la mayor magnitud ocurrida y su correspondiente frecuencia (Mojica, 2000).

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Diseño, construcción y calibración de transductores axiales

Después de estudiar y analizar las diferentes fuerzas de algunos implementos conocidos de acuerdo a las Tablas 2.1 y 2.2 donde indican la fuerza de tiro y la transferencia de peso de los diferentes implementos de labranza, así como los reportes de prueba de tractores de Nebraska y OECD, para tractores de categoría II, los parámetros de diseño seleccionados fueron de 80 kN de tiro y fuerza vertical, 120 kN de par y de 70 kN de transferencia de peso.

Posteriormente se procedió a construir los dinamómetros octagonales con las dimensiones correspondientes al diseño que se muestran en Figura 4.1, todo el proceso de cálculo de los dinamómetros es mostrado en el anexo (A).

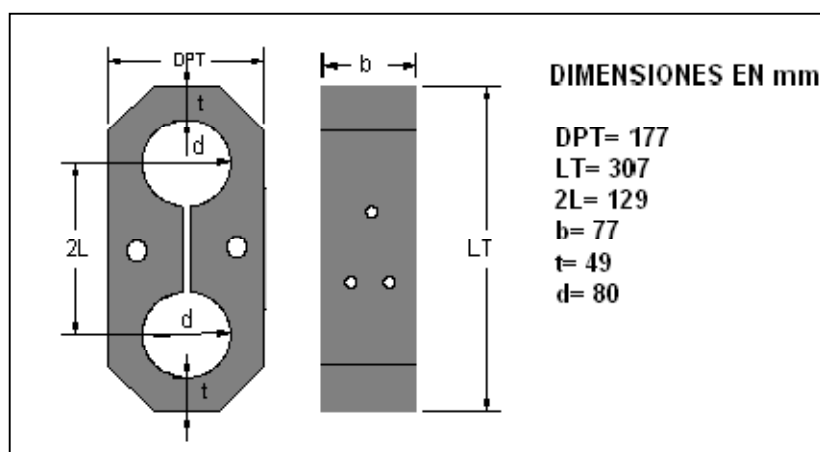


Figura 4.1 Dimensiones del octagonal. Acero 1018, con un esfuerzo a la tensión de 343 MPa.

Los dinamómetros fueron construidos por la empresa TECNOMEC, fabricante de los equipos Agropecuarios, Bison. En el anexo (B) se encuentra el procedimiento para el pegado de galgas y cableado de los dinamómetros octagonales.

En la Figura (4.2) se muestra el montaje de las galgas así como el cableado de las mismas, y la medición del aislamiento entre las galgas y el metal del sensor, este último se comprobó que fuera superior a 50 M $\Omega$ .

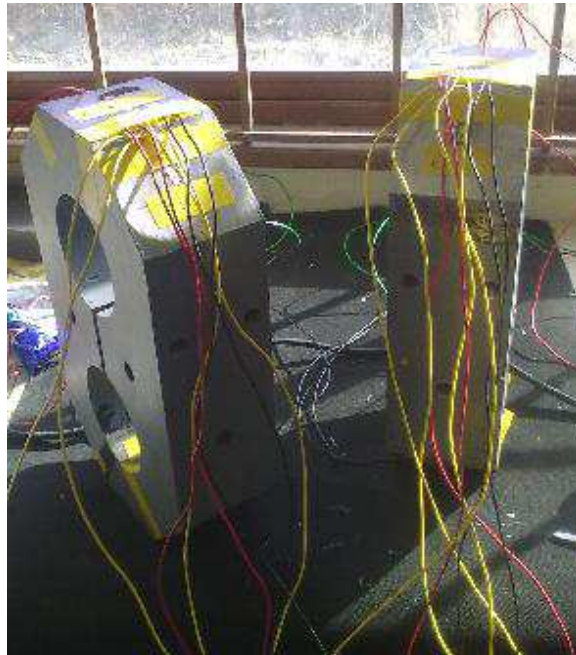


Figura 4.2. Galgas montadas y cableado en el sensor octagonal extendido con capacidad de 40 kN.

En el Cuadro (4.1) se muestran el voltaje de excitación, la ganancia, las constantes obtenidas durante su calibración en laboratorio así como su coeficiente de correlación (**R-sqr**) de todos los sensores empleados y montados en el banco de pruebas.

Cuadro 4.1. Voltajes de excitación, Ganancias y Constantes de calibración de los sensores para Fx.

<b>SENSORES</b>	<b>V DE EXITACION</b>	<b>INPUT GAIN</b>	<b>SCALING GAIN</b>	<b>CONSTANTE</b>	<b>R-sqr</b>
<b>NEGRO</b>	9,5	4,5	4,5	1,065	99.7%
<b>ENERGIA</b>	5,5	4,5	4,5	4,303	99.7%
<b>AMARILLO</b>	9,5	4,5	4,5	16,980	100%
<b>VERDE</b>	5,5	4,5	4,5	54,180	99.7%
<b>R. ROJO</b>	9,5	4,5	4,5	15,780	99.9%

## 4.2. Calibración de los sensores

### 4.2.1. Calibración del sensor octagonal negro

En la Figura (4.3) se muestran el procedimiento de calibración en forma individual de cada uno de los sensores en esta se aprecia el marco de calibración el gato de carga con capacidad de una tonelada así como el sensor de referencia con capacidad de 5 kN y el sensor en su proceso de calibración con capacidad de 10 kN.



Figura 4.3. Marco de calibración de los sensores individuales con capacidad de 10 kN.

En la Figura (4.4) se muestran la gráfica escalonada de la calibración del Sensor Integral de referencia que es el Octagonal Negro en forma individual con referencia a las pesas determinadas realizadas en el marco de calibración.

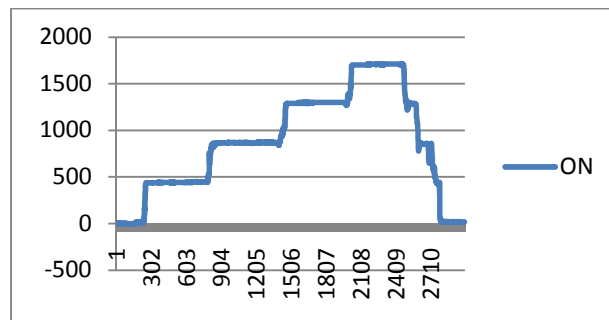


Figura 4.4. Calibración del octagonal negro con capacidad de 5 kN con cuatro diferentes pesos.



En el Cuadro (4.2) se muestra los datos de la respuesta que hay en el Sensor Octagonal Negro con capacidad de 5 kN que se muestran en mV contra los pesos conocidos convertidos en N.

Cuadro 4.2. Datos de calibración del octagonal negro con capacidad de 5 kN con cuatro diferentes pesos.

<b>Respuesta en (mV)</b>	<b>Pesos en (N)</b>
414	446,4
813	892,7
1217	1339,1
1602	1770,7
419	446,4
845	892,7
1264	1339,1
1680	1770,7
430	446,4
846	892,7
1285	1339,1
1697	1770,7
0	0
0	0
0	0

En la Figura (4.5) Se muestra la línea ajustada de la calibración del Octagonal Negro con capacidad de 5 kN mediante el programa del Minitab para ver el coeficiente de correlación.

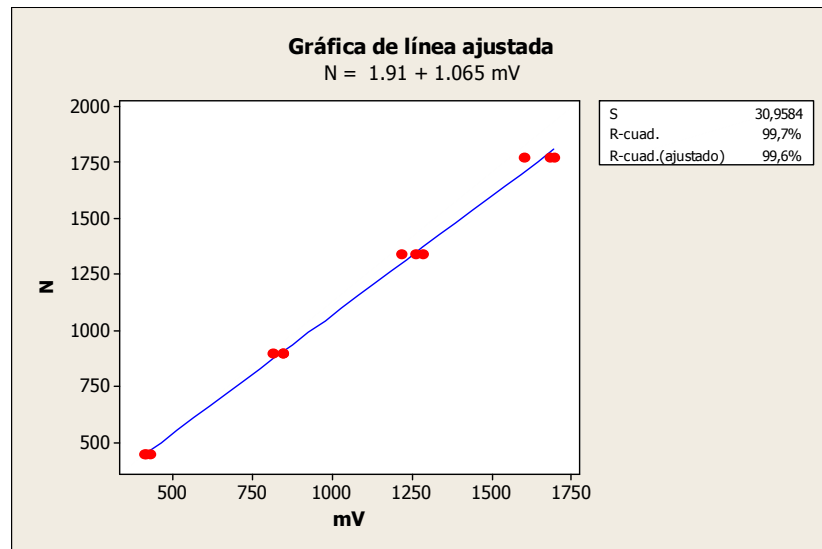


Figura 4.5. Línea ajustada de la calibración del octagonal negro con capacidad de 5 kN con cuatro diferentes pesos.

#### 4.2.2. Calibración del sensor octagonal de energía

En la Figura (4.6) se muestran la gráfica escalonada de la calibración del Sensor Integral Octagonal de Energía Versus Octagonal Negro realizadas en el marco de calibración.

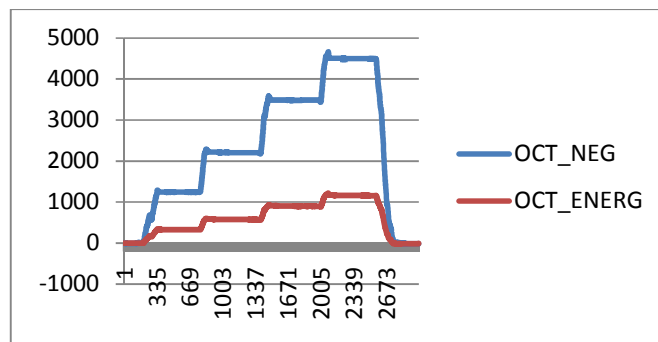


Figura 4.6. Calibración del octagonal de energía con capacidad de 10 kN versus octagonal negro.

En el Cuadro (4.3) Se muestra los datos de la respuesta que hay en el Sensor Octagonal de Energía con capacidad de 10 kN que se muestran en mV versus Octagonal Negro convertidos en N.

Cuadro 4.3. Datos de calibración del octagonal de energía con capacidad de 10 kN versus Octagonal Negro.

Octagonal de energía (mV)	Octagonal negro (N)
233	976
571	2460
910	3972
1130	4963
328	1326
578	2348
905	3712
1163	4787
384	1672
571	2513
863	3802
1144	5027
0	0
0	0
0	0

En la Figura (4.7) Se muestra la línea ajustada de la calibración del Octagonal de Energía con capacidad de 10 kN mediante el programa del Minitab para ver el coeficiente de correlación.

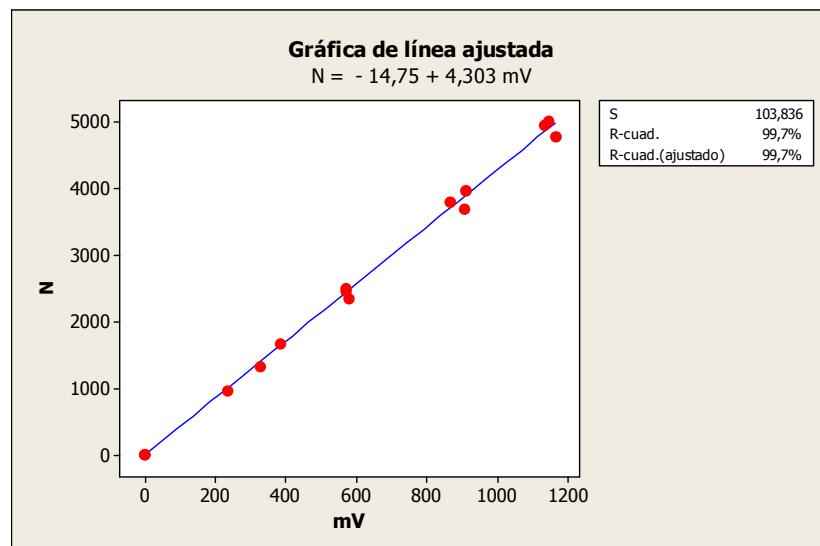


Figura 4.7. Línea ajustada de la calibración del octagonal de energía con capacidad de 10 kN versus octagonal negro.

### 4.2.3. Calibración del sensor octagonal amarillo

En la Figura (4.8) se muestra la gráfica escalonada de la calibración del sensor integral octagonal amarillo versus octagonal de energía realizadas en el marco de calibración.

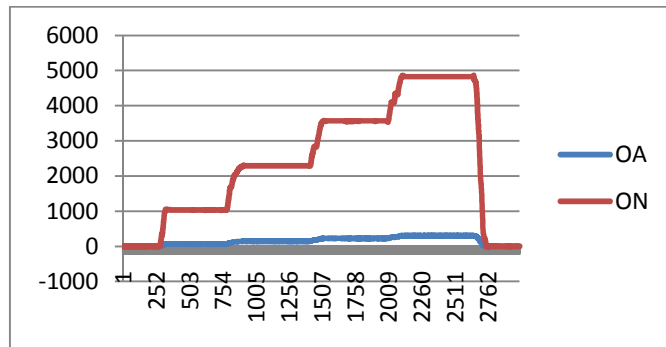


Figura 4.8. Calibración del octagonal amarillo con capacidad de 40 kN versus octagonal negro.

En el Cuadro (4.4) se muestra los datos de la respuesta que hay en el sensor Octagonal Amarillo con capacidad de 40 kN que se muestran en mV versus Octagonal de Energía convertidos en N.

Cuadro 4.4. Datos de calibración del octagonal amarillo con capacidad de 40 kN versus octagonal negro.

<b>Octagonal amarillo (mV)</b>	<b>Octagonal negro (N)</b>
78	1270
144	2290
222	3520
307	4890
67	1071
141	2242
225	3563
314	5001
65	1030
142	2290
223	3570
301	4830
0	0
0	0
0	0

En la Figura (4.9) se muestra la línea ajustada de la calibración del Octagonal Amarillo con capacidad de 40 kN mediante el programa de Minitab para ver el coeficiente de correlación.

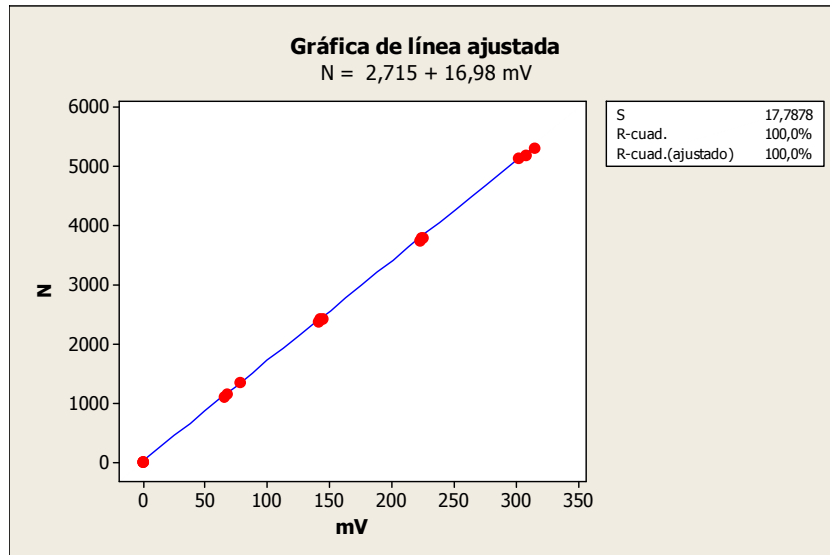


Figura 4.9. Línea ajustada de la calibración del octagonal amarillo con capacidad de 40 kN versus octagonal negro.

#### 4.2.4. Calibración del sensor octagonal amarillo

En la Figura (4.10) se muestran la gráfica escalonada de la calibración del Sensor Integral Ring Rojo con capacidad de 40 kN versus Octagonal de Energía realizadas en el marco de calibración.

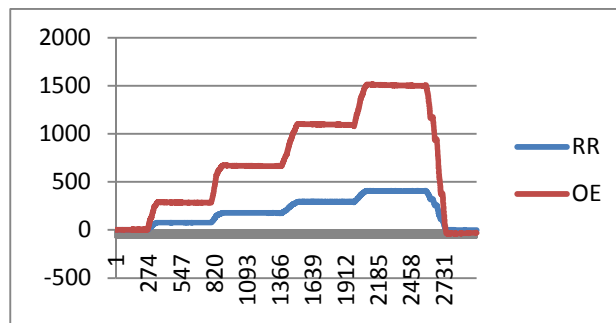


Figura 4.10. Calibración del ring rojo con capacidad de 40 kN versus octagonal de energía.

En el Cuadro (4.5) se muestra los datos de la respuesta que hay en el Sensor Ring Rojo con capacidad de 40 kN que se muestran en mV versus Octagonal de Energía convertidos en N.

Cuadro 4.5. Datos de calibración del ring rojo con capacidad de 40 kN versus octagonal de energía.

<b>Ring rojo (mV)</b>	<b>Octagonal de energía (N)</b>
75	1226,4
176	2857,2
291	4729,0
403	6480,3
66	1071,4
178	2865,8
300	4810,8
400	6334,0
74	1174,7
186	2917,4
301	4677,4
413	6368,4
0	0
0	0
0	0

En la Figura (4.11) se muestra la línea ajustada de la calibración del Ring Rojo con capacidad de 40 kN mediante el programa del Minitab para ver el coeficiente de correlación.

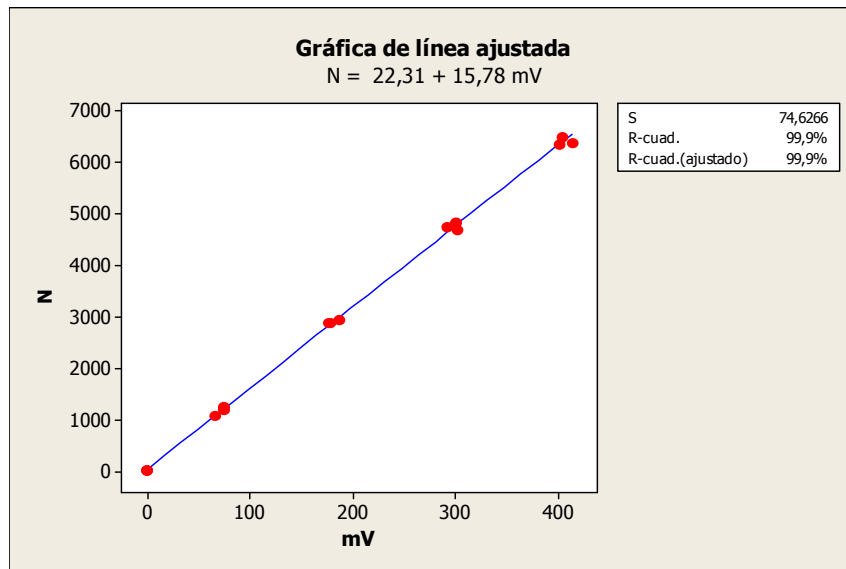


Figura 4.11. Línea ajustada de la calibración del ring rojo con capacidad de 40 kN versus octogonal de energía.

### 4.3. Pruebas con arreglos de medios puentes

#### 4.3.1. Pruebas concentradas a distancia de 0.56 m

En la Figura (4.12) se muestra el procedimiento de las pruebas en forma grupal de los sensores en esta se aprecia el banco de pruebas el gato de carga con capacidad de una tonelada así como los sensor con los que estamos manejando con las pruebas.



Figura 4.12. Pruebas con los sensores integrales con sus respectivas fuerzas montado en el banco de pruebas.

En la Figura (4.13) se muestran el banco de pruebas y los sensores que utilizamos en las pruebas, este fue diseñado mediante el programa de SolidWorks 2010.

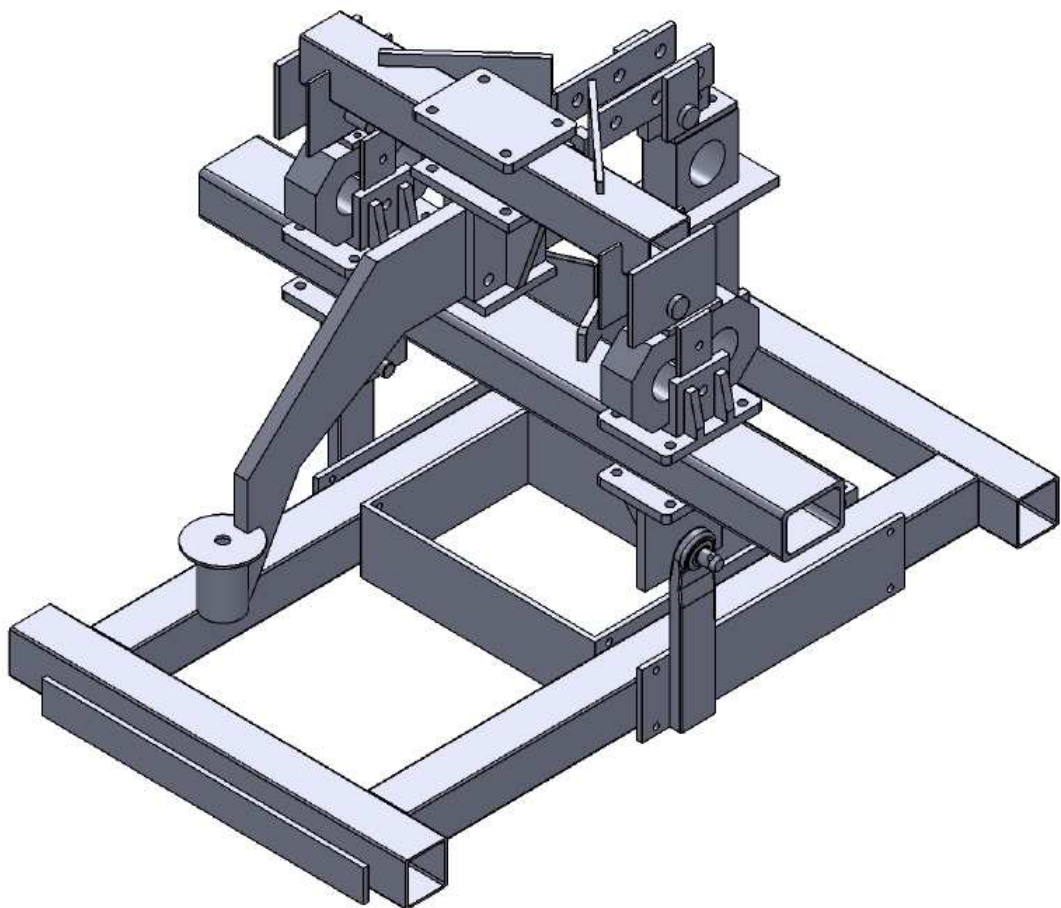


Figura 4.13. Banco de prueba diseñado con el programa SolidWorks 2010.

En la Figura (4.14) se observa la gráfica de los promedios de las pruebas de los dos medios puentes que es el Superior y el Inferior versus Octagonal de Energía cuando la fuerza está concentrada y a una solo determinada fuerza a la distancia de 0.56 m.



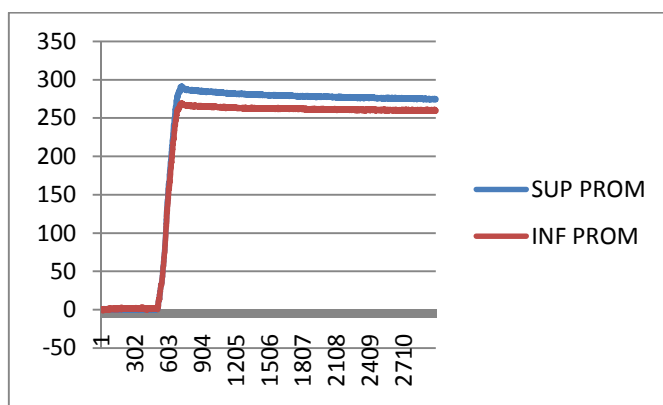


Figura 4.14. Distancia media que es de 0.56 m cuando está en medio puente de Wheastone activo y la fuerza concentrada.

En el Cuadro (4.6) se puede observar los datos de los Sensores Integrales con los que se trabajaron y convertidos a N de las tres repeticiones cuando la fuerza está concentrada sin escalones a la distancia de 0.56 m.

Cuadro 4.6. Datos de la distancia media que es de 0.56 m cuando está en medio puente y la fuerza concentrada.

<b>SUPERIOR (N)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
	4670	5026	4585	4760
	4636	4992	4500	4709
	4602	4975	4415	4664
<b>ENERGIA (N)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
	7896	8516	8111	8174
	7836	8473	8064	8124
	7819	8460	8025	8101
<b>INFERIOR (N)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
	4313	4686	4381	4460
	4296	4670	4296	4420
	4279	4670	4296	4415

En la Figura (4.15) obtuvimos la línea ajustada en el programa de Minitab del medio puente que es el Superior versus Octagonal de Energía para ver el coeficiente de correlación y obtener la ecuación cuando la fuerza está concentrada a la distancia de 0.56 m.

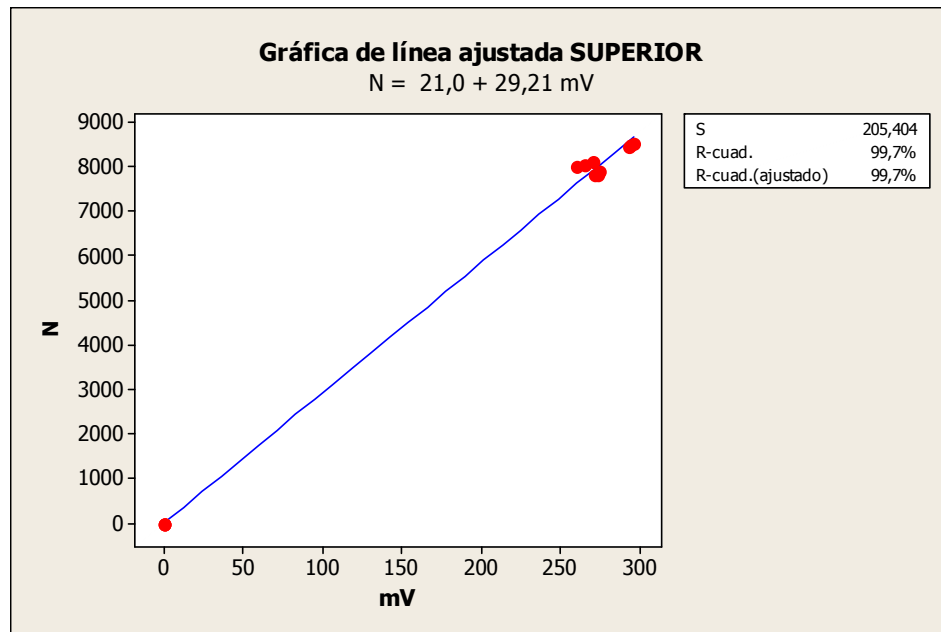


Figura 4.15. Línea ajustada de la distancia media que es de 0.56 m cuando está en medio puente y la fuerza concentrada.

En la Figura (4.16) obtuvimos la línea ajustada en el programa de Minitab del medio puente que es el Inferior versus Octagonal de Energía para ver el coeficiente de correlación y obtener la ecuación cuando la fuerza está concentrada a la distancia de 0.56 m.

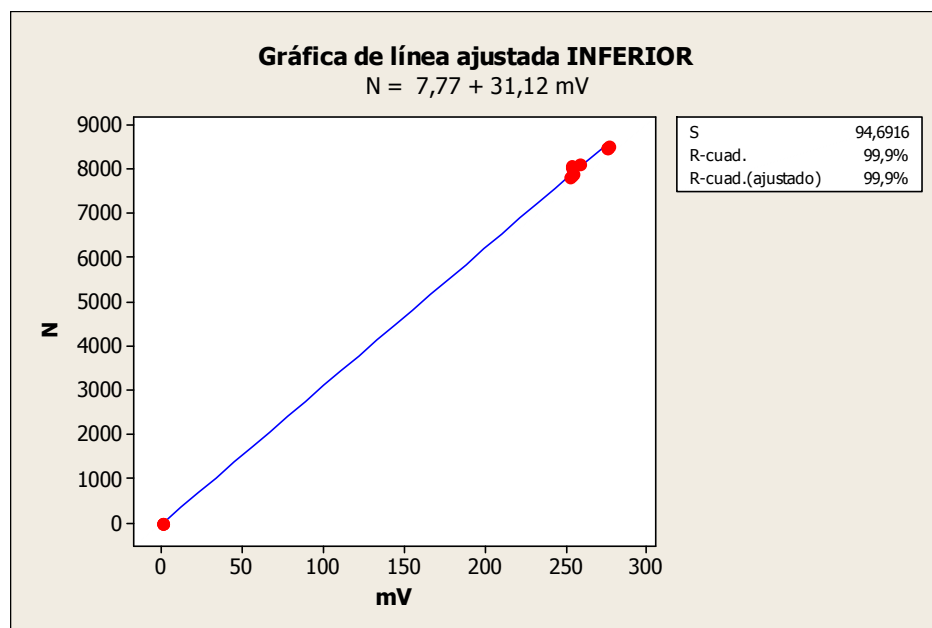


Figura 4.16. Distancia media que es de 0.56 m cuando está en medio puente y la fuerza concentrada.

### 4.3.2. Pruebas concentradas a distancia de 0.73 m.

En la Figura (4.17) se observa la gráfica de los promedios de las pruebas de los dos medios puentes que son el Superior y el Inferior versus Octagonal de Energía cuando la fuerza está concentrada y a una solo determinada fuerza a la distancia de 0.73 m.

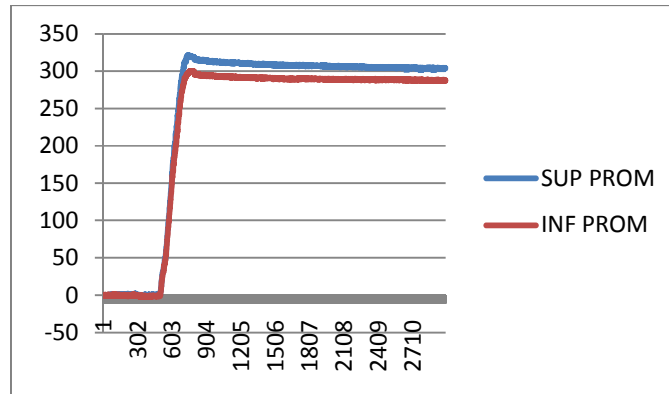


Figura 4.17. Distancia larga que es igual a 0.73 m cuando está en medio puente y la fuerza concentrada.

En el Cuadro (4.7) se puede observar los datos de los Sensores Integrales con los que se trabajaron y convertidos a Newton de las tres repeticiones cuando la fuerza está concentrada sin escalones a la distancia de 0.73 m.

Cuadro 4.7. Datos de la distancia larga que es igual a 0.73 m cuando está en medio puente y la fuerza concentrada.

<b>SUPERIOR (N)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
	5077	5502	5230	5269
	5009	5417	5162	5196
	4975	5400	5111	5162
<b>ENERGIA (N)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
	7483	8055	7513	7684
	7414	7995	7440	7616
	7367	7969	7410	7582
<b>INFERIOR (N)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
	4805	5315	4720	4947
	4737	5298	4670	4902
	4720	5281	4670	4890

En la Figura (4.18) obtuvimos la línea ajustada en el programa de Minitab del medio puente que es el Superior versus Octagonal de Energía para ver el coeficiente de correlación y obtener la ecuación cuando la fuerza está concentrada a la distancia de 0.73 m.

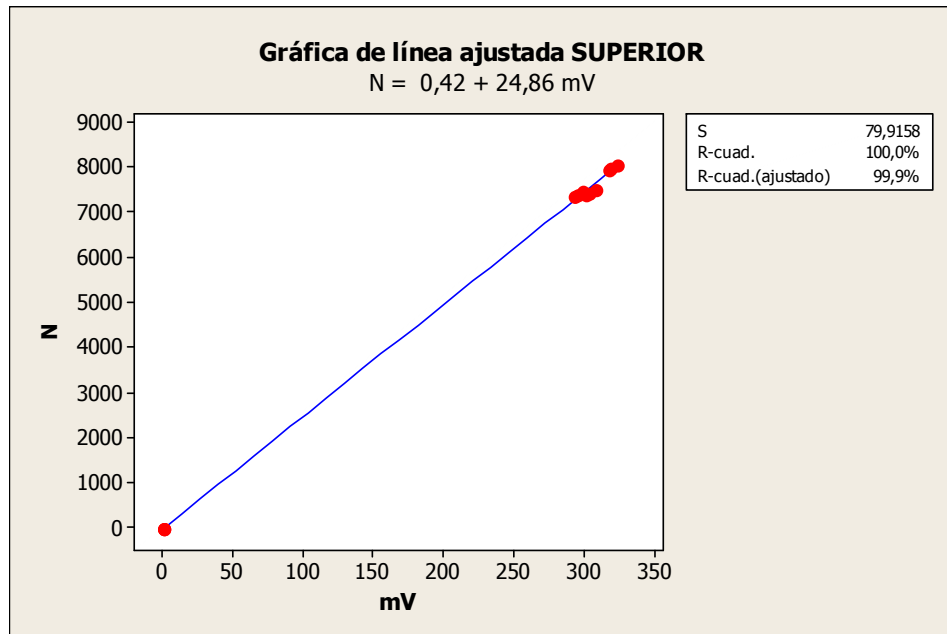


Figura 4.18. Línea ajustada de la distancia larga que es igual a 0.73 m cuando está en medio puente y la fuerza concentrada.

En la Figura (4.19) obtuvimos la línea ajustada en el programa de Minitab del medio puente que es el Inferior versus Octagonal de Energía para ver el coeficiente de correlación y obtener la ecuación cuando la fuerza está concentrada a la distancia de 0.73 m.

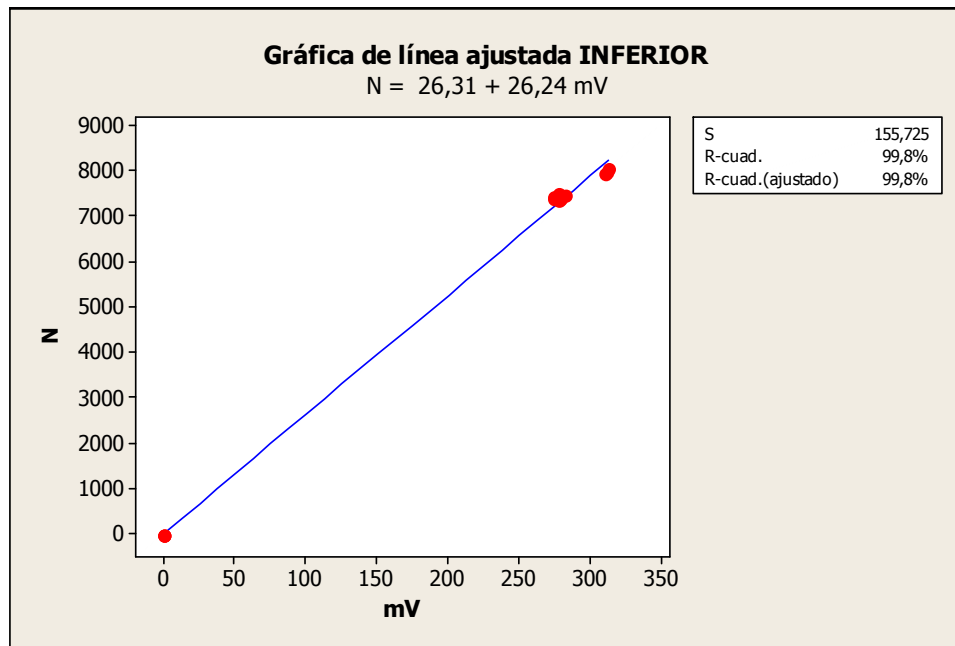


Figura 4.19. Línea ajustada de la distancia larga que es igual a 0.73 m cuando está en medio puente y la fuerza concentrada.

### 4.3.3. Pruebas desfasadas a distancia de 0.56 m

En la Figura (4.20) se observa la gráfica de los promedios de las pruebas de los dos medios puentes que es el Superior y el Inferior versus Octagonal de Energía cuando la fuerza está desfasada y la fuerza fue aplicada escalonada a la distancia de 0.56 m.

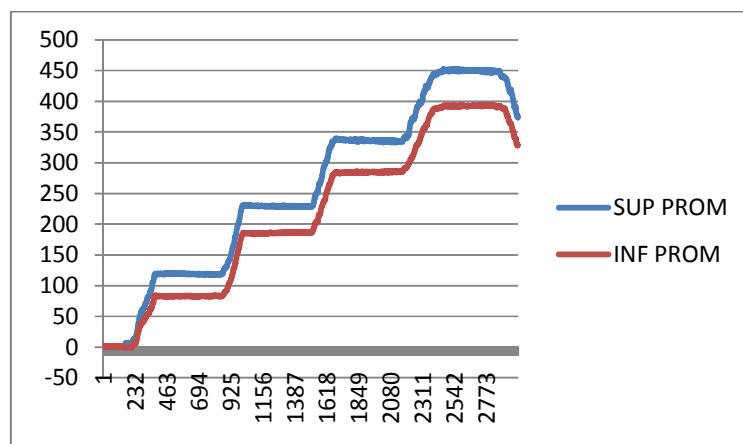


Figura 4.20. Distancia media que es igual a 0.56 m cuando está en medio puente y la fuerza desfasada.

En el Cuadro (4.8) se puede observar los datos de los Sensores Integrales con los que se trabajaron y convertidos a Newton de las tres repeticiones cuando la fuerza está desfasada con escalones a la distancia de 0.56 m.

Cuadro 4.8. Datos de la distancia media que es igual a 0.56 m cuando está en medio puente y la fuerza desfasada.

<b>SUPERIOR (N)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
	2683	1800	1613	2032
	4500	3821	3362	3894
	6317	5569	5230	5705
	8099	7454	7352	7635
<b>ENERGIA (N)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
	1880	2057	2203	2047
	4036	4423	4368	4276
	6063	6579	6368	6337
	8115	8795	8834	8582
<b>INFERIOR (N)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
	1121	1511	1596	1409
	2836	3362	3260	3153
	4483	5145	4890	4839
	6130	6894	6928	6651

En la Figura (4.21) obtuvimos la línea ajustada con el programa de Minitab del medio puente que es el Superior versus Octagonal de Energía para ver el coeficiente de correlación y obtener la ecuación cuando la fuerza está desfasada y escalonadas a la distancia de 0.56 m.

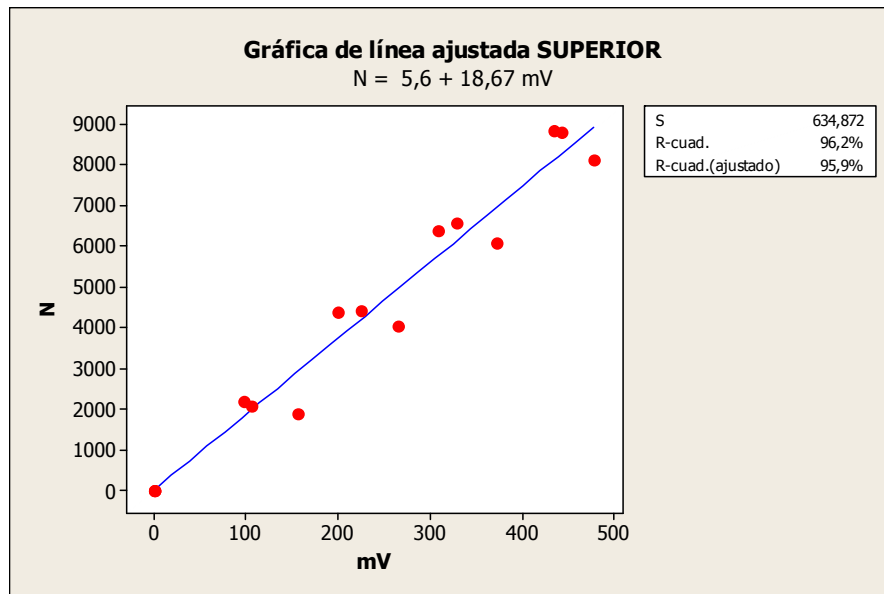


Figura 4.21. Línea ajustada de la distancia media que es igual a 0.56 m cuando está en medio puente y la fuerza desfasada.

En la Figura (4.22) obtuvimos la línea ajustada con el programa de Minitab del medio puente que es el Inferior versus Octagonal de Energía para ver el coeficiente de correlación y obtener la ecuación cuando la fuerza está desfasada y escalonadas a la distancia de 0.56 m.

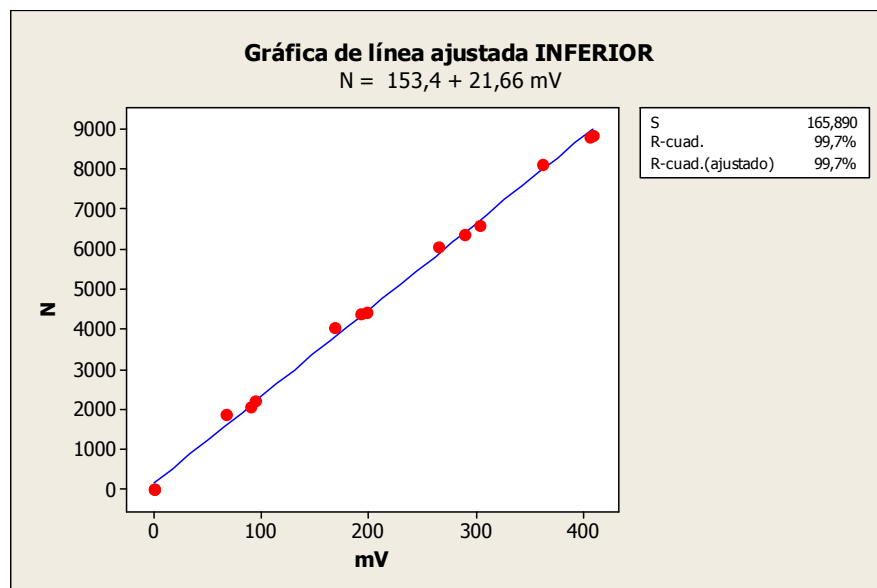


Figura 4.22. Línea ajustada de la distancia media que es igual a 0.56 m cuando está en medio puente y la fuerza desfasada.

#### 4.3.4. Pruebas desfasadas a distancia de 0.73 m

En la Figura (4.23) se observa la gráfica de los promedios de las pruebas de los dos medios puentes que es el Superior y el Inferior versus Octagonal de Energía cuando la fuerza está desfasada y la fuerza fue aplicada escalonada a la distancia de 0.73 m.

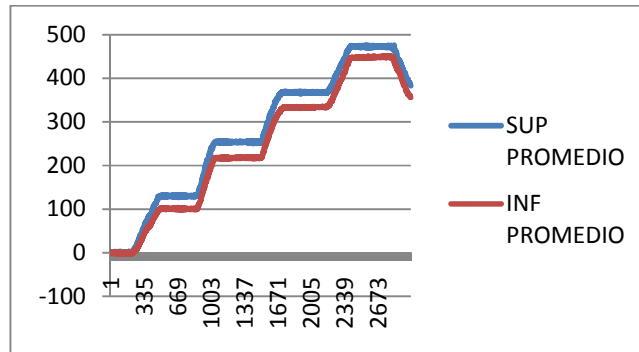


Figura 4.23. Distancia larga que es igual a 0.73 m cuando está en medio puente y la fuerza desfasado.

En el Cuadro (4.9) se puede observar los datos de los Sensores Integrales con los que se trabajaron y convertidos a Newton de las tres repeticiones cuando la fuerza está desfasada con escalones a la distancia de 0.73 m.

Cuadro 4.9. Datos de la distancia larga que es igual a 0.73 m cuando está en medio puente y la fuerza desfasada.

<b>SUPERIOR (N)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
	2123	2224	2241	2196
	4194	4330	4364	4296
	6334	6198	6232	6254
	7811	8032	8252	8032
<b>ENERGIA (N)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
	2173	2190	2345	2236
	4380	4557	4630	4522
	6777	6545	6700	6674
	8417	8649	8946	8671
<b>INFERIOR (N)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
	1630	1664	1817	1704
	3532	3736	3804	3690
	5756	5451	5722	5643
	7250	7590	7964	7601



En la Figura (4.24) obtuvimos la línea ajustada con el programa de Minitab del medio puente que es el Superior versus Octagonal de Energía para ver el coeficiente de correlación y obtener la ecuación cuando la fuerza está desfasada y escalonadas a la distancia de 0.73 m.

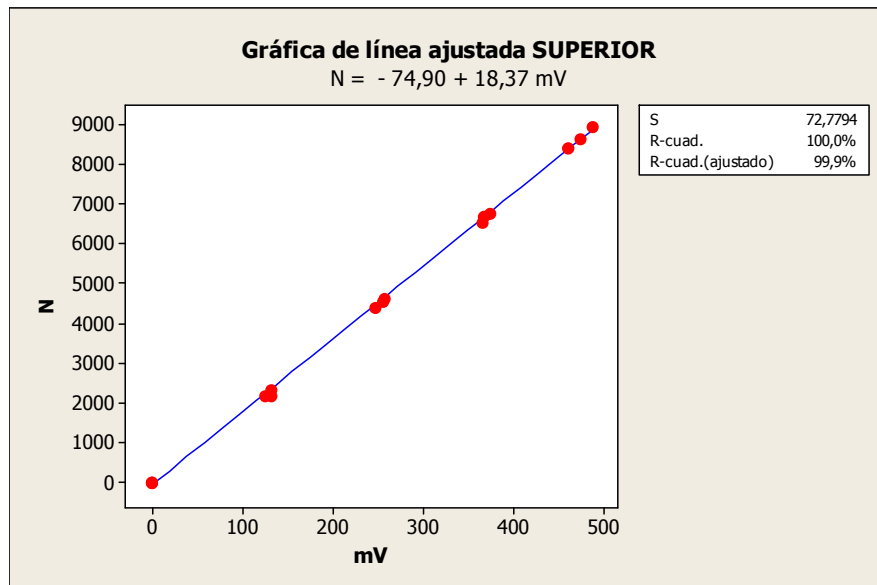


Figura 4.24. Línea ajustada de la distancia larga que es igual a 0.73 m cuando está en medio puente y la fuerza desfasada.

En la Figura (4.25) obtuvimos la línea ajustada con el programa de Minitab del medio puente que es el Inferior versus Octagonal de Energía para ver el coeficiente de correlación y obtener la ecuación cuando la fuerza está desfasada y escalonadas a la distancia de 0.73 m.

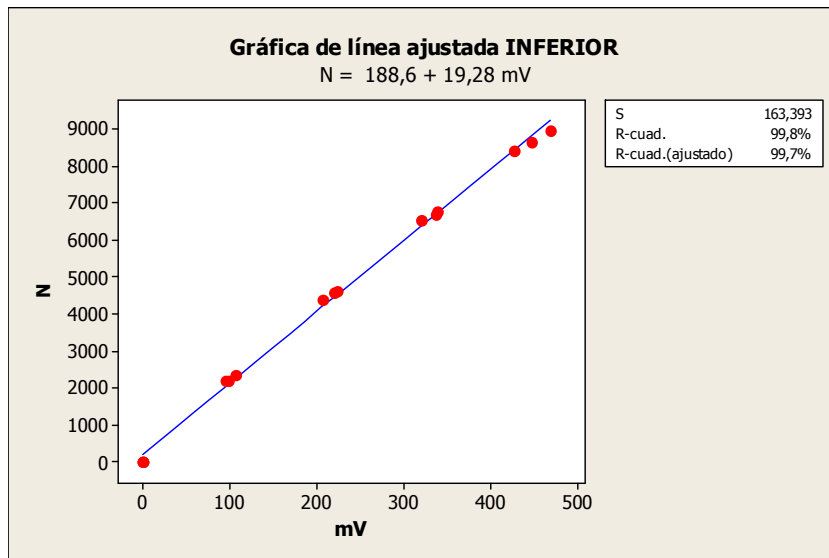


Figura 4.25. Línea ajustada de la distancia larga que es igual a 0.73 m cuando está en medio puente y la fuerza desfasada.

#### 4.4. Pruebas con arreglos completos

##### 4.4.1. Pruebas concentradas a distancia de 0.56 m

En la Figura (4.26) es la gráfica donde se puede observar las fuerzas escalonadas cuando los sensores integrales Ring Rojo, Octagonal Amarillo y el Octagonal de Energía están completos y la fuerza está concentrada a la distancia de 0.56 m.

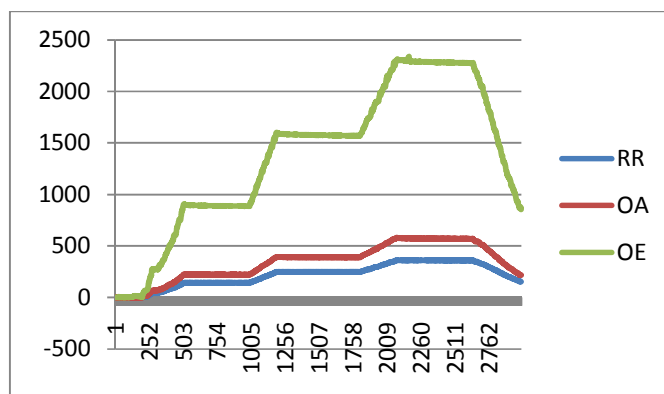


Figura 4.26. Sensores Integrales cuando está en puente completo y la fuerza concentrada a la distancia de 0.56 m.

En el Cuadro (4.10) se puede observar los datos de las pruebas realizadas en el laboratorio con los sensores integrales Ring Rojo (**R.R.**), Octagonal Amarillo (**O.A.**) y el Octagonal de Energía (**O.E.**) cuando los arreglos están completos y con la fuerza concentrada a la distancia de 0.56 m.

Cuadro 4.10. Datos de los Sensores Integrales cuando está en puente completo y la fuerza concentrada a la distancia de 0.56 m.

<b>R.R. (N)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>Promedio</b>
	0	0	0
	2257	2225	2241
	3898	3850	3874
	5681	5570	5626
<b>O.A. (N)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>Promedio</b>
	0	0	0
	3753	3651	3702
	6605	6418	6512
	9713	9458	9585
<b>O.E. (N)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>Promedio</b>
	0	0	0
	3830	3744	3787
	6777	6596	6687
	9819	9622	9720

En la Figura (4.27) realizamos la línea ajustada del sensor integral Ring Rojo con el arreglo completo para ver el coeficiente de correlación y la ecuación cuando la fuerza está concentrada a la distancia de 0.56 m.

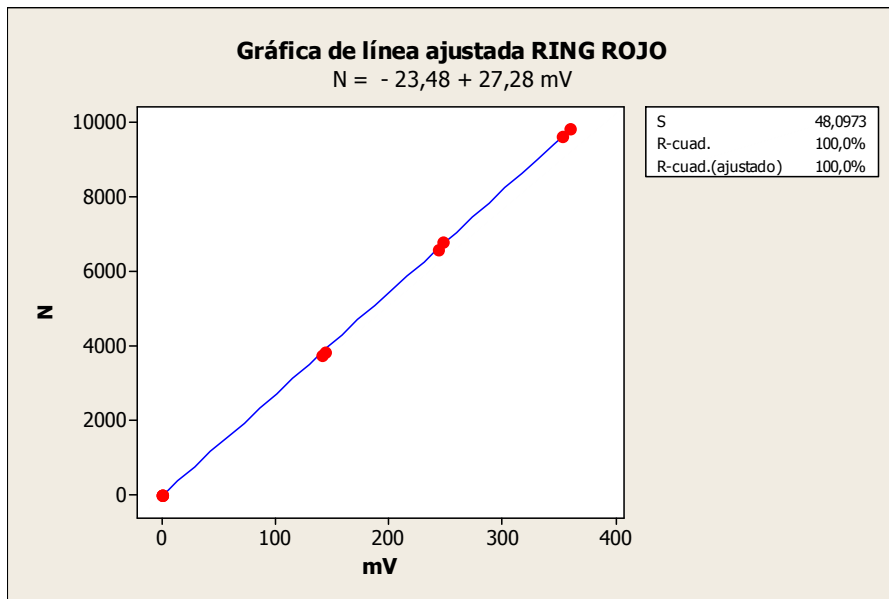


Figura 4.27. Línea ajustada de los Sensores Integrales cuando está en puente completo y la fuerza concentrada a la distancia de 0.56 m.

En la Figura (4.28) realizamos la línea ajustada del sensor integral Octagonal Amarillo con el arreglo completo para ver el coeficiente de correlación y la ecuación cuando la fuerza está concentrada a la distancia de 0.56 m.

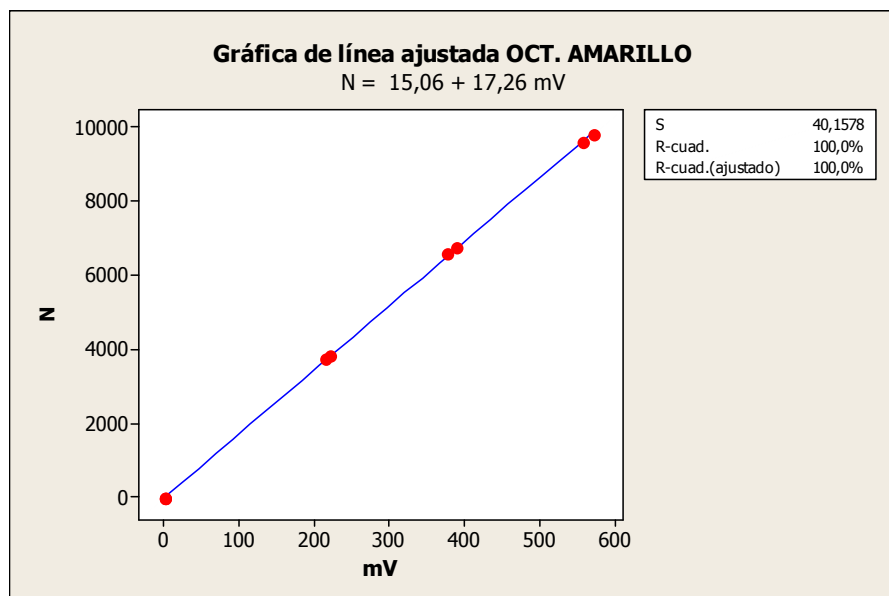


Figura 4.28. Línea ajustada de los Sensores Integrales cuando está en puente completo y la fuerza concentrada a la distancia de 0.56 m.

#### 4.4.2. Pruebas concentradas a distancia de 0.73 m

En la Figura (4.29) es la gráfica donde se puede observar las fuerzas escalonadas cuando los sensores integrales Ring Rojo, Octagonal Amarillo y el Octagonal de Energía están completos y la fuerza está concentrada a la distancia de 0.73 m.

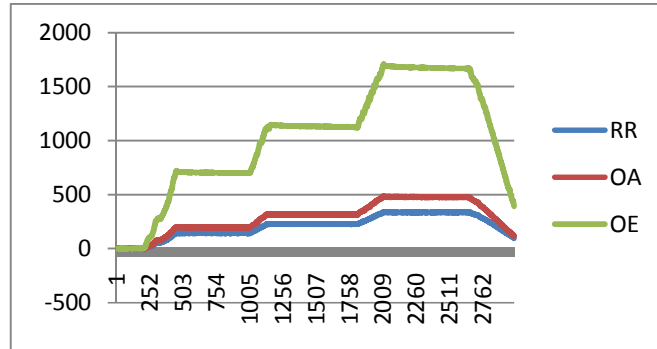


Figura 4.29. Sensores Integrales cuando está en puente completo y la fuerza concentrada a la distancia de 0.73 m.

En el Cuadro (4.11) se puede observar los datos de las pruebas realizadas en el laboratorio con los sensores integrales Ring Rojo, Octagonal Amarillo y el Octagonal de Energía cuando los arreglos están completos y con la fuerza concentrada a la distancia de 0.73 m.

Cuadro 4.11. Datos de los Sensores Integrales cuando está en puente completo y la fuerza concentrada a la distancia de 0.73 m.

<b>R.R. (N)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>Promedio</b>
	2209	2241	2225
	3582	3598	3590
	5286	5286	5286
<b>O.A. (N)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>Promedio</b>
	3311	3243	3277
	5332	5315	5323
	8150	8116	8133
<b>O.E. (N)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>Promedio</b>
	3016	2999	3008
	4858	4897	4877
	7195	7186	7190

En la Figura (4.30) realizamos la línea ajustada del sensor integral Ring Rojo con el arreglo completo para ver el coeficiente de correlación y la ecuación cuando la fuerza está concentrada a la distancia de 0.73 m.

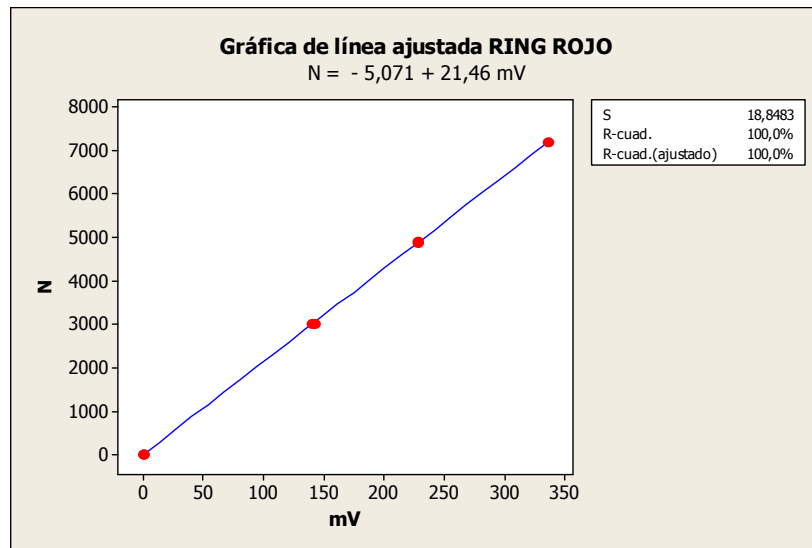


Figura 4.30. Línea ajustada de los Sensores Integrales cuando está en puente completo y la fuerza concentrada a la distancia de 0.73 m.

En la Figura (4.31) realizamos la línea ajustada del sensor integral Octagonal Amarillo con el arreglo completo para ver el coeficiente de correlación y la ecuación cuando la fuerza está concentrada a la distancia de 0.73 m.

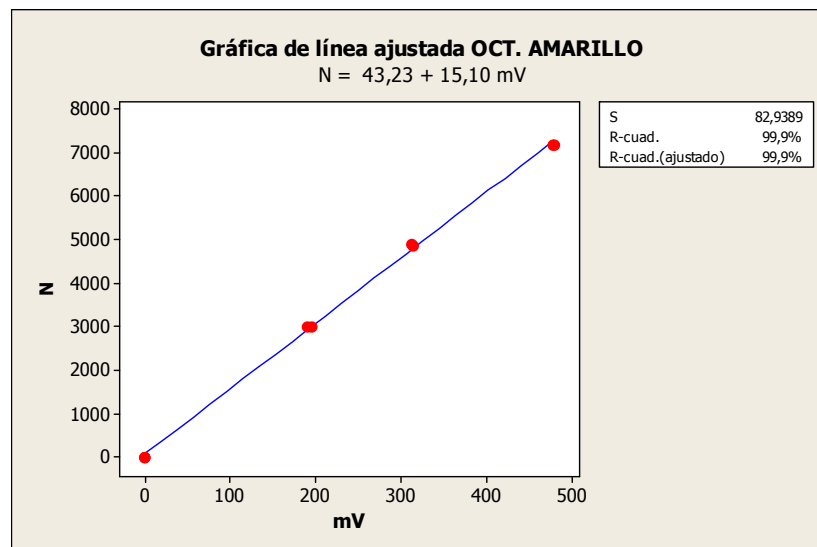


Figura 4.31. Línea ajustada de los Sensores Integrales cuando está en puente completo y la fuerza concentrada a la distancia de 0.73 m.

#### 4.4.3. Pruebas desfasadas a distancia de 0.56 m

En la Figura (4.32) es la gráfica donde se puede observar las fuerzas escalonadas cuando los sensores integrales Ring Rojo, Octagonal Amarillo y el Octagonal de Energía están completos y la fuerza está desfasada a la distancia de 0.56 m.

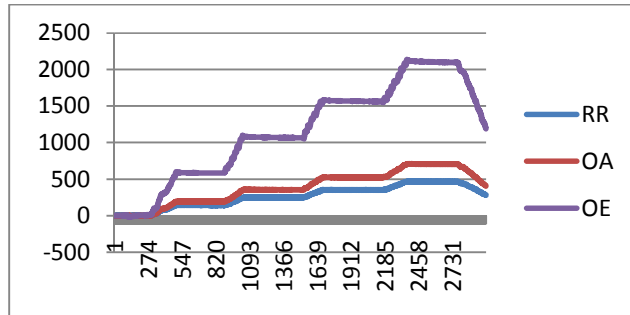


Figura 4.32. Sensores Integrales cuando está en puente completo y la fuerza desfasada a la distancia de 0.56 m.

En el Cuadro (4.12) se puede observar los datos de las pruebas realizadas en el laboratorio con los Sensores Integrales Ring Rojo, Octagonal Amarillo y el Octagonal de Energía cuando los arreglos están completos y con la fuerza desfasada a la distancia de 0.56 m.

Cuadro 4.12. Datos de los Sensores Integrales cuando está en puente completo y la fuerza desfasada a la distancia de 0.56 m.

<b>R.R. (N)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
	2146	2162	2241	2183
	4008	3898	3913	3940
	5570	5491	5586	5549
	7259	7353	7369	7327
<b>O.A. (N)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
	3107	3243	3311	3221
	6164	6011	5994	6056
	8898	8779	8881	8852
	11988	12005	11971	11988
<b>O.E. (N)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
	2238	2448	2517	2401
	4583	4553	4604	4580
	6644	6596	6743	6661
	8813	8993	9036	8947

En la Figura (4.33) realizamos la línea ajustada del Sensor Integral Ring Rojo con el arreglo completo para ver el coeficiente de correlación y la ecuación cuando la fuerza está desfasada a la distancia de 0.56 m.

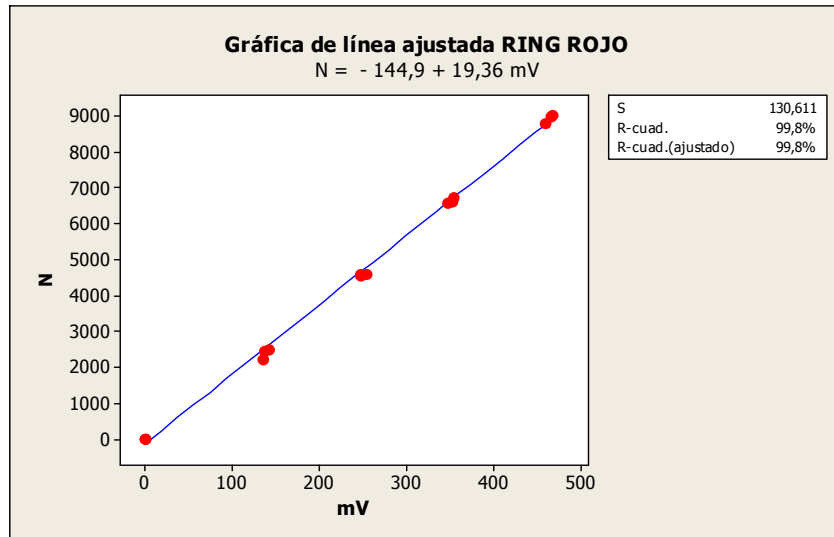


Figura 4.33. Línea ajustada de los Sensores Integrales cuando está en puente completo y la fuerza desfasada a la distancia de 0.56 m.

En la Figura (4.34) realizamos la línea ajustada del sensor integral Octagonal Amarillo con el arreglo completo para ver el coeficiente de correlación y la ecuación cuando la fuerza está desfasada a la distancia de 0.56 m.

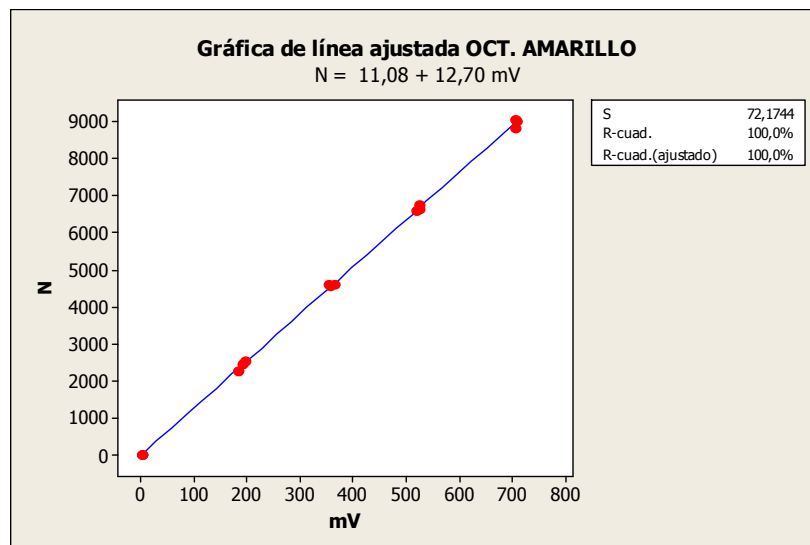


Figura 4.34. Línea ajustada de los Sensores Integrales cuando está en puente completo y la fuerza desfasada a la distancia de 0.56 m.



#### 4.4.4. Pruebas desfasadas a distancia de 0.73 m

En la Figura (4.35) es la gráfica donde se puede observar las fuerzas escalonadas cuando los Sensores Integrales Ring Rojo, Octagonal Amarillo y el Octagonal de Energía están completos y la fuerza está desfasada a la distancia de 0.73 m.

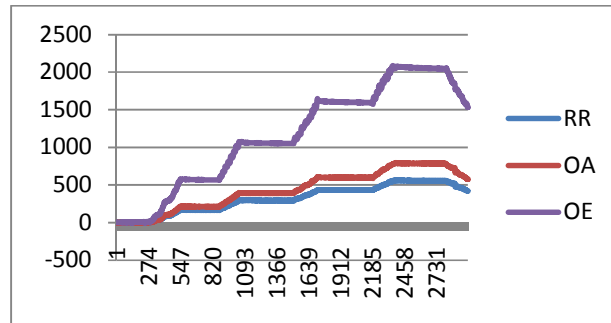


Figura 4.35. Sensores Integrales cuando está en puente completo y la fuerza desfasada a la distancia de 0.73 m.

En el Cuadro (4.13) se puede observar los datos de las pruebas realizadas en el laboratorio con los sensores integrales Ring Rojo, Octagonal Amarillo y el Octagonal de Energía cuando los arreglos están completos y con la fuerza desfasada a la distancia de 0.73 m.

Cuadro 4.13. Datos de los Sensores Integrales cuando está en puente completo y la fuerza desfasada a la distancia de 0.73 m.

<b>R.R. (N)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
	2178	2651	2793	2541
	4182	4624	4860	4555
	5996	6785	6864	6549
	8474	8789	9010	8758
<b>O.A. (N)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
	3073	3600	3871	3515
	6198	6673	6928	6600
	9203	10188	10256	9882
	13210	13329	13584	13375
<b>O.E. (N)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
	2065	2453	2616	2378
	4290	4540	4759	4530
	6282	6893	6962	6713
	8688	8847	9058	8864

En la Figura (4.36) realizamos la línea ajustada del Sensor Integral Ring Rojo con el arreglo completo para ver el coeficiente de correlación y la ecuación cuando la fuerza está desfasada a la distancia de 0.73 m.

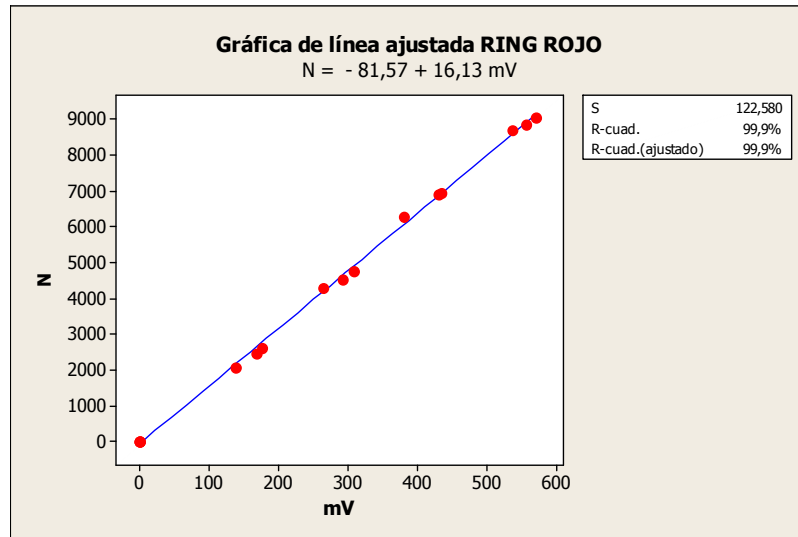


Figura 4.36. Línea ajustada de los Sensores Integrales cuando está en puente completo y la fuerza desfasada a la distancia de 0.73 m.

En la Figura (4.37) realizamos la línea ajustada del Sensor Integral Octagonal Amarillo con el arreglo completo para ver el coeficiente de correlación y la ecuación cuando la fuerza está desfasada a la distancia de 0.73 m.

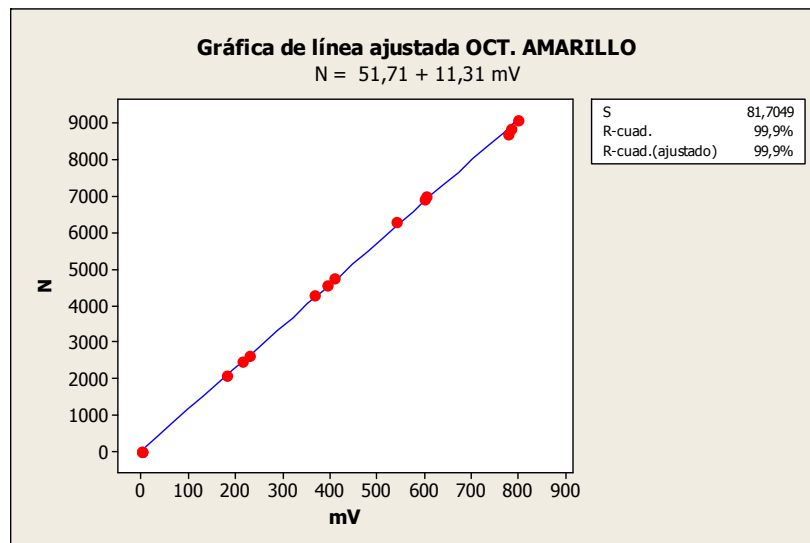


Figura 4.37. Línea ajustada de los Sensores Integrales cuando está en puente completo y la fuerza desfasada a la distancia de 0.73 m.

En el Cuadro (4.14) se observa el concentrado de constantes de los Sensores que se utilizaron para las pruebas con sus diferentes posiciones, que es concentrada y desfasada, el coeficiente de correlación de cada uno así como puentes completos y medios puentes.

Cuadro 4.14. Concentrado de constantes de cuadros de calibración con cargas desfasadas y concentradas.

Sensor	Arreglo	Posición	# Cargas	Constantes	R-Sqr	Radio entre Constantes
Octagonal Amarillo	Fx C.	56 mm	3	17,26	100%	1,14
	Concentrada	73 mm	3	15,1	99,90%	
Ring Rojo	Tp C.	56 mm	3	27,28	100%	1,27
	Concentrada	73 mm	3	21,46	100%	
Octagonal Verde	Sup C. C.	56 mm	1	29,21	99,70%	1,17
	Sup C. C.	73 mm	1	24,86	100%	
	Inf C. C.	56 mm	1	31,12	99,90%	1,19
	Inf C. C.	73 mm	1	26,24	99,80%	
Octagonal Amarillo	Fx C.	56 mm	4	12,7	100%	1,12
	Desfasada	73 mm	4	11,31	99,90%	
Ring Rojo	Tp C.	56 mm	4	19,36	99,80%	1,20
	Desfasada	73 mm	4	16,13	99,90%	
Octagonal Verde	Sup C. D.	56 mm	4	18,67	96,20%	1,02
	Sup C. D.	73 mm	4	18,37	100%	
	Inf C. D.	56 mm	4	21,66	99,70%	1,12
	Inf C. D.	73 mm	4	19,28	99,80%	

Tp: Transferencia de Peso, Fx: Fuerzas horizontales, C.C: Carga concentrada, C. D: Carga desfasada

## **V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Se tiene una linealidad superior al 99% en cada uno de los sensores en forma independiente lo cual permite una alta confiabilidad de los datos bajo condiciones de campo.

El equipo evaluado en el marco de calibración presenta una sensibilidad del 7% para cambios de posición de la fuerza de tiro. Lo cual indica que existe un efecto de momento en los octagonales extendidos.

Se recomienda desarrollar la ecuación correspondiente, para que en función de los valores detectados en los octagonales y en el sensor de transferencia de peso se determinen, tanto la fuerza de tiro como la posición de la misma.

## VI. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

1. American Society of Agricultural Engineers (standard).1983-1984. Attachment of implements to agricultural wheel tractors equipped with quick-attaching coupler. ASAE S278.6 Agricultural Engineeres Yearbook, ASAE, St. Joseph, MI. P.151-153.
2. A. F. R. C. 1990. Agricultural Tractors. Silsoe Bedfordshire Inglaterra.
3. Arcos, Emilio Sánchez; Laurel, Hipólito Ortiz 1997 diseño de un dinamómetro para medición de fuerzas en el enganche de tres puntos del tractor. Memorias VII congreso nacional de ingeniería agrícola. Buenavista Saltillo, Coahuila.
4. Campos M., S.G.1993. Development of minimum maize planter for Mexican agriculture, unpublished phd thesis, Newcastle University, England. 167p.
5. Campos, M., S.; Wills, B.; Cadena Z., M; 1992. Consideraciones para el diseño de transductores octagonales y su aplicación en la evaluación de implementos de labranza. Memorias del II congreso nacional de ingeniería agrícola (AMIA). Irapuato, Gto., México.
6. Campos, M. S.; Aragón, R. A.; Cadena, Z. M. 2000. Diseño y comportamiento de tres Transductores de fuerzas para la evaluación de herramienta de labranza. Congreso Latinoamericano de Ingeniería Agrícola. CLIA. X Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola AMIA 2000.
7. Cooper, William D.; Helfrick, Albert D. 1991 Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición.

8. Garner, T.H.; Dodd, R. B.; Wolf Dan; Peiper, U. M. 1988. Force analysis and application of a Three – point hitch dynamometer. Transaction of the ASAE. 31(4):1047-1053.
9. Gere, James M.; Timoshenko, S. P. 1997. Mecánica de materiales Edit. International Thomson, México.
10. Godwin, R.J.; Reynolds, A. J.; O'Dogherty; Al-Ghazal, A. A. 1993. A triaxial dinamometer for force and moment measurements on tillage implements. J. Agric. Engng. Res. 55:189-205.
11. Hai Sakurai. 1996. An Application of Strain Gages to the Agricultural Machinery. Edit. Farm Machinery section. 2<sup>nd</sup> Training Division. Tsukuba Internacional centre (TBIC). Japan Internacional Cooperation Agency (JICA).
12. Hinojosa García, Manuel. 2003. Desarrollo de un transductor de fuerzas para la evaluación de implementos integrales en tractores categoría II basado en el diseño octagonal extendida, tesis, Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo Coahuila.
13. Hoag, D.L., R.R. Yoerger 1974. Desingnig load rings for measurement. Transactions of de ASAE 17(2):251-253,261.
14. Hoag, D.L., R.R. Yoerger 1975. Analysis and desing of load rings. Transactions of the ASAE 18(6):995-999.
15. Hunt, D., 1983. Maquinaria agrícola. Edición Limusa.
16. Kepner, R. A., Barger, E:L: 1978 Principles of Farm Machinery. Third Edition, The AVI Publishig Company, Inc Connecticut.

17. Marín Omaña Leticia. 2003. Desarrollo de un Transductor de fuerzas para la evaluación de implementos integrales a tractores categoría II “Basado en el diseño de vigas sometidas a esfuerzos flexionantes y Torsionantes”, tesis, Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo Coahuila.
18. Mojica, L. E. D. 2000. Evaluación de discos cortadores de residuos y abresurco para labranza de conservación, empleando equipo multiusos de tracción animal, tesis, Licenciatura, Instituto Tecnológico de Veracruz, Ver.; México.
19. Neuholff, L. A. 1959. Measuring Force in Two or More Members With One Instrument. *Agricultural Engineering* 40(August): 456-457.
20. Ochoa, J. G., 2002. Manual de prueba y evaluación de arados CENEMA Chapingo, México.
21. Varela, Sergio Villeda 2000. Evaluación de discos cortadores de residuos y dibujos de patentes. Instituto tecnológico de Veracruz.
22. Vaughan John. 1975. Application of B & K Equipment to Strain Measurements.

# **VII. ANEXOS**

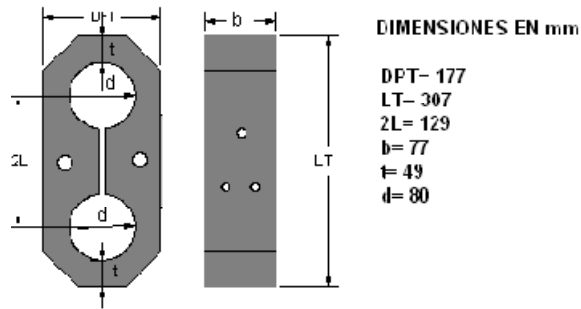


## ANEXO A

Características del material a usar:

$$E = 205 \text{ GPa}; \quad \sigma_y = 440 \text{ MPa}; \quad F_s = 3; \quad FG = 2.11; \quad M = 32000;$$

$$b = 0.077 \text{ m}; \quad t = 0.049 \text{ m} \quad \sigma_o = (440 \times 10^6)/3 = 146.6 \text{ MPa}$$



Primeramente es necesario determinar el valor del momento sensitivo (S) derivado de las ecuaciones de deformación:

$$\varepsilon = \frac{M}{ES}$$

$$S = \frac{\sigma_o b t^2}{M}$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$S = \frac{(146 \times 10^6)(0.077)(.049)^2}{32000} = 0.8469$$

El momento sensitivo es: **0.8469 N.m**

Entonces se tiene:

$$\varepsilon = \frac{S}{(E)(b)(t^2)} \quad \text{Sustituyendo valores tenemos:}$$

$$\varepsilon = \frac{(0.8469)}{(205 \times 10^9)(0.077)(0.049^2)}$$

$$\varepsilon = 2.234577 \times 10^{-8}$$

## ANEXO B

Construcción (pegado de galgas y cableado de los dinamómetros)

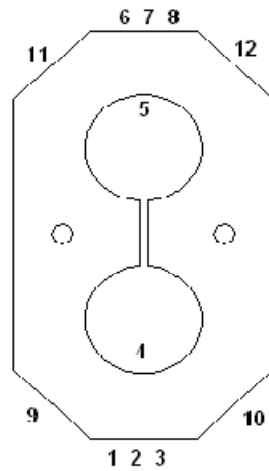
1. Primeramente se mandó cortar y barrenar las piezas de acero con las dimensiones ya mencionadas para los dinamómetros octagonales en la empresa BISON de Aguascalientes.
2. Una vez entregados los octagonales se procedió a lijar con alcohol las partes donde colocaríamos las galgas extensiométricas, con lijas de grado 240 y para darle un mejor acabado con la lija de grado 360, después de esto se limpia con alcohol y después con acetona para quitarle todas las impurezas que puedan tener, quedando como se muestra en la Figura B1.



Figura B1. Octagonal lijado, listo para la colocación de las galgas.

3. Se procedió a calcular el centro de los octagonales, y todos los lados donde se colocarían las galgas, se tomó en cuenta los puentes Wheatstone para poder después colocar el cableado y facilitar su conexión, como se muestran en la Figura B2, para las galgas 4 y 5 se consideró el ángulo citado en la Cuadro 2.5, que es donde se encontraba el mayor esfuerzo.

numeros y posicion de galgas



puentes de Wheatstone

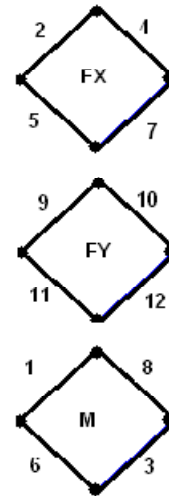


Figura B2. Numeración y posición de galgas según puente de Wheatstone.

- Una vez limpio de impurezas el octagonal se procede a la colocación de las galgas extensiométricas colocadas al centro de la parte superior del octagonal, según su numeración, como se muestra en la Figura B3.



Figura B3: Galgas Extensiométricas colocadas en el sensor octagonal.

- Las galgas son pegadas con un pegamento especial que contiene pasta y endurecedor para una mejor adherencia al metal. Después de que son

pegadas se le proporciona calor por 12 horas para apresurar su pegado como se muestra en la Figura B4.



Figura B4. Proporcionando calor a los octogonales.

6. Se procede a colocar y checar cada galga su resistencia y verificando que no estén aterrizadas a tierra para después colocar el cableado con un color para cada galga del puente de Wheatstone según la Cuadro 4.1.

Cuadro B1. Color de cableado del octagonal.

Núm. de puente de Wheatstone	Rojo (voltaje)	Negro (tierra)	Amarillo (señal 1)	Verde (señal 2)
Uno	5	4	7	2
Dos	12	10	11	9
Tres	6	8	3	1

De esta manera nos queda el cableado del octagonal como se muestra en la Figura B5.



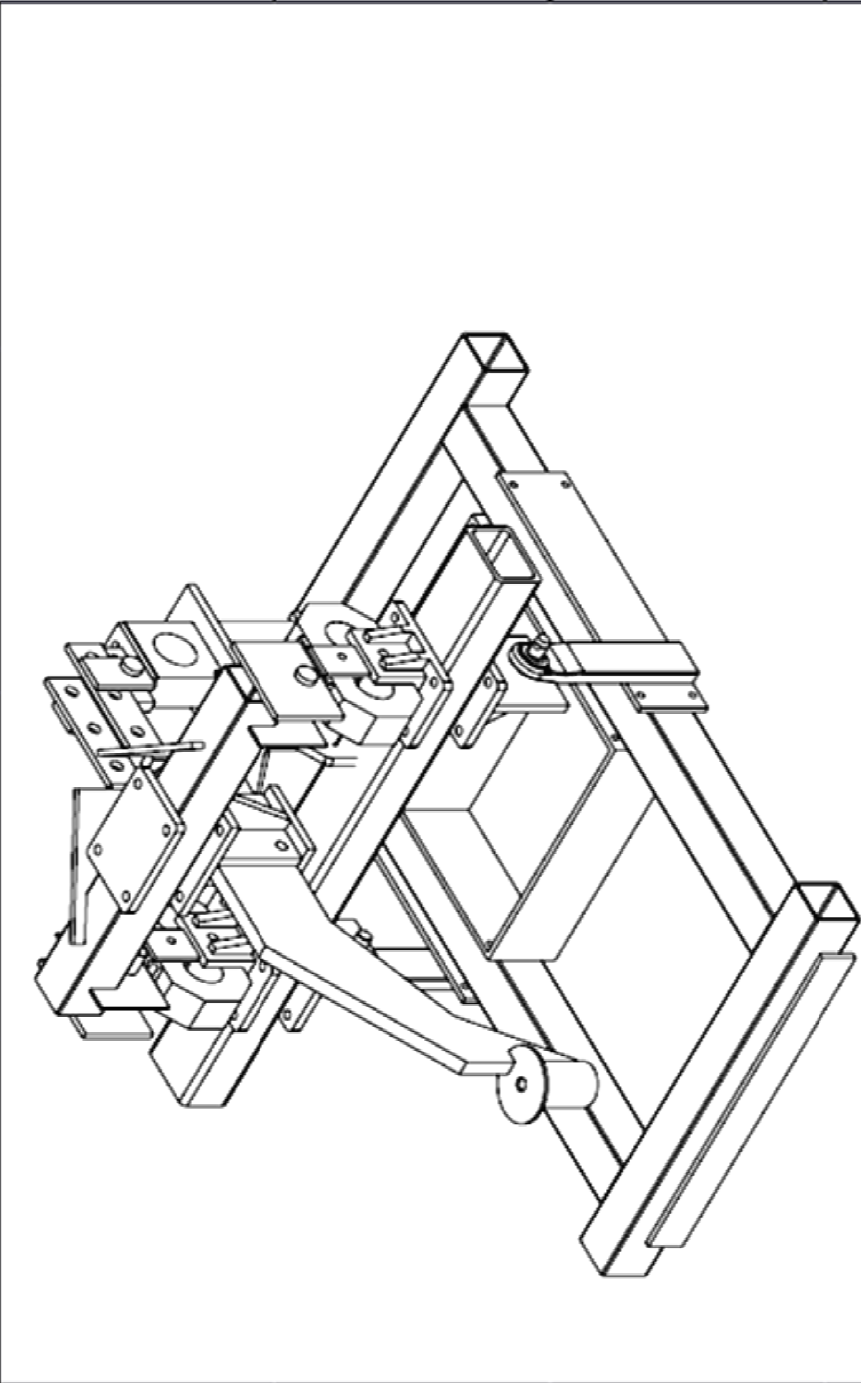
Figura B5. Cableado de Sensores Octagonales.

7. Una vez cableado se procede a proteger cada galga con un pedazo de hule y pegado con silicón para después ser aislado con cinta para proteger aún más las galgas y colocarlos en la estructura flotante como se muestra en la Figura B6.



Figura B6. Estructura flotante con octagonales.

# ANEXO C



<b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO</b>		No. de parte: 1 de 1	REV.
<b>Descripción: Banco de Pruebas</b>			
Dibujo: César A. Cruz-Gómez	Revisó: Doc. Santos G. Campos Magaña	Hoja: 1:1	
Escala: 1:10	Acotación: mm	Proyecto: Banco de Pruebas de Los Sensores Integrados.	

