

**TRABAJO PROFESIONAL**

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA**

**QUE PRESENTA:**

**ROMEO MORALES DÍAZ**

**CON EL TEMA:**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA  
PLANTILLA DE SENSORES  
PARA LOS PIES DEL HUMANOIDE MEX-ONE”**

**MEDIANTE:**

**OPCIÓN X**

# (MEMORIA DE RESIDENCIA PROFESIONAL)

TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS  
DICIEMBRE 2013

## ÍNDICE

Pág.		
	<u>CAPÍTULO I</u> .....	1
	<u>1.1 INTRODUCCIÓN</u>	1
	<u>1.2 JUSTIFICACIÓN</u>	2
	<u>1.3 OBJETIVOS</u>	3
	<u>1.3.1 Objetivo General:</u>	3
	<u>1.3.2 Objetivos Específicos:</u>	3
	<u>CAPÍTULO II</u> .....	4
	<u>2.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE SE PARTICIPÓ</u>	4
	<u>2.2 PROBLEMAS A RESOLVER</u>	7
	<u>2.2.1 Descripción de actividades:</u>	7
	<u>2.3 ALCANCES Y LIMITACIONES</u>	9
	<u>2.3.1 Alcances</u>	9
	<u>2.3.2 Limitaciones</u>	9
	<u>CAPÍTULO III</u> .....	10
	<u>3.1 FUNDAMENTO TEÓRICO</u>	10
	<u>3.1.1 Locomoción mediante patas</u>	10
	<u>3.1.2 Configuraciones articuladas</u>	11
	<u>3.1.3 Robots Bípedos</u>	11
	<u>3.1.4 Evolución histórica</u>	12
	<u>3.1.5 Estudios de la Locomoción Bípeda (1986)</u>	12
	<u>3.1.6 Desarrollo del desplazamiento rápido (1987-1991)</u>	13
	<u>3.1.7 Funciones básicas de la locomoción bípeda (1991 - 1993)</u>	14

<a href="#">3.1.8 Investigación sobre robots humanoides totalmente independientes (1993-1997)</a>	15
<a href="#">3.1.9 ASIMO (Advanced Step in Innovation MOvile)</a>	16
<a href="#">3.1.10 Punto de Momento Cero (ZMP)</a>	17
<a href="#">3.2 PROCEDIMIENTOS Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS</a>	19
<a href="#">3.2.1 Análisis de las condiciones actuales del Humanoide</a>	19
<a href="#">3.2.2 Elección del Sensor</a>	22
<a href="#">3.2.3 Modelado del Circuito</a>	35
<a href="#">3.2.4 Análisis de la respuesta real del sensor</a>	40
<a href="#">3.2.5 Diseño del arreglo de sensores</a>	45
<a href="#">3.2.6 Realización de pruebas de la plantilla</a>	46
<a href="#">3.2.7 Adquisición y acondicionamiento de señales</a>	47
<a href="#">CAPÍTULO IV</a>	48
<a href="#">4.1 RESULTADOS</a>	48
<a href="#">4.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</a>	55
<a href="#">REFERENCIAS</a>	56
<a href="#">ANEXOS</a>	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
1. Ubicación geográfica del CINVESTAV Unidad Guadalajara	4
2 (a). Organigrama administrativo del CINVESTAV Unidad Guadalajara	6
2 (b). Organigrama académico del CINVESTAV Unidad Guadalajara	6
3 (a). Robot Cuadrúpedo	16
3 (b). Robot Hexápodo	11
4. Robot Articulado	16
5. Prototipo del E0	17
6 (a) .Prototipo E1	18
6 (b) .Prototipo E2	18
6 (c) .Prototipo E3	18
7 (a) .Prototipo E4	18
7 (b) .Prototipo E5	18
7 (c) .Prototipo E6	18
8 (a) .Prototipo P1	18
8 (b) .Prototipo P2	18
8 (c) .Prototipo P3	18

9. Asimo 2007 (Honda Motor Company)	22
10. Concepto gráfico del Punto de Momento Cero.....	18
11. Diseño completo del Mex-One en CAD	25
12. Perspectivas de la Parte Rígida del Pie	26
13. Perspectivas de la Parte Flexible del Pie	26
14. Perspectivas del Pie completo del Humanoide	27
15. Partes de una Galga Extensiométrica	28
16. Sensor Piezoeléctrico.	30
17. Partes principales de un FSR	31
18. Gráfica de Fuerza vs Resistencia Flexiforce	31
19. Gráfica de Fuerza vs Conductancia Flexiforce	31
20. Circuito recomendado por Flexiforce	31
21. Gráfica Fuerza vs Resistencia Interlink	31
22. (a). Circuito Recomendado	31
22. (b). Respuesta de salida.....	33
23. Gráfica de curvas características (Flexiforce)	31
24. Circuito de modelado Flexiforce.....	36
25. Configuración divisor de voltaje.....	37
26 Modelado del FSR en configuración divisor de voltaje	38
27 Modelado del FSR circuito Flexiforce	39
28 Montaje para la caracterización del sensor	31
29 Respuesta de Salida del Sensor 1	31
30 Respuesta de Salida del Sensor 2	31
31 Respuesta de Salida del Sensor 3	31
32 Respuesta de Salida del Sensor 4	31
33 (a). Arreglo Triangular.....	45
33 (b). Arreglo Rectangular.....	45
34 Parte inferior de la plantilla.....	46
35 Adaptador Flexiforce.....	47
36 Análisis del ZMP con el peso hacia delante, triangular.....	48
37 Análisis del ZMP con el peso hacia atrás, triangular.....	49
38 Análisis del ZMP con el peso hacia la derecha, triangular.....	49
39 Análisis del ZMP con el peso hacia la izquierda, triangular.....	50
40 Análisis del ZMP con el peso en el centro, triangular.....	50
41 Prototipo de plantilla con arreglo triangular.....	51
42 Análisis del ZMP con el peso hacia delante, rectangular.....	52
43 Análisis del ZMP con el peso hacia atrás, rectangular.....	52
44 Análisis del ZMP con el peso hacia la derecha, rectangular.....	53
45 Análisis del ZMP con el peso hacia la izquierda, rectangular.....	53
46 Análisis del ZMP con el peso en el centro, rectangular.....	54
47 Prototipo de plantilla con arreglo rectangular.....	54

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	Pág.
1.- Comparación entre diferentes sensores Flexiforce.....	32
2.- Comparación entre diferentes sensores Interlink Electronics.....	34
3.- Valores de salida de los sensores.....	41



## CAPÍTULO I

### 1.1 INTRODUCCIÓN

Hoy en día la robótica todavía se encuentra en términos experimentales, pero debido al gran interés de la comunidad científica se espera que los robots proporcionen soluciones para el estilo de vida de muchas personas, ya sea para ayudar a personas mayores, con dificultad de movilidad o para amenizar algunas actividades de ocio.

Existen una gran variedad de robots, y diversas maneras de clasificarlos, ya sea por su generación o por su nivel de control, entre los más utilizados se encuentran los robots industriales y los médicos, sin embargo el punto de estudio en la actualidad son los robots que basan su locomoción mediante patas, principalmente los bípedos.

Los robots que caminan sobre dos piernas, sortean obstáculos y suben o bajan escaleras tienen que ser máquinas inteligentes. Para realizar estas actividades de manera autónoma hace falta que los robots sean capaces de percibir el espacio, de detectar los objetos y de tomar decisiones. Mediante sensores de visión, de fuerza, distancia y de inclinación, los robots incorporan estas capacidades, las cuales les permitirán decidir, en un determinado momento, seguir una determinada dirección.

En el CINVESTAV se cuenta con la estructura del humanoide Mex-One, el cual representa un avance tecnológico importante. El diseño actual del androide cuenta con 36 grados de libertad: seis en cada pierna, dos en la cintura (lo que le permite doblarse), cinco en cada brazo, cuatro en cada mano y cuatro en la cabeza, que le permiten tener movimientos oculares. A diferencia de otros robots con características similares, que tienen unos pies muy anchos para sostenerse, el Mex-One, está construido de manera proporcional.

Una de las metas actuales es lograr que el humanoide camine de forma autónoma, por lo que es necesario incorporar sensores en los pies que proporcionen señales para que sirvan de referencia, incorporar una plantilla proporcionará información a la computadora del Mex-One para la toma de decisiones.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

La intención del desarrollo del Robot Humanoide Mex-One es la de implementar algoritmos de control para emular las acciones del ser humano de una manera inteligente. Caminar es una de las acciones elementales del ser humano y su implementación en la robótica requiere de complejos algoritmos de control.

El desarrollo de algoritmos para que un robot camine de forma autónoma es uno de los temas principales de investigación dentro de la comunidad científica, hoy en día, diversas universidades investigan sobre una forma eficiente de controlar los movimientos sin que el robot sufra una caída.

Existen en la actualidad humanoides que cuentan con diversos sensores en los pies, algunos cuentan simplemente con interruptores on/ off que les indican la presencia o ausencia de presión en la planta del robot, otros prototipos incorporan acelerómetros y una compleja estructura de sofisticados sensores de presión, pero con un costo elevado.

El desarrollo del proyecto tiene como finalidad adaptar sensores a la planta del humanoide, así mismo lograr un balance entre costo y eficiencia, incorporando un arreglo económico de sensores capaz de mostrar información suficiente de la presión ejercida.

Una de las metas principales para el desarrollo del Mex-One es lograr un prototipo comercial de bajo costo, por este motivo elegir un tipo de sensor adecuado para cubrir las necesidades sin que estos excedan los costos previstos es una parte vital del proyecto.

Así mismo, incorporar este tipo de sensores directamente en el humanoide servirá de antecedente para analizar las ventajas y desventajas que conlleva su uso. Si los resultados obtenidos son favorables, los futuros prototipos podrían incluir este tipo de sensores y servir de referencia para futuras investigaciones.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo General:**

Diseñar e implementar una plantilla de sensores para los pies del humanoide Mex-One.

Procesar y adquirir las señales obtenidas por las plantillas.

### **1.3.2 Objetivos Específicos:**

- Analizar las condiciones actuales del Humanoide.
- Realizar la documentación necesaria para la elección optima del sensor a utilizar.
- Desarrollar el modelado correspondiente del circuito a implementar.
- Analizar la respuesta real del sensor.
- Diseñar el arreglo de sensores.
- Realizar las pruebas de la plantilla.
- Realizar la adquisición y acondicionamiento de la señal proporcionada por la plantilla.



## CAPÍTULO II

### 2.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE SE PARTICIPÓ

El proyecto se desarrolló en las instalaciones del CINVESTAV Unidad Guadalajara [véase Figura 1], que se encuentra ubicado en: Avenida del Bosque #1145, Colonia El Bajío, Zapopan, Jalisco.

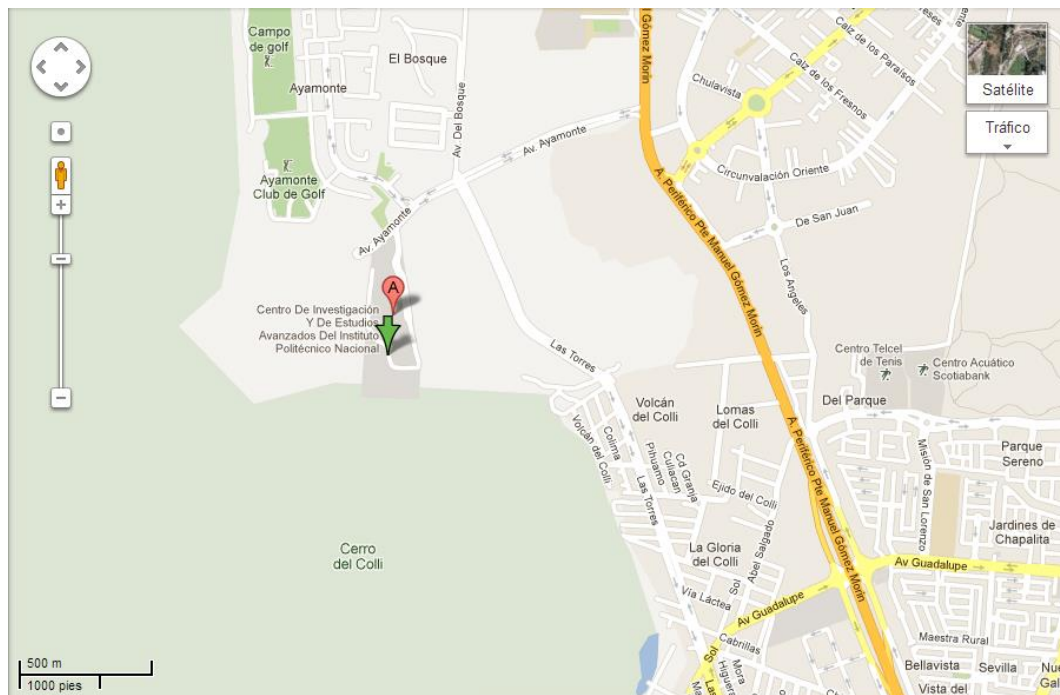


Figura 1. Ubicación geográfica del CINVESTAV Unidad Guadalajara.

La Unidad Guadalajara del CINVESTAV inició sus actividades en el año de 1988 con el Centro de Tecnología de Semiconductores (CTS), especializado en el diseño de componentes electrónicos. El Centro fue inicialmente auspiciado por IBM de México y la Comisión de Inversiones Extranjeras de la SECOFI. Desde entonces y hasta la fecha, el CTS ha trabajado como casa de diseño para empresas del ramo electrónico.

En el año de 1995 se iniciaron las actividades académicas con el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Ciencias de la Computación. Se incorporaron los programas de maestría y doctorado en Ciencias en Ingeniería Eléctrica, siendo actualmente el Dr. Bernardino Castillo Toledo el Director General. [Véase Figura 2 (a)].

El CINVESTAV Unidad Guadalajara cuenta con cinco departamentos académicos [véase Figura 2 (b)]: Computación, Control Automático, Telecomunicaciones, Diseño Electrónico y Sistemas Eléctricos de Potencia; siendo el laboratorio de Control Automático donde se llevaron a cabo las actividades realizadas.

El área de Control Automático tiene como objetivo formar profesionales de alto nivel en las áreas del control y automatización con bases sólidas que les permitan atacar tanto proyectos de investigación científica como desarrollo tecnológico en temas afines.

En este departamento se encuentran especialistas en control automático capaces de analizar formalmente sistemas de cualquier naturaleza para establecer propiedades relevantes que le permitan determinar una estrategia de control confiable.

El campo de trabajo del departamento de control automático puede desarrollarse en cualquiera de estas áreas:

- Investigación básica y docencia en control automático.
- Desarrollo de sistemas de control automático y automatización utilizando dispositivos digitales.
- Estudio y mejoramiento de instrumentación y lazos de control industrial.
- Aplicación de técnicas de control tanto en el sector productivo como en el financiero

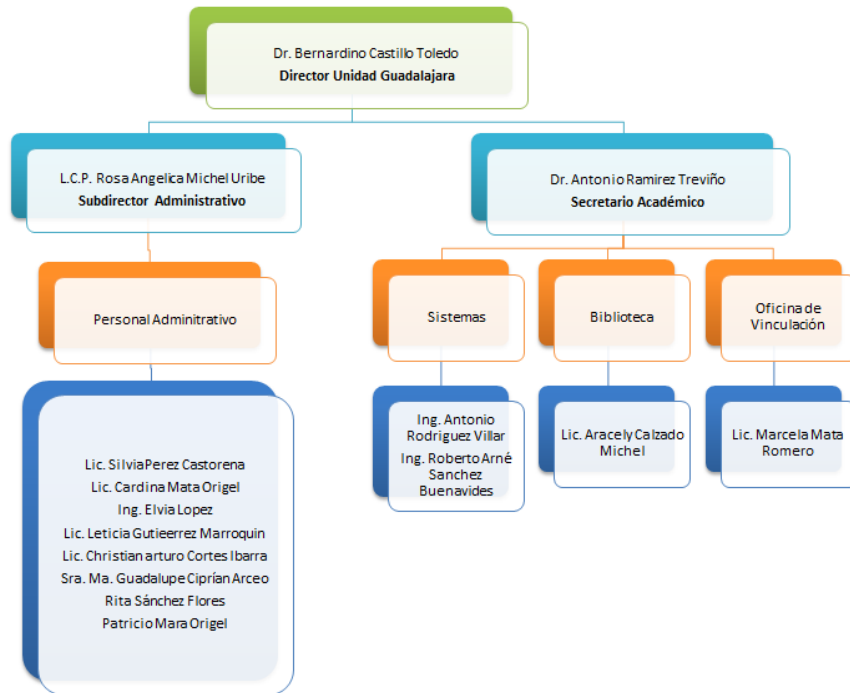


Figura 2 (a). Organigrama administrativo del CINVESTAV Unidad Guadalajara.

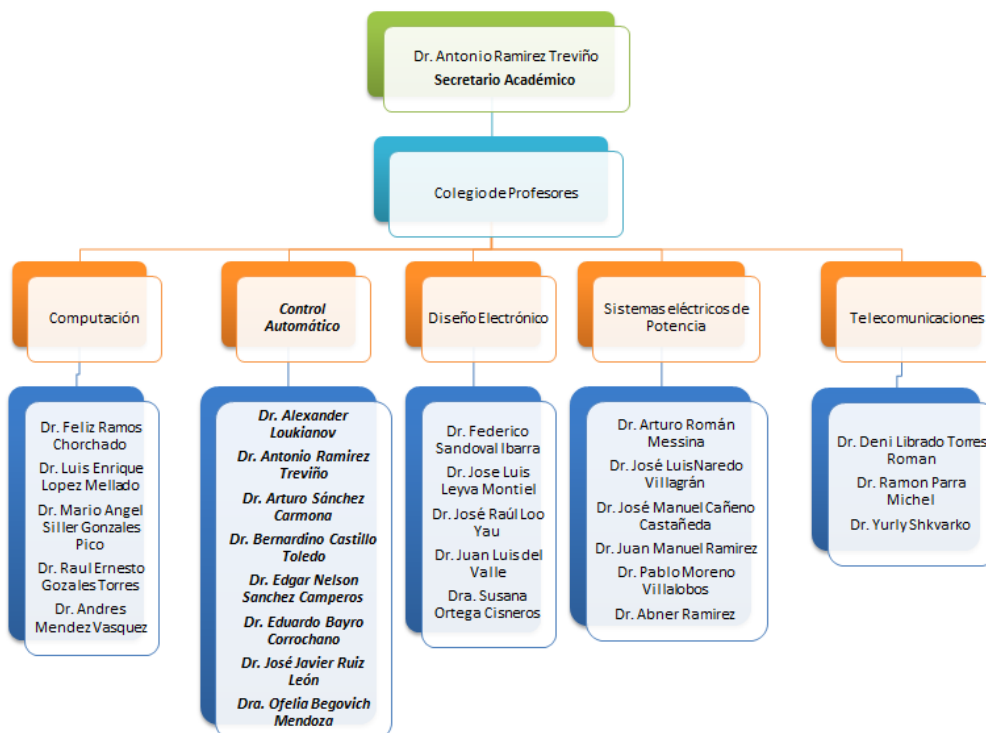


Figura 2 (b). Organigrama académico del CINVESTAV Unidad Guadalajara.

## 2.2 PROBLEMAS A RESOLVER

### Cronograma de Actividades:

Actividad	Semana															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Análisis de las condiciones actuales del Humanoide	X	X														
Elección del Sensor		X	X	X												
Modelado del Circuito				X	X											
Análisis de la respuesta real del sensor						X	X	X	X							
Diseño del arreglo de sensores								X	X	X	X					
Realización de pruebas de la plantilla											X	X	X	X	X	
Adquisición y acondicionamiento de las señales															X	X

#### 2.2.1 Descripción de actividades:

- ❖ **Análisis de las condiciones actuales del Humanoide:** Para el desarrollo óptimo del proyecto es necesario conocer las condiciones actuales del humanoide, los mecanismos y sensores con los que cuenta, así como las acciones que puede realizar.
- ❖ **Elección del Sensor:** Parte fundamental del proyecto es la elección del sensor el cual debe de cubrir las necesidades del proyecto, el desarrollo de una investigación de los diversos tipos que nos permita conocer sus características eléctricas y físicas.

- ❖ **Modelado del circuito:** En esta etapa, se realiza el modelado del sistema el cual consiste en predecir la respuesta del circuito a implementar y de esta manera conocer posibles desventajas antes de su implementación.
  
- ❖ **Análisis de la respuesta real del sensor:** Teniendo la respuesta aproximada proporcionada por el modelado del circuito, se realiza el análisis de la respuesta real del sensor y calcular de esta forma el error existente entre el modelado y la respuesta real de dicho sensor.
  
- ❖ **Diseño de arreglo de sensores:** En esta etapa se proponen arreglos de sensores, variando la cantidad de sensores a utilizar así como la distribución de los mismos.
  
- ❖ **Realización de pruebas de la plantilla:** Establecidos los diseños de los arreglos, se realizan las pruebas de cada plantilla para conocer su comportamiento y detectar posibles desventajas en su diseño.
  
- ❖ **Adquisición y acondicionamiento de señales:** Paralelo a las pruebas con la plantilla, se pulirán los aspectos de adquisición y acondicionamiento de las señales para tener una lectura adecuada y realizar un análisis preciso de la plantilla.

## **2.3 ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **2.3.1 Alcances**

Se realizó una investigación de los tipos de sensores que se encuentran en el mercado para llevar a cabo una elección adecuada y de esta manera cubrir las necesidades del proyecto. El estudio de la forma en la que se implementan estos dispositivos en los humanoides actuales es un punto de partida significativo para el desarrollo de este trabajo.

La caracterización del sensor y su comparación con la respuesta del modelado para calcular un error estimado son las partes finales del proyecto.

El desarrollo de este trabajo sirve de base para futuros trabajos del laboratorio de Control Automático, teniendo como siguiente objetivo el diseño de un segundo humanoide, ya que al probar la eficiencia de la plantilla en la estructura del Mex One se tendrá la certeza del funcionamiento de este tipo de sensores, tomándolos en consideración para su implementación en la estructura de futuros prototipos.

### **2.3.2 Limitaciones**

El desarrollo del trabajo se limitará al diseño de la plantilla con la cantidad adecuada de sensores y la realización de la pruebas para asegurar el funcionamiento de la misma.

La interpretación de las señales por parte de la computadora del humanoide no es abordada dentro del desarrollo del trabajo actual.

Debido al rediseño de la estructura del Mex-One la incorporación de los sensores y la prueba de la plantilla en la estructura del humanoide será llevada a cabo hasta que su sistema actual de poleas sea reemplazado por el sistema de engranes, así mismo se probará el funcionamiento de dicha plantilla con el pie actual del humanoide (el cual cuenta con una parte flexible en la parte frontal que imita el funcionamiento de los dedos) y en base a los resultados, considerar eliminar la parte flexible e incorporar un pie completamente rígido.

## CAPÍTULO III

### 3.1 FUNDAMENTO TEÓRICO

La Robótica está tomando un papel muy importante para el futuro de la sociedad, ya que las tareas comúnmente realizadas por humanos poco a poco han sido abarcadas por los robots, la comunidad científica ha puesto gran interés en el desarrollo de estas máquinas inteligentes, al grado de desarrollar diversos tipos de robots según las situaciones que se necesiten resolver, dicha evolución se puede observar en los diferentes prototipos que se encuentran en la actualidad, alguno de ellos se mencionan en este apartado.

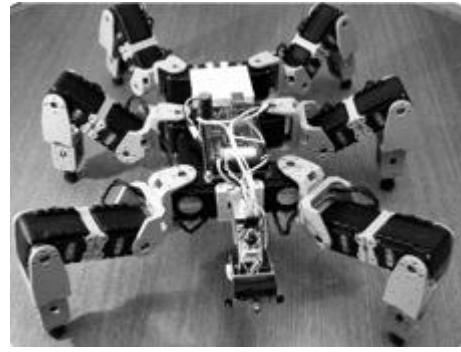
#### 3.1.1 Locomoción mediante patas

Algunas veces se ha requerido un tipo diferente de movilidad a la que prestan los robots de locomoción por ruedas, los investigadores han desarrollado prototipos imitando distintas formas de desplazamiento, similares a las de los animales y al hombre. Por estas características existen varias aplicaciones, gracias a su adaptabilidad para desplazarse en terrenos irregulares. Para este tipo de locomoción se deben tomar en cuenta algunos aspectos, tales como: posición, velocidad y equilibrio, usando únicamente el movimiento de las articulaciones mediante motores.

El diseño de este tipo de robots presenta ciertas dificultades debido a su gran número de grados de libertad, mientras que el algoritmo de control presenta cierta complejidad debido al gran número de movimientos a coordinar. De acuerdo al número de patas, este tipo de robots adquiere su denominación, como por ejemplo, los robots de dos patas se denominan bípedos, de cuatro patas cuadrúpedos, de seis patas hexápodos, etc. En la Figura 3 se muestran ejemplos de robots con locomoción mediante patas.



(a)



(b)

*Figura 3. (a) Robot Cuadrúpedo. (b) Robot Hexápodo.*

### **3.1.2 Configuraciones articuladas**

Las configuraciones articuladas son de interés para terrenos difíciles a los que debe adaptarse el cuerpo del robot. La solución más simple consiste en articular dos o más módulos de locomoción mediante ruedas; las configuraciones articuladas con gran cantidad de eslabones son apropiadas para caminos estrechos. Este tipo de robots, por su configuración, pueden adoptar la forma de la superficie donde se desplazan. En la Figura 4 se presenta un robot con 12 articulaciones mejor conocido como gusano.



*Figura 4. Robot Articulado*

### **3.1.3 Robots Bípedos**

Este tipo de robots forman parte de la robótica móvil, específicamente se encuentran en la clasificación de robots con patas. Como su nombre indica, poseen dos patas para su locomoción. En su mayoría intentan imitar el sistema motriz de los humanos para desplazarse e interactuar con su entorno, entre los más conocidos están los robots humanoides.

Para explicar de una mejor manera el sistema de locomoción de los robots bípedos se presenta a continuación su evolución histórica:



### 3.1.4 Evolución histórica

La evolución de los robots humanoides se analiza desde el año 1986, año en el que una de las empresas pioneras de esta investigación Honda comenzó con el desarrollo de bípedos hasta llegar a lo que actualmente es el referente de la empresa, el humanoide ASIMO (Advanced Step in Innovative Mobility). A continuación se presenta la evolución de los robots bípedos hasta los robots que existen en la actualidad, concebidos como robots humanoides, tomando como guía el desarrollo que ha logrado Honda.

### 3.1.5 Estudios de la Locomoción Bípeda (1986)

El robot llamado E0 [véase Figura 5], fue el primer intento de Honda para que un robot bípedo anduviera. Este prototipo tenía la capacidad de andar anteponiendo una pierna después de la otra, pero su desplazamiento era muy lento, ya que entre paso y paso tardaba 5 segundos. Esto se debía a la necesidad de mantener su centro de gravedad en la suela de sus pies, lo cual lo obligaba a detenerse para reajustar su equilibrio después de cada paso.



*Figura 5. Prototipo del E0*

Para lograr aumentar la velocidad de desplazamiento y para que pudiera caminar en superficies desiguales, desarrollaron la marcha rápida (Dynamic Walking), la cual consiste en dar la mayor cantidad de pasos en el menor tiempo posible.

### 3.1.6 Desarrollo del desplazamiento rápido (1987-1991)

Para el desarrollo de esta nueva serie de prototipos, Honda se basó en la investigación y el análisis del caminar humano.

#### Experimental Model 1:

Este prototipo andaba a un paso estático de 0,25 Km/h con una cierta diferencia entre el movimiento de las dos piernas.

#### Experimental Model 2:

Para éste prototipo, Honda desarrolló el primer caminado dinámico de 1,2 Km/h, imitando la manera de caminar de los humanos.

#### Experimental Model 3:

Honda continuo investigando el caminar de los humanos y de ciertos animales para conocer mejor la naturaleza de la locomoción bípeda. El prototipo E3 logró alcanzar una velocidad de 3Km/h sobre superficies planas.

En la Figura 6 se muestran los prototipos desarrollados por Honda en la etapa de 1987 a 1991.

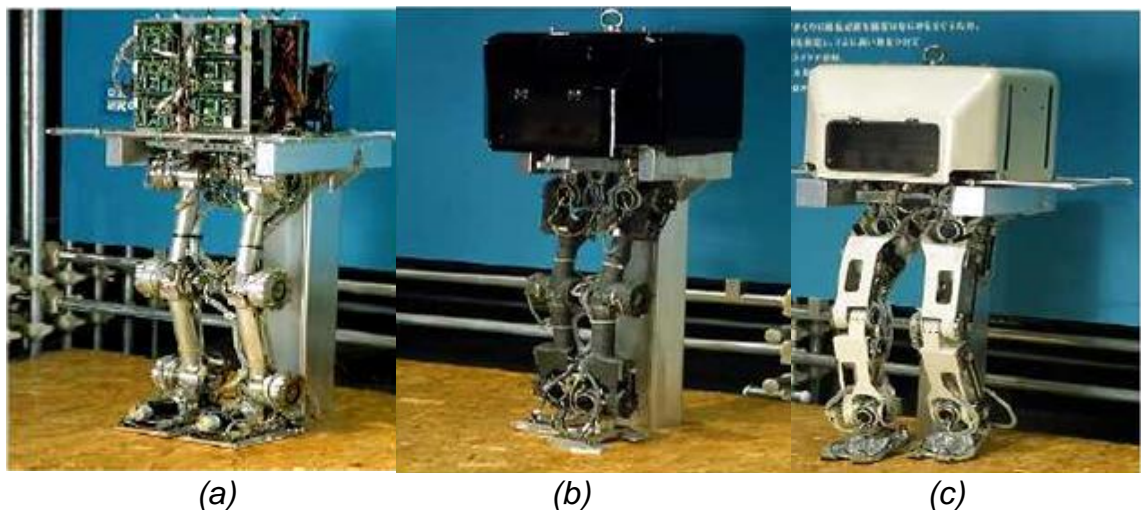


Figura 6. Prototipos: (a) E1,(b) E2,(c) E3.

### 3.1.7 Funciones básicas de la locomoción bípeda (1991 - 1993)

Luego de los desarrollos de Honda de la fase anterior, aún era necesario lograr un caminado rápido y equilibrado sobre cualquier tipo de superficie, sin que eso implicara la caída del robot.

Para ello se desarrollaron los siguientes prototipos:

#### Experimental Model 4:

En el prototipo E4 se incrementó la longitud de la rodilla a 40 cm para simular la velocidad de la caminata humana a 4,7 Km/h.

#### Experimental Model 5:

El prototipo E5 fue el primer robot de Honda de locomoción autónoma.

#### Experimental Model 6:

El prototipo E6 cuenta con un control autónomo del equilibrio para subir y bajar gradas, rampas o evitar obstáculos.

En la Figura 7 se muestran los prototipos desarrollados por Honda en la etapa de 1991 a 1993 logrando por primera vez que uno de estos prototipos (E-5) caminara de forma autónoma.



(a) (b) (c)  
*Figura 7. Prototipos: (a) E4, (b) E5, (c) E6.*

### **3.1.8 Investigación sobre robots humanoides totalmente independientes (1993-1997)**

En esta serie se desarrollaron robots humanoides, los cuales interactuaban con su entorno, fueron los primeros en adoptar la coordinación entre brazos y piernas.

#### Prototype Model 1:

El robot P1 fue el primer prototipo con forma humana de Honda, su altura es de 1,915 mm y su peso aproximado de 175 Kg. No solo dispone de piernas, tiene cuerpo y extremidades superiores, además de la capacidad de activar/desactivar interruptores eléctricos y llevar objetos.

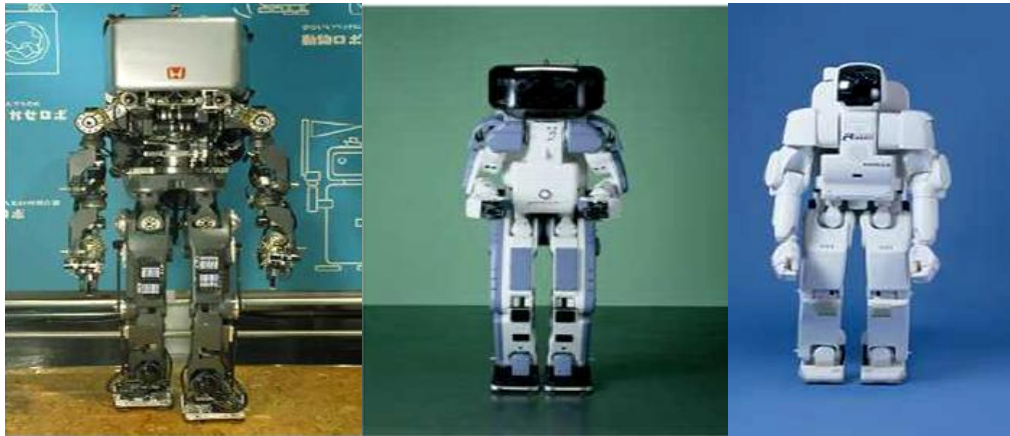
#### Prototype Model 2:

El robot P2 fue el primer prototipo humanoide bípedo auto regulable del mundo, con una altura de 182 cm y un peso de 210 Kg. Su torso contiene un computador, una batería, un radio inalámbrico lo cual le permitía tener un control inalámbrico.

#### Prototype Model 3:

Fue el primer robot humanoide bípedo, imitador de la forma de andar de los humanos, totalmente independiente. Este prototipo tiene una altura de 160 cm y un peso de 130 Kg. Gracias a su disminución de tamaño en comparación a su antecesor este prototipo se adapta mejor al entorno de trabajo de los humanos.

En la Figura 8 se aprecia la evolución de estos prototipos puesto que en esta etapa se logró incorporar extremidades superiores que dotan al robot de una apariencia humana.



(a) (b) (c)  
Figura 8. Prototipos: (a) P1, (b) P2, (c) P3.

### 3.1.9 ASIMO (Advanced Step in Innovation MOvile)

Todos los esfuerzos e investigación desarrollados anteriormente por Honda dieron como resultado uno de los robots humanoides más sofisticados de la historia, ASIMO mide 1.2 m y pesa 52 Kg. Cuenta con 24 grados de libertad, 5 en cada brazo, 1 en cada mano y 6 por cada pierna.

Los 6 grados de libertad en cada pierna son una combinación de las siguientes uniones: *tobillo (delante-detrás)*, *tobillo (izquierda-derecha)*, *rodilla (delante-detrás)*, *rodilla (izquierda-derecha)*, *cadera (delante-detrás)*, *cadera (izquierda-derecha)* y *rotación en la cadera*. Cada una de estas uniones es accionada por servomotores. [1]

En el 2007 Honda presentó un nuevo modelo del ASIMO [véase Figura 9], este modelo mide 1.3 m y pesa 54 kg. Puede alcanzar una velocidad de hasta 6 Km/hr, cuenta con 34 grados de libertad y posee diversos sensores como giroscopios, acelerómetros, sensores de fuerza de 6 ejes, los cuales le permiten lograr un caminado autónomo balanceado. [2]



*Figura 9 ASIMO 2007 (Honda Motor Company)*

El principal inconveniente del desarrollo de este tipo de humanoides es su precio, ya que una copia de este prototipo cuesta alrededor de 1 Millón de Dólares y alrededor de 300 Millones de Dólares en la investigación integrada para su desarrollo. [1]

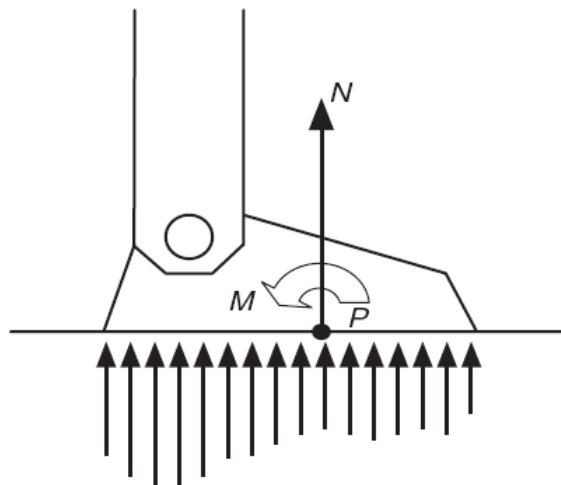
### **3.1.10 Punto de Momento Cero (ZMP)**

Todas las uniones de un bípedo son alimentadas y controladas directamente, a excepción del contacto entre el pie y el suelo (que puede ser considerado como un grado de libertad (DOF) pasivo adicional), donde la interacción del mecanismo y el ambiente toma lugar. Este contacto es esencial para la realización del caminado, debido a que la posición del mecanismo con respecto al medio ambiente depende de la posición relativa de los pies con respecto al suelo.

Durante el caminado, se presentan 2 diferentes situaciones: la fase estática estable de doble soporte, en donde el mecanismo se sostiene en ambos pies simultáneamente, y la fase estática inestable de soporte único, cuando solamente un pie del mecanismo está en contacto con el suelo, mientras el otro es transferido desde una posición trasera a una delantera.

El pie no puede ser controlado de forma directa, si no de manera indirecta, al asegurar las dinámicas apropiadas del mecanismo sobre el pie. Así el indicador global del comportamiento del mecanismo, es el punto donde la influencia de todas las fuerzas que actúan en el mecanismo pueden ser sustituido por una sola fuerza. Este punto se denomina “Punto de Momento Cero” (ZMP).[véase Figura 10]

Este principio mejor conocido como ZMP, se basa en mantener el centro de presión dentro del contacto del pie. Nótese que esto no es suficiente para prevenir al bípedo de las caídas, solo quedará erguido si sigue manteniendo el pie con un contacto completo con el piso. Usualmente el ZMP tiene el problema que el cálculo de las trayectorias es una restricción debido a la velocidad de procesamiento mientras se asegura que el pie tiene un contacto completo con el piso. Muchos investigadores, especialmente en Japón trabajan en un andar más dinámico en este tipo de robots.



*Figura 10. Concepto gráfico del Punto de Momento Cero.*

Otras grandes compañías como Toyota y Sony han realizado investigación en el desarrollo de humanoides, cada una de estas presentando su prototipo en el mercado. La tendencia en el desarrollo de humanoides es la de elaborar prototipos de menor costo, sin que estos pierdan las características alcanzadas hasta el momento.

## 3.2 PROCEDIMIENTOS Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

### 3.2.1 Análisis de las condiciones actuales del Humanoide

Para el óptimo desarrollo de un proyecto, se deben conocer las condiciones actuales del mismo, motivo por el cual se llevó a cabo una investigación de determinadas partes de la estructura del humanoide como lo fueron las fuentes de voltaje, las dos computadoras con las que cuenta, además de las dimensiones físicas de los pies, cada aspecto fue analizado para una elección apropiada del sensor.

Fuentes de Alimentación: El Mex-One cuenta con 2 tipos de fuentes de alimentación, ambas de la marca LAMBDA, el primer tipo perteneciente a la serie LS150-15 alimenta el cuerpo y las piernas. Posee un rango de voltaje de salida ajustable de 13.5 a 16.5 voltios y una corriente máxima de 7 amperios [véase Anexo 1].

El modelo LS35-12 alimenta la parte de la cabeza. Posee un rango de voltaje de salida ajustable de 10.8 a 13.2 voltios y una corriente máxima de 3 amperios [véase Anexo 2].

Computadoras: El humanoide cuenta con dos computadoras, la Athena ATHM 800-256 A y la Poseidón PSDC 20-1024 A, ambas reservadas para futuros sensores a implementar.

La computadora ATHM 800-256 A cuenta con 16 entradas ADC con una resolución de 16 bits, un procesador de 500 MHz, una memoria RAM de 256 MBytes, 4 puertos USB 1.1 y un voltaje de operación de 5 voltios [véase el Anexo 3].

La computadora PSDC 20-1024 A cuenta con 32 entradas ADC con una resolución de 16 bits, un procesador de 1GHz, una memoria RAM de 512 MBytes, 4 puertos USB 2.0 y un voltaje de operación de 5 voltios [véase Anexo 4]



Dimensiones Físicas: Parte del desarrollo de algoritmos de control para la autonomía de un humanoide conlleva conocer características como: el centro de masa de la estructura, las uniones con las que se cuentan, el peso y la estatura. Para la parte del caminado es necesario conocer las dimensiones exactas de las plantillas y las características sobre estas.

Conocemos la altura y peso aproximados del humanoide, además de que se cuenta con los CAD (Computer-aided Design o Dibujo Asistido por Computadora) de la mayoría de las partes del Mex-One [véase Figura 11]. Los pies del humanoide son el interés principal de este apartado.

Con los CAD disponibles se verificaron las dimensiones de los pies del humanoide, la ubicación de una de las computadoras y de las uniones de interés. Así mismo, se puede conocer información del peso de cada una de las piezas, el centro de masa de las mismas e incluso modificarlas si así se requiere.

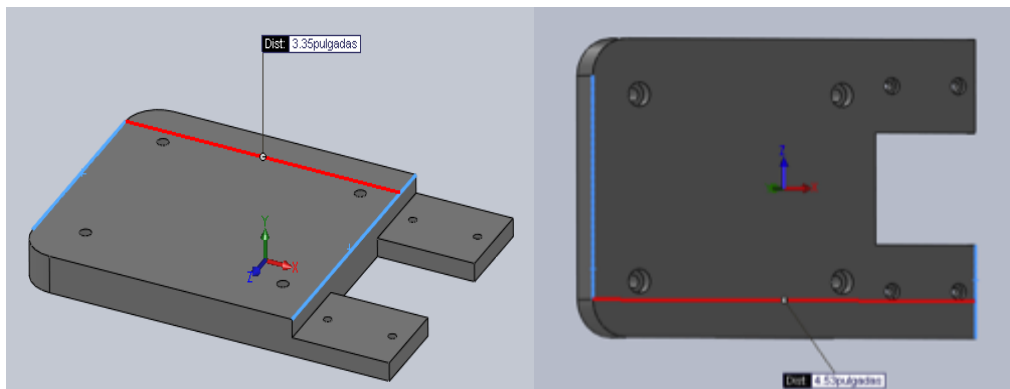


Figura 11. Diseño completo del Mex-One en CAD.

El pie del humanoide se divide principalmente en 2 partes: Parte rígida y parte flexible.

Parte rígida:

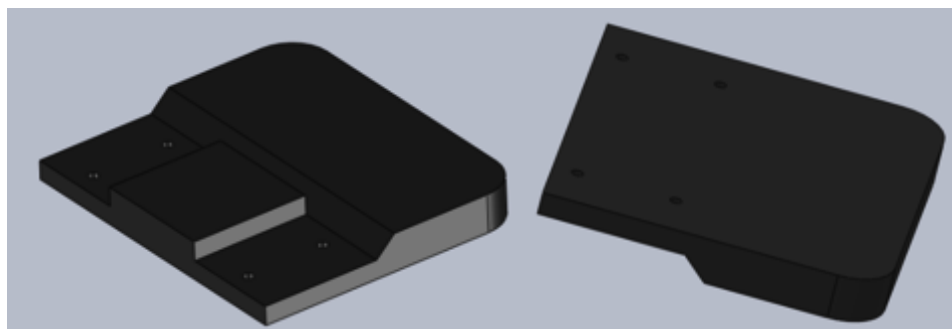
Es la parte del pie con mayor superficie, cuenta con dos pestañas de sujeción que permite el ensamblaje con la parte flexible [véase Figura 12]. Sus dimensiones son las siguientes: 85 mm de largo sin la pestañas, 115 mm de largo con la pestaña, 70 mm de ancho y 9.53 mm de alto.



*Figura 12. Perspectivas de la Parte Rígida del Pie.*

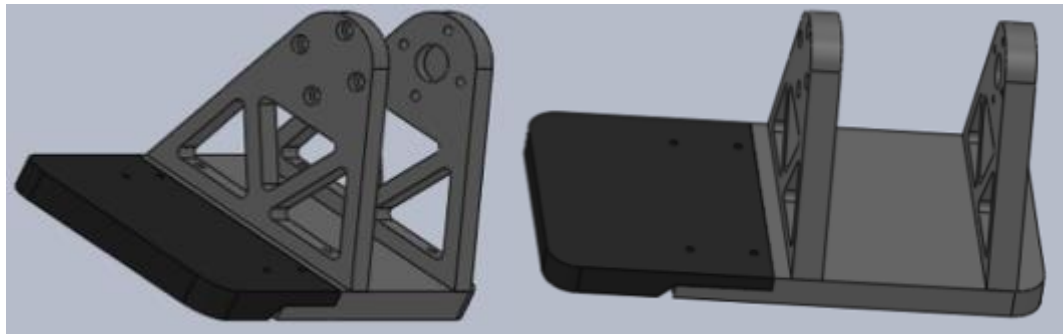
Parte flexible:

Está construida con hule de las siguientes dimensiones: 80 mm de largo, 70 mm de ancho y 9.53 mm de alto. En la Figura 13 se observa que esta parte cuenta con orificios que permiten el ensamblaje con la parte rígida.



*Figura 13. Perspectivas de la Parte Flexible del Pie.*

La Figura 14 muestra el pie completo del humanoide que cuenta con las medidas siguientes: 155 mm de largo, 80 mm de ancho y 9.53 mm de alto.



*Figura 14. Perspectivas del Pie completo del Humanoide.*

### **3.2.2 Elección del Sensor**

Actualmente se cuenta con una gama de sensores y compañías especializadas en el desarrollo de sensores con aplicaciones en robótica, por lo que alguno de los requerimientos que deben de cumplir son los siguientes:

- Flexibilidad de los sensores para colocarse en superficies.
- Ligeros
- Capaces de soportar pesos mayores a 15kg.
- Tarjeta de adquisición pequeña y ligera.

Los sensores pueden ser clasificados en función de diferentes parámetros. Los parámetros que determinan el comportamiento distinto de los sensores pueden ser:

- Físico (piezoeléctrico, piezorresistivo.)
- Fenómeno que miden. (tacto, velocidad, fuerza, posición, temperatura, etc.)

Según el comportamiento físico, los sensores táctiles artificiales se pueden clasificar en: Sensores Piezoeléctricos, Capacitivos, Resistivos, Celdas de Carga, Galgas Extensiométricas, De Efecto Magnético, Acelerómetros, etc.

Teniendo en cuenta los requerimientos del sensor, se analizaron principalmente 3 tipos de sensores: Galgas Extensiométricas, Piezoeléctricos y los FSR (Force Sensing Resistor). [3]

### **Galgas Extensiométricas:**

El fundamento de las galgas extensiométricas es el efecto piezorresistivo. Se basan en la variación de la resistencia de un conductor o un semiconductor cuando es sometido a un esfuerzo mecánico. Si se considera un hilo metálico de longitud  $l$ , sección  $A$  y resistividad  $\rho$ , su resistencia eléctrica es:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (1)$$

#### Estructura General:

- Laminilla delgada de cualquier metal (Ni, Cr).
- Respaldo de material plástico (nylon, vinilo, polietileno, teflón).
- Terminales metálicos grandes para soldadura.

En la Figura 15 se muestran las partes más importantes a considerar para la elección de un tipo de galga extensiométrica.

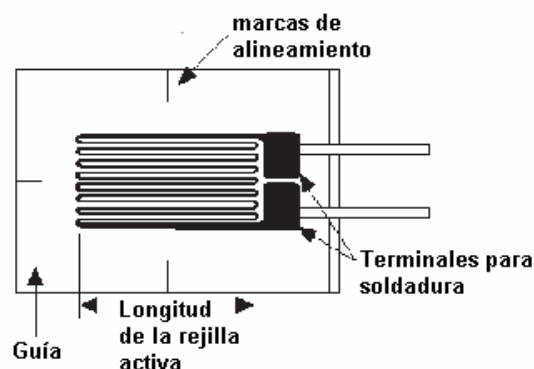


Figura 15. Partes de una Galga extensiométrica.

### Características de la señal:

Poseen amplio rango donde su respuesta es lineal, su respuesta en alta frecuencia es buena. La calibración es estable, gracias a que las distintas galgas según sus arreglos y materiales. [4]

### Condiciones de Trabajo:

- *Esfuerzo aplicado:* Este esfuerzo no debe llevar a la galga fuera del margen elástico de deformación. Éste no excede del 4% de la longitud de la galga.
- *Temperatura:* La temperatura es una fuente de interferencia para las galgas. Afecta a la resistividad y módulo de elasticidad del material.
- *Superficie:* Para el correcto funcionamiento de una galga, está siempre tiene que estar pegada a una superficie rígida.
- *Potencia:* La propia potencia que se disipa cuando, al medir su resistencia, se hace circular por ella una corriente eléctrica, provocando el calentamiento de la galga.

### **Sensores Piezoeléctricos:**

Un sensor piezoeléctrico [véase Figura 16] es un dispositivo que utiliza el efecto piezoeléctrico para medir presión, tensión o fuerza; transformando las lecturas en señales eléctricas. Cuando se aplica una presión a un cristal, se deforma elásticamente. Esta deformación origina una carga eléctrica (que dura algunos segundos). La señal eléctrica resultante puede medirse como una indicación de la presión que se aplica al cristal.

Estos sensores no pueden detectar presiones estáticas, pero se usan para medir presiones rápidamente cambiantes u otras fuentes de choque o vibración.

El rendimiento de los sensores de presión dinámica se expresa a menudo en unidades de presión relativa, por lo tanto referenciando la medida a la condición inicial del cristal. Los sensores piezoeléctricos son sensibles a las variaciones de temperatura y requieren amplificación y cableado especial. Los transductores de presión electrostática son pequeños y resistentes. La fuerza en el cristal puede aplicarse longitudinalmente o en dirección transversal, y en cualquier caso originarán una señal de alta tensión proporcional a la fuerza aplicada.

La señal de tensión autogenerada del cristal es útil donde no es posible proporcionar energía al sensor. Ya que el cuarzo es un mineral común, estos transductores son generalmente baratos. Seleccionando el cristal apropiadamente, el diseñador puede asegurar tanto una buena linealidad como una sensibilidad a la temperatura reducida. Los transductores de presión usualmente generan señales de salida en el rango de milivoltios (100 mV a 250 mV). [5]



*Figura 16. Sensor Piezoeléctrico.*

#### Principios Físicos:

El efecto piezoeléctrico consiste en la aparición de una polarización eléctrica en un material al deformarse bajo la acción de un esfuerzo mecánico. Algunos de los materiales que presentan esta propiedad son:

#### Naturales:

- ❖ El cuarzo
- ❖ La turmalina

#### Sintéticos:

- ❖ Ceraminas
- ❖ La Sal de Rochelle
- ❖ Cerámicos:
  - Fluoruro de polivinilideno (PVF2 o PVDF)
  - Metaniobato de plomo
  - Titanato circonato de plomo (PZT)
  - Titanato de bario
  - Trifluoroetileno TrFE P(VDF/TRFE)
  - Nylon
  - Polyurea

### Características de la señal:

Los sensores piezoeléctricos son dispositivos de alta impedancia, por esto solo pueden suministrar corrientes muy pequeñas. Una limitación de los Piezoeléctricos es que no tienen buena respuesta a la aplicación de una fuerza constante, pero su respuesta es adecuada para la medición de fuerzas mecánicas cambiantes. Su respuesta en frecuencia va desde unos pocos Hertz hasta el nivel de Mega Hertz. Las características de la señal dependen estrictamente del material piezoeléctrico utilizado y en parte del medio y tamaño del material utilizado para canalizar la señal.

### Condiciones de Trabajo:

- Se deben usar por debajo de la frecuencia de resonancia del material que lo compone.
- Para algunas marcas, el efecto de la temperatura es típicamente  $\pm 0.5\%$  del fondo de escala sobre un rango de temperatura de 0 a 85 °C, mientras que el efecto sobre la tensión de offset, sobre un rango de temperatura similar, es de  $\pm 1$  mV como máximo.
- Muchos dispositivos cuentan con correctores de temperatura y humedad, pero el funcionamiento óptimo se logra en Aire seco.

### Especificaciones técnicas y eléctricas:

- No posee respuesta en corriente continua, esto debido a que al ser cargado el condensador (material piezoeléctrico) por efecto de una fuerza constante aplicada al material, la carga adquirida inicialmente será drenada tarde que temprano a tierra.
- La impedancia de salida de los materiales es muy baja.
- La resistencia eléctrica que presentan los materiales piezoeléctricos, si bien es muy grande en algunos casos, nunca es realmente infinita por lo que al aplicar esfuerzo constante se generara inicialmente una carga que inevitablemente será drenada al cabo de cierto tiempo.

### Limitaciones de los sensores piezoeléctricos:

- *Limitaciones térmicas:* Si un material cerámico piezoeléctrico se calienta al punto de Curie, el material se despolariza. La temperatura Curie de cada material piezoeléctrico se refiere a la temperatura a la cual el cristal pierde sus propiedades de polarización instantánea y de aquí sus propiedades piezoeléctricas.

La temperatura de operación superior recomendada para un cerámico es aproximadamente la mitad entre 0°C y el punto de Curie. Con el rango de temperatura de operación recomendada; los cambios asociados con la temperatura en la orientación de los dominios son reversibles. Asimismo, estos cambios pueden crear desplazamientos de la carga en los campos eléctricos. También, las fluctuaciones de temperatura repentinas pueden generar voltajes relativamente altos, capaces de despolarizar el elemento cerámico. Puede incorporarse un condensador al sistema para aceptar la energía eléctrica superflua. Consecuentemente, la temperatura de Curie será clave a la hora de seleccionar el sistema piezoeléctrico elegido para la aplicación.

- *Limitaciones por la influencia del envejecimiento en la constante dieléctrica:* hay un aumento progresivo de la constante dieléctrica conforme el material piezoeléctrico envejece. Este hecho hay que tenerlo en cuenta al utilizar el sensor en aplicaciones sensibles al envejecimiento, como por ejemplo para actuar a la intemperie.

Los dispositivos piezoeléctricos se clasifican según se mida durante su actuación la carga electrostática del cristal, su resistividad, o su carga electrostática de frecuencia resonante. Dependiendo del fenómeno utilizado, el sensor del cristal puede ser llamado electrostático, piezorresistivo, o resonante.

### **Sensores FSR (Force Sensing Resistor):**

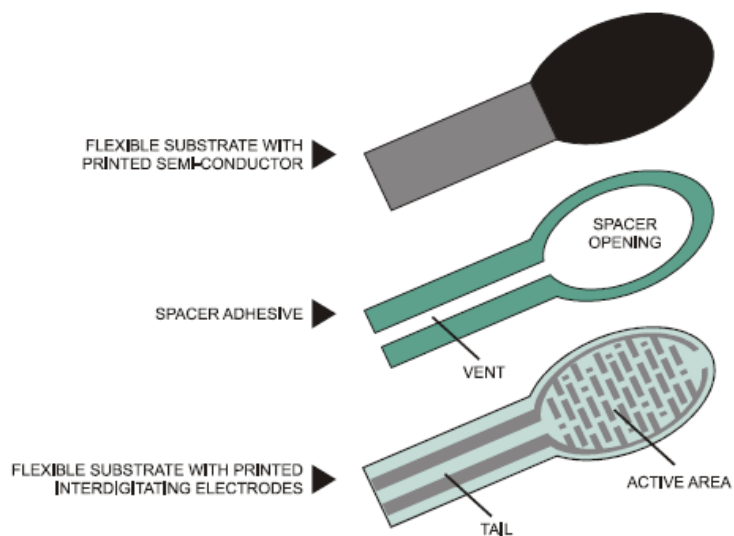
El sensor de fuerza resistivo (FSR) es un dispositivo de película de polímero (PTF) que presenta una disminución de la resistencia cuando aumenta la fuerza aplicada a la superficie activa. Su sensibilidad a la fuerza está optimizada para uso en el control por toque humano de dispositivos electrónicos. Las FSRs no son células de carga o galgas extensiométricas aunque tengan propiedades similares. [6]



### Principio Físico:

Tiene una resistencia variable en función de la presión aplicada y se rige por el principio piezorresistivo. Estos dispositivos se fabrican con un material elástico en cuatro capas [véase Figura 17], consistiendo en:

- Una capa de plástico eléctricamente aislador.
- Un área activa que consiste en una serie de conductores.
- Un espaciador plástico.
- Un substrato flexible.



*Figura 17. Partes principales de un FSR.*

### Características de la señal:

La gama usable de la señal de salida de un FSR es casi lineal. Si se aplica bastante fuerza, su respuesta se convierte en no lineal debido a la saturación del sensor. Tiene una baja exactitud, sin embargo, es excelente para aplicaciones donde se necesita una medición cualitativa.

### Condiciones de trabajo:

- Rango de temperatura: entre -30°C hasta 70°C.
- Sensibilidad a ruido/vibración: no es afectado significativamente.
- Trabaja mejor en superficies planas, firmes y lisas.

- Al montar estos sensores a una superficie curva (en el cuerpo o ropa), reduce la gama de la medida.
- La flexión de la cola también afecta el funcionamiento.

#### Especificaciones Técnicas y eléctricas:

- Rango de sensibilidad de fuerza: entre 100 g hasta 45 Kg.
- Rango de sensibilidad de presión: entre 1.5 psi hasta 150 psi.
- Resistencia de aislamiento: mayor a 1M $\Omega$ .

Analizando la información de los 3 tipos de sensores, es posible elegir el sensor a utilizar, comparando sus características tenemos que:

- Los FSR a diferencia de los piezoeléctricos son capaces de medir presiones continuas y no presenta disipación de potencia como las galgas extensiométricas al estar bajo uso continuo.
- Los FSR son ligeros y flexibles.
- El rango de temperatura de operación de las galgas y los piezoeléctricos es menor que el de los FSR.
- Las vibraciones no afectan en gran medida el funcionamiento de los FSR.
- Los FSR pueden adaptarse a superficies curvas, a diferencia de las galgas extensiométricas que necesitan estar en superficies planas.

Debido a sus características los sensores FSR son los que se adaptan a las necesidades del proyecto.

Elegido el tipo de sensor a utilizar (FSR), se necesita hacer una segunda elección, la cual consiste en elegir entre los productos de las dos principales empresas productoras de FSR, Interlink Electronics y Flexiforce, ambas con diferentes características, por lo que es necesario la elaboración de una comparativa entre los diferentes modelos de cada una de las compañías.

A continuación se analizan algunas de las propiedades características de estos 2 tipos de sensores:

### Sensor FSR Flexiforce:

Curvas Características: Estas graficas describen el comportamiento del sensor bajo condiciones establecidas.

La Figura 18 muestra el comportamiento de la resistencia del sensor cuando se aumenta gradualmente la fuerza aplicada. Esta misma gráfica sirve de base para la Figura 19 en la cual se ilustra el comportamiento de la conductancia del sensor (inverso de la resistencia).

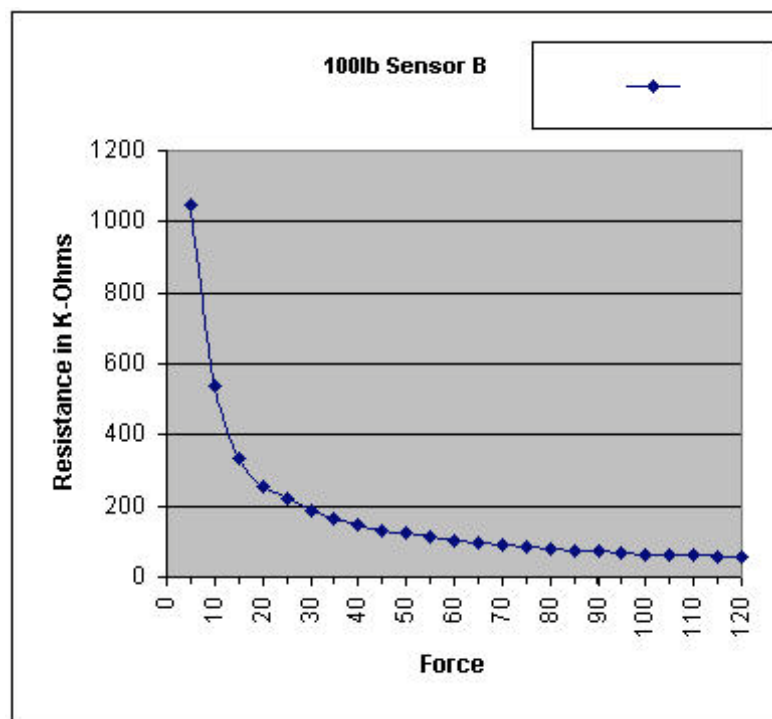


Figura 18. Gráfica de Fuerza vs Resistencia Flexiforce.

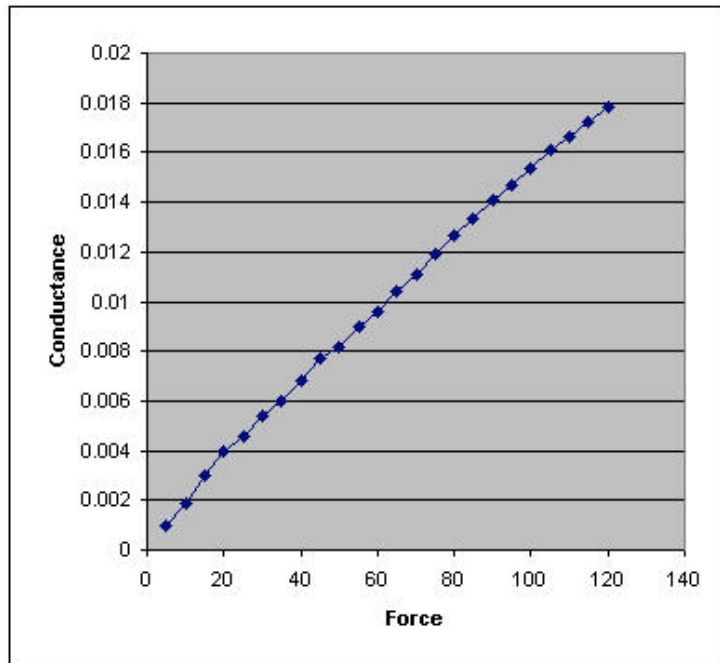


Figura 19. Gráfica de Fuerza vs Conductancia Flexiforce.

Para un óptimo funcionamiento del sensor el fabricante recomienda el circuito de la Figura 20.

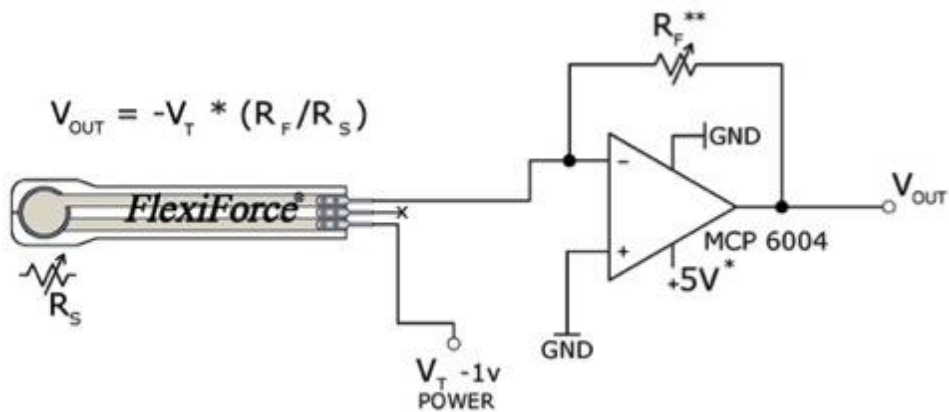


Figura 20. Circuito recomendado por Flexiforce.

Debido a que el fabricante diseña diversos modelos con propiedades diferentes, es necesario comparar sus características para elegir el modelo de sensor adecuado a las necesidades. En la Tabla 1 se muestran las características de los 3 modelos principales de esta marca.

Tabla 1. Comparación entre diferentes sensores Flexiforce.

Flexiforce	Modelo A201	Modelo HT201	Modelo A401
<b>Propiedades Físicas</b>			
<b>Espesor</b>	0.008 in. (.203 mm)		
<b>Longitud</b>	7.75 in. (197 mm) 6 in. (152 mm) 4 in. (102 mm) 2 in. (51mm)		2.24 in. (56.8 mm)
<b>Ancho</b>	0.55 in. (14 mm)		31.8 mm
<b>Área de sensado</b>	0.375 in. diámetro (9.53 mm)		1.0 in. diámetro (25.4 mm)
<b>Conector</b>	Macho de 3 pines cuadrado		Macho de 2 pines cuadrado
<b>Rendimiento Típico</b>			
<b>Error Lineal</b>	<±3%		
<b>Repetibilidad</b>	<±2.5% en escala completa	<±3.5% en escala completa	<±2.5% en escala completa
<b>Histéresis</b>	<±4.5% en escala completa	<±3.6% en escala completa	<±4.5% en escala completa
<b>Tiempo de Respuesta</b>	<5 microsegundos	TBD	<5 microsegundos
<b>Temperatura de Operación</b>	15°F a 140°F (-9°C a 60°C)	15°F a 400°F (-9°C a 204°C)	15°F a 140°F (-9°C a 60°C)
<b>Rango de Fuerzas</b>	0-1 lb (4.4 N) 0-25 lb (110 N) 0-100 lb (440 N)	0-30 lb (133 N) 0-100 lb (440 N)	0-25 lb (110 N)
<b>Sensibilidad a la Temperatura</b>	Variante de salida en 0.2% por °F	Variante de salida en 0.2% por °F	Variante de salida en 0.2% por °F

## Sensor Interlink Electronics:

Curva Típica de respuesta: Estas graficas describen el comportamiento del sensor bajo condiciones establecidas.

La Figura 21 muestra el comportamiento de la resistencia del sensor cuando se aumenta gradualmente la fuerza aplicada.

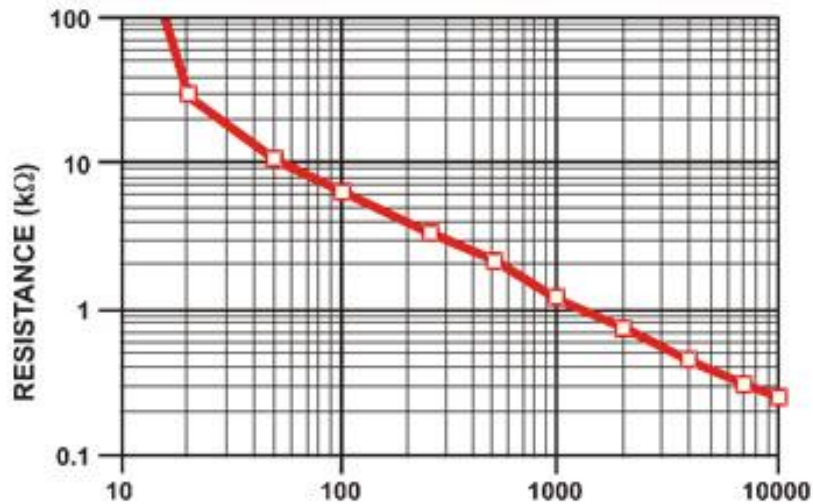


Figura 21. Gráfica de Fuerza vs Resistencia Interlink.

La figura 22 (b) nos proporciona las diferentes respuestas de salida del sensor al variar la resistencia de referencia utilizando el circuito de la figura 22 (a).

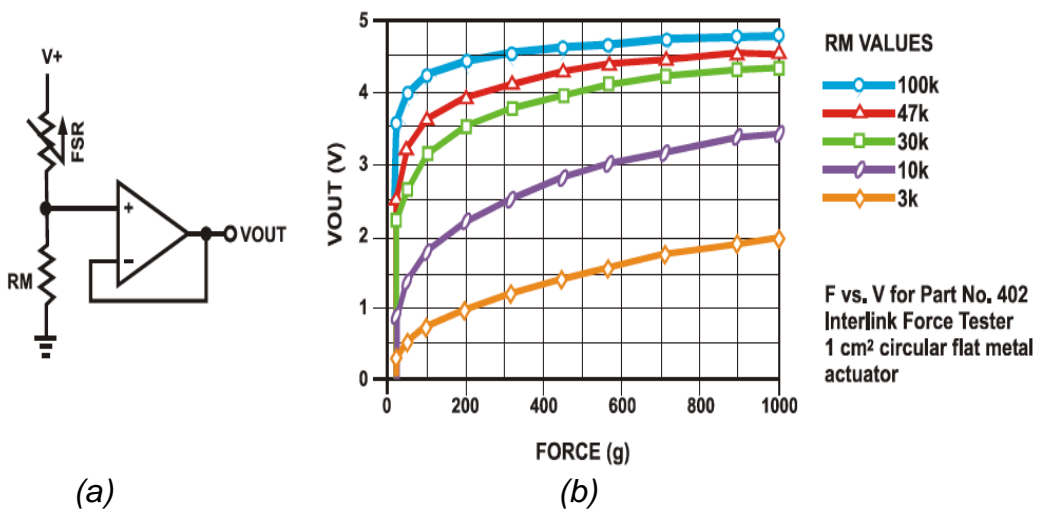


Figura 22. (a) Circuito Recomendado, (b) Respuesta de salida.

Al igual que Flexiforce, Interlink Electronics diseña diferentes modelos de sensores para cubrir diferentes necesidades, dichas propiedades se presentan en la Tabla 2.

*Tabla 2. Comparación entre diferentes sensores Interlink Electronics.*

<b>Interlink Modelo</b>	FSR 400	FSR 402	FSR 406
<b>Conector</b>	Macho de 2 pines cuadrado	Macho de 2 pines cuadrado	Macho de 2 pines cuadrado
<b>Resistencia Máxima sin Peso</b>	1M $\Omega$	1M $\Omega$	10 M $\Omega$
<b>Rango de Fuerza</b>	0.98 – 98 N	0.98 – 98 N	0.1 – 100 N
<b>Resistencia de Referencia</b>	3k $\Omega$ – 100k $\Omega$	3k $\Omega$ – 100k $\Omega$	3k $\Omega$ – 100k $\Omega$
<b>Temperatura de Operación</b>	-30 °C a 70 °C	-30 °C a 70 °C	-30 °C a 70 °C
<b>Área de Sensado</b>	5 mm diámetro	12.7 mm diámetro	38.1 mm x 38.1 mm
<b>Espesor</b>	0.30 mm	0.48 mm	0.54 mm

Analizando las propiedades de las 2 compañías fabricantes, se eligió el Sensor **Flexiforce**, ya que al incorporar el circuito que recomienda el fabricante, la respuesta de salida se acerca más a una respuesta lineal, algunos modelos presentan una mayor temperatura de operación y dado que la plantilla del humanoide cuenta con una parte flexible, los FSR de la marca Flexiforce poseen la capacidad de adaptarse de mejor manera a superficies curvas, gracias a una estructura alargada y flexible, por lo que sus conectores no entran en contacto con la superficie evitando de esta manera una perturbación en las mediciones.

### 3.2.3 Modelado del Circuito

En esta etapa se modelaron principalmente 2 configuraciones: La primera corresponde al circuito recomendado por el fabricante (Flexiforce), la segunda, es una configuración divisor de voltaje; para modelar cada una de estas configuraciones se realizó un análisis que se presenta a continuación:

#### Circuito Flexiforce:

El fabricante proporciona la gráfica de la Figura 23. Basándose en la ecuación de la recta, se obtiene información de la pendiente y su intersección con el eje de las ordenadas.

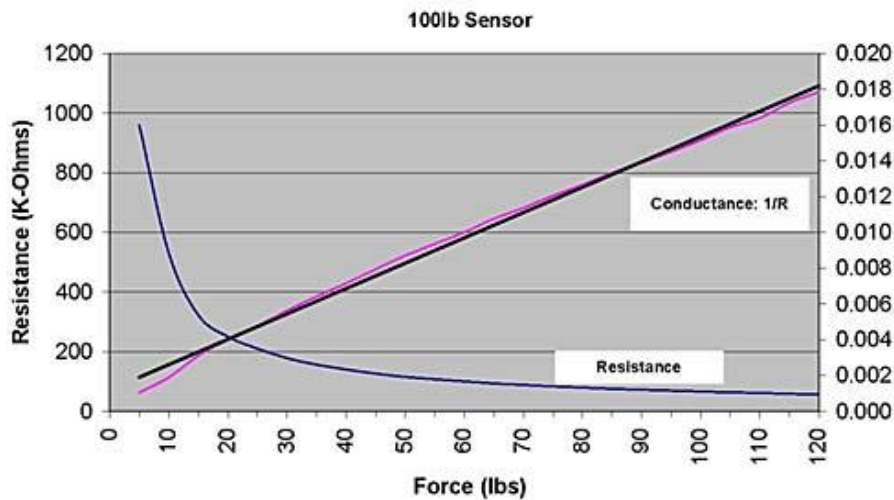


Figura 23. Gráfica de curvas características (Flexiforce).

Tenemos que la ecuación de la recta es:

$$y = mx + b \quad (2)$$

Comparando la ecuación (2) con la gráfica de interés (Conductancia), y sustituyendo los términos correspondientes, la ecuación resultante es:

$$\frac{1}{R_s} = mF + b \quad (3)$$

Dónde:

$\frac{1}{R_s}$  = Conductancia.

m = pendiente de la recta.

F = fuerza.

b = intersección de la recta con el eje de las ordenadas.



De la gráfica establecemos que:

$$m = 1.25 \times 10^{-4}$$

$$b = 2.25 \times 10^{-3}$$

Estos datos nos servirán para desarrollar el modelado del sistema.

Los datos restantes se obtienen realizando el análisis de la Figura 24.

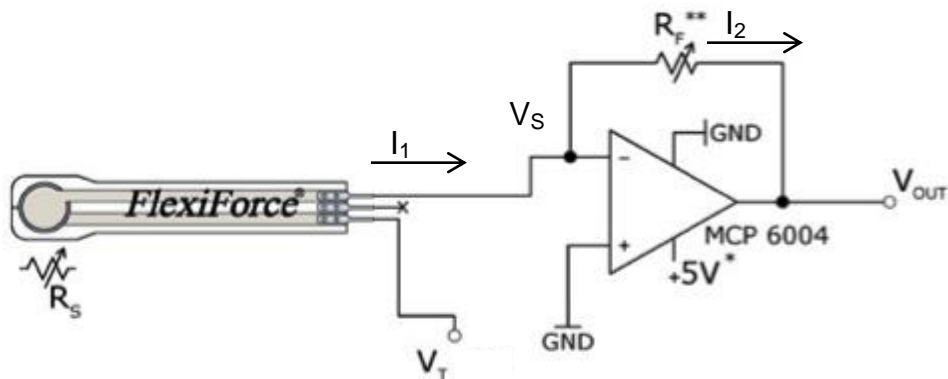


Figura 24. Circuito de modelado Flexiforce.

Analizando el circuito se establece que:

$$V_T - V_s = R_s \cdot I_1 \quad (4)$$

$$I_1 = I_2 \quad (5)$$

$$V_s - V_{out} = R_f \cdot I_2 \quad (6)$$

Despejando  $I_2$  de la ecuación (6):

$$I_2 = \frac{V_s - V_{out}}{R_f} \quad (7)$$

Tenemos que  $I_1 = I_2$ , sustituyendo (7) en la ecuación (4):

$$V_T - V_s = R_s \cdot \left( \frac{V_s - V_{out}}{R_f} \right) \quad (8)$$

Dado que  $V_s = 0$ , la ecuación (8) resulta:

$$V_T = R_s \cdot \left( \frac{-V_{out}}{R_f} \right) \quad (9)$$

Despejando  $V_{out}$  :

$$V_{out} = - \left( \frac{R_f}{R_s} \right) * V_T \quad (10)$$

Dónde:

$V_{out}$ = Voltaje de Salida

$R_s$ = Sensor FSR

$R_f$ = Resistencia de Referencia

$V_T$ = Voltaje de alimentación

Teniendo las ecuaciones del circuito y la gráfica, despejamos  $R_s$  de (3) para obtener:

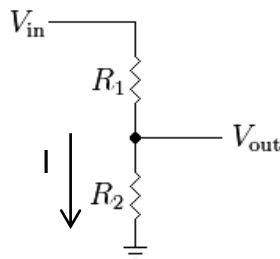
$$R_s = \frac{1}{mF+b} \quad (11)$$

Se sustituye (11) en (10) para obtener la ecuación que se utilizará para el modelado:

$$V_{out} = - \left[ \frac{R_f}{\left( \frac{1}{mF+b} \right)} \right] * V_T \quad (12)$$

### **Divisor de Voltaje:**

Una vez determinada la ecuación de la gráfica, analizamos el circuito para la configuración de la Figura 25.



*Figura 25. Configuración divisor de voltaje.*

Del circuito se establece que:

$$R1=R_s$$

$$R2=R_x$$

Por lo tanto:

$$I = \frac{V_{in}}{R_s + R_x} \quad (13)$$

$$V_{out} = R_x * I \quad (14)$$

Sustituyendo (13) en (14) para obtener:

$$V_{out} = \frac{R_x}{R_s + R_x} V_{in} \quad (15)$$

Teniendo (15), se sustituye (11), para obtener la ecuación del modelado:

$$V_{out} = \left[ \frac{R_x}{\left( \frac{1}{mF+b} \right) + R_x} \right] V_{in} \quad (16)$$

Teniendo (12) y (16), se desarrolló un programa en Matlab [Ver Anexo 5] para conocer la respuesta que nos proporcionara el sensor en ambas configuraciones.

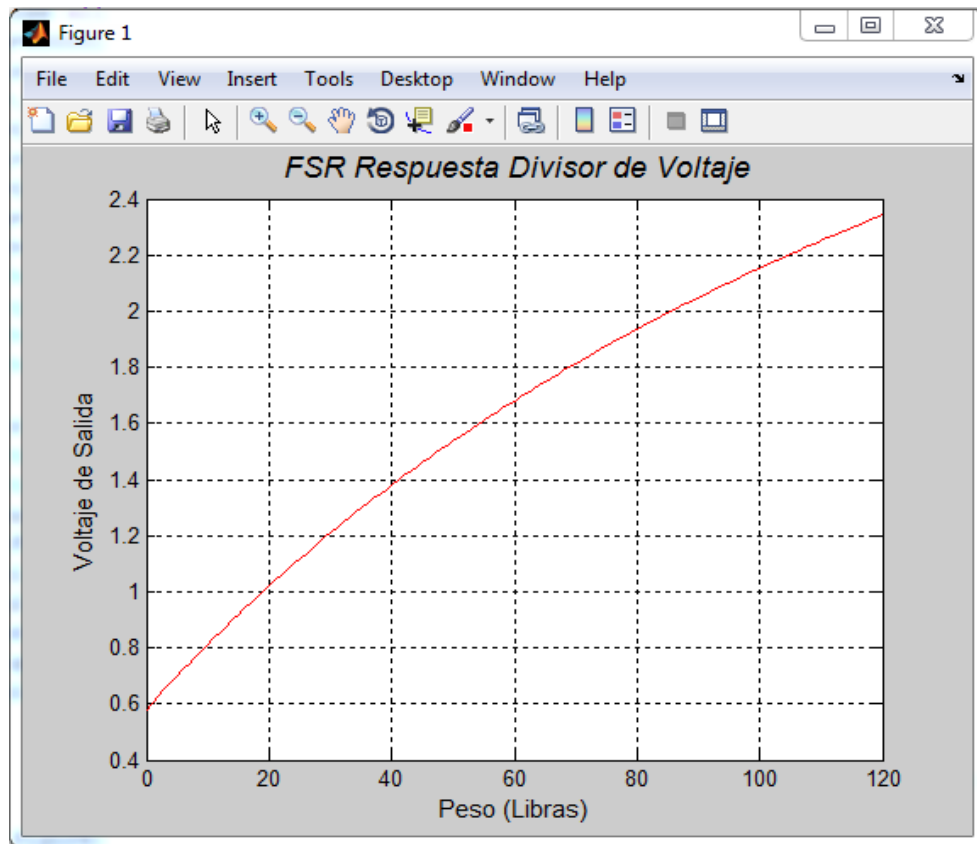


Figura 26. Modelado del FSR en configuración divisor de voltaje.

Para el modelado mostrado en la Figura 26 se utilizaron los siguientes valores:

$$R_x = 50\text{K}\Omega$$

$$V_{in} = 5\text{ V}$$

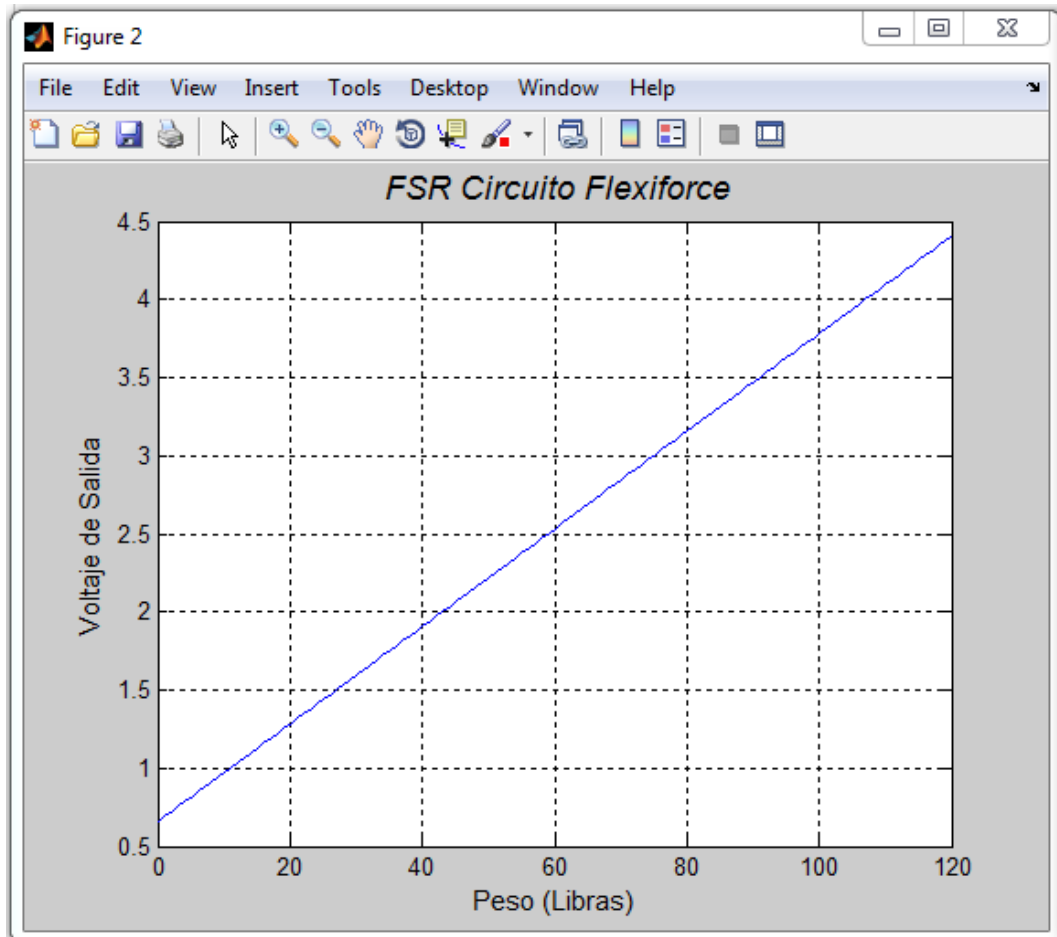


Figura 27. Modelado del FSR circuito Flexiforce.

En la gráfica de la Figura 27 se aprecia una respuesta de salida lineal en comparación a la mostrada en la Figura 26.

Los valores utilizados para el modelado del circuito flexiforce fueron los siguientes:

$$R_f = 50\text{K}\Omega$$

$$V_1 = -5\text{ V}$$

### 3.2.4 Análisis de la respuesta real del sensor

En esta etapa se trabajó directamente con el sensor para analizar la respuesta del dispositivo y observar las diferencias con respecto al modelado.

Debido a que los sensores FSR Flexiforce cuentan con un área de sensado circular de 9.53 mm de diámetro y estos solo son capaces de medir la componente vertical de una fuerza, es necesario aplicar dicha fuerza de manera perpendicular a la superficie de sensado.

Para obtener una medición correcta del sensor se utilizó un dispositivo calibrador, el cual consiste en una palanca [véase Figura 28 (a)], que en uno de sus extremos cuenta con un tornillo perpendicular al eje de la misma con un diámetro de 9.525mm, mismo que cubre la superficie activa del sensor [véase Figura 28 (b)].



(a)

(b)

*Figura 28. Montaje para la caracterización del sensor.*

Previo a la caracterización del sensor, se llevó a cabo su calibración, para ello se necesita colocar sobre el sensor, 3 veces durante 15 seg. el 110% del máximo a medir (44 libras). Para asegurar de esta manera que los datos obtenidos durante la caracterización sean confiables.

El proceso de caracterización consistió en colocar pesos conocidos en el extremo contrario al de la ubicación del sensor y aumentar dicho peso de manera gradual.

La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos en el proceso de calibración de cada sensor.

*Tabla 3. Valores de salida de los sensores.*

<b>Peso</b>	<b>Sensor 1</b>	<b>Sensor 2</b>	<b>Sensor 3</b>	<b>Sensor 4</b>
2.5 Lb.	254 mV	351 mV	175 mV	122 mV
5.0 Lb.	351 mV	449 mV	263 mV	229 mV
7.5 Lb.	498 mV	679 mV	444 mV	351 mV
10.0 Lb.	566 mV	694 mV	532 mV	503 mV
12.5 Lb.	786 mV	791 mV	576 mV	581 mV
15.0 Lb.	835 mV	806 mV	708 mV	635 mV
17.5 Lb.	943 mV	962 mV	757 mV	796 mV
20.0 Lb.	1050 mV	1124 mV	889 mV	909 mV
22.5 Lb.	1177 mV	1285 mV	977 mV	923 mV
25.0 Lb.	1226 mV	1265 mV	1060 mV	1065 mV
27.5 Lb.	1373 mV	1353 mV	1129 mV	1182 mV
30.0 Lb.	1471 mV	1520 mV	1226 mV	1280 mV
32.5 Lb.	1573 mV	1578 mV	1309 mV	1388 mV
35.0 Lb.	1675 mV	1603 mV	1358 mV	1456 mV
37.5 Lb.	1827 mV	1739 mV	1559 mV	1582 mV
40.0 Lb.	1886 mV	1852 mV	1642 mV	1647 mV

La variación que se observa es debido a las propiedades intrínsecas de construcción del sensor, los cuales debido a los materiales utilizados tienen una tolerancia similar a las resistencias.

## Regresión por Mínimos Cuadrados

A partir de los datos obtenidos en la Tabla 3 podemos aplicar el Método de Regresión de Mínimos Cuadrados para encontrar la función que describa de mejor manera el comportamiento del sensor.

El método de los mínimos cuadrados implica que se deben considerar todas las rectas posibles que se pueden graficar en el plano y escoger la que minimiza la suma de los cuadrados de las desviaciones entre los puntos muestrales observados y la línea que se dibuja. La línea que hace esta minimización se llama línea de los mínimos cuadrados. [7]

Se denota por:

$$y = a' + b' x \quad (17)$$

Dónde:  $a'$  y  $b'$  son llamados las estimadas de los mínimos cuadrados de  $a$  y  $b$ .

Entonces la línea de los mínimos cuadrados está dada por  $y = a' + b' x$  en que:

$$b' = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (18)$$

$$a' = \bar{y} - b' \bar{x} \quad (19)$$

Dónde:

$\bar{x}$  = promedio de los valores de  $x$

$\bar{y}$  = promedio de los valores de  $y$

Conociendo estos datos, se elaboró un programa en Matlab [Ver Anexo 6] donde se programaron las formulas anteriores para conocer la función de cada uno de los 4 sensores.

En las Figuras 29, 30, 31 y 32 se muestra la gráfica que describe el comportamiento de cada uno de los sensores, así mismo la ecuación donde se observa su pendiente y la intersección con el eje de las ordenadas.

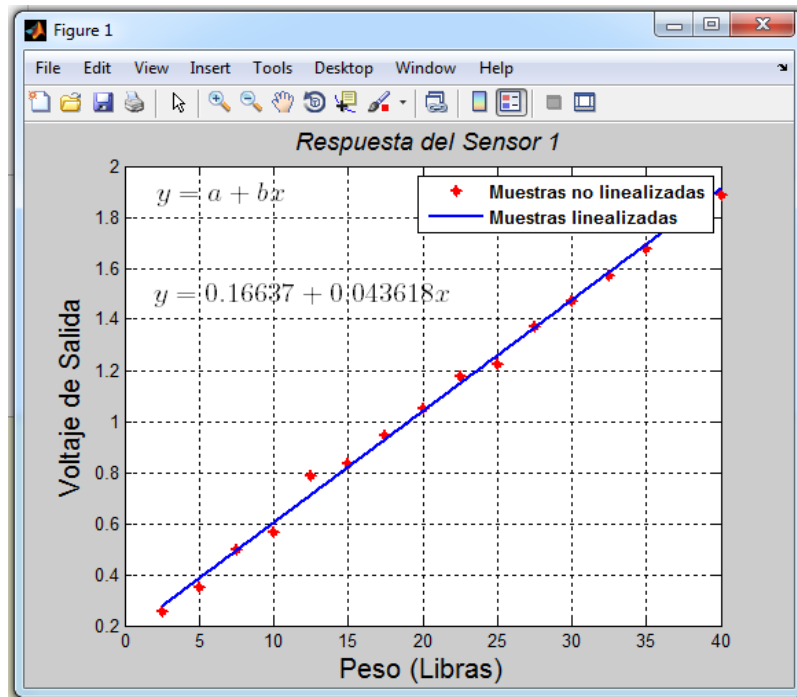


Figura 29. Respuesta de Salida del Sensor 1.

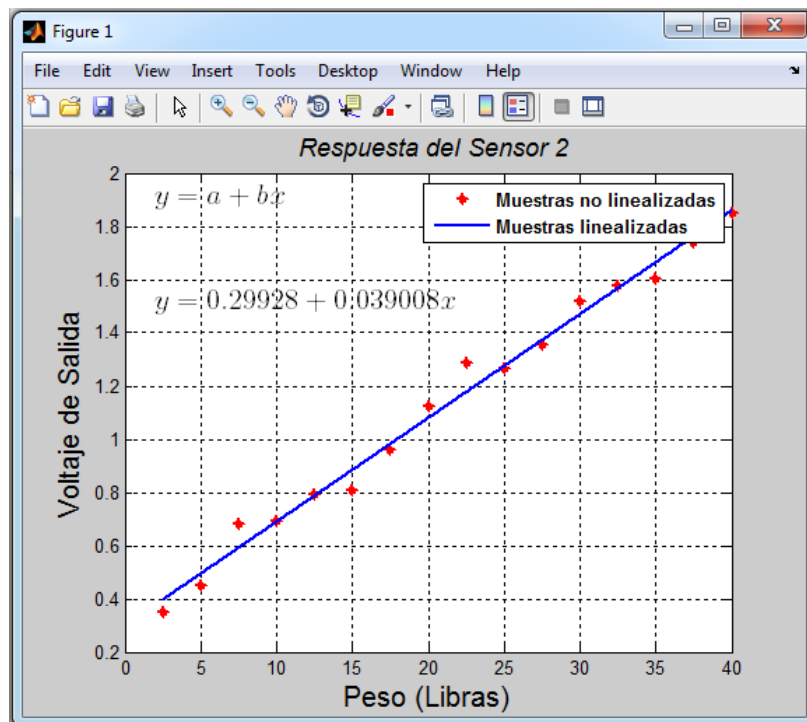


Figura 30. Respuesta de Salida del Sensor 2.



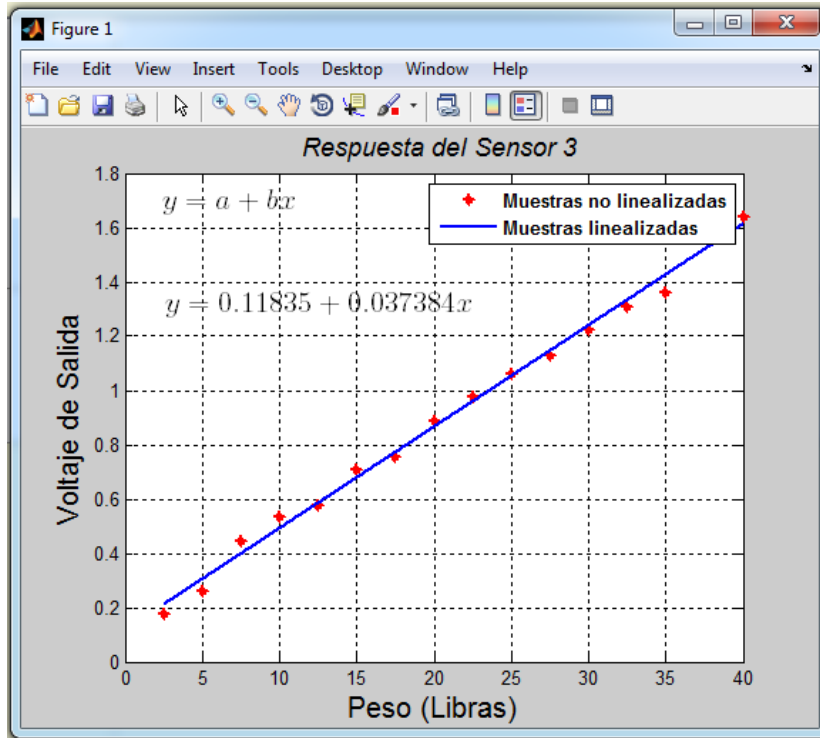


Figura 31. Respuesta de Salida del Sensor 3.

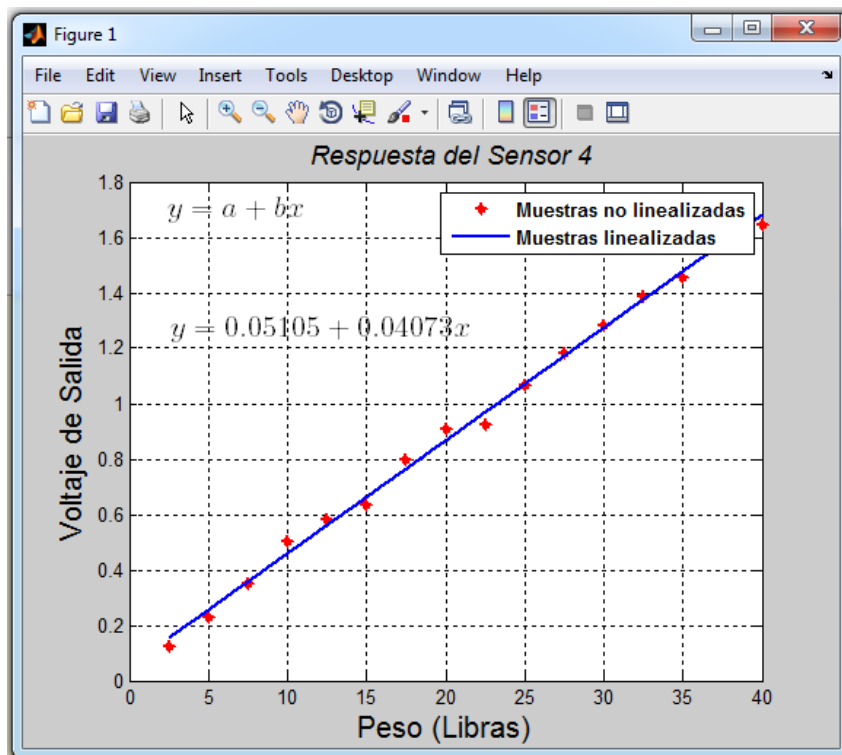


Figura 32. Respuesta de Salida del Sensor 4.

### 3.2.5 Diseño del arreglo de sensores

La distribución de los sensores dentro de la plantilla es muy importante, ya que una mala ubicación de estos puede dar como resultado tener información insuficiente.

Se pretende obtener la máxima información posible, utilizando la mínima cantidad de sensores, para esto se plantearon 2 diseños que se analizan a continuación:

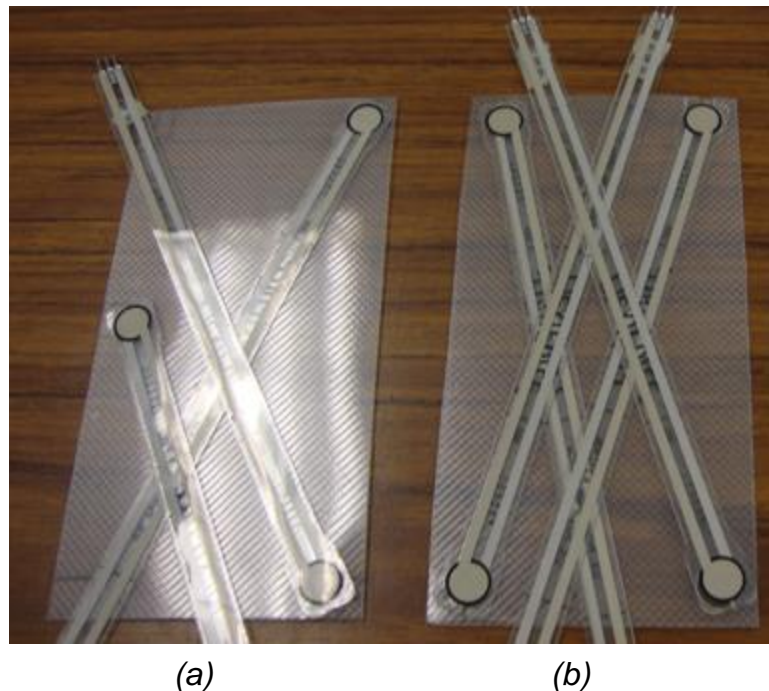
#### **Diseño Triangular:**

En esta configuración se utilizaron 3 sensores, a manera que formen un triángulo [véase Figura 33 (a)].

A base de un algoritmo de comparación que involucre la lectura de los 3 sensores, se puede obtener en que parte del pie se está ejerciendo la mayor presión

#### **Diseño Rectangular:**

En este arreglo se colocan sensores en cada una de las esquinas de la plantilla del humanoide, esta plantilla tiene la ventaja de que se abarca la estructura del pie de una forma simétrica [véase Figura 33 (b)].



(a) (b)  
Figura 33. (a) Arreglo Triangular, (b) Arreglo Rectangular.

### 3.2.6 Realización de pruebas de la plantilla

Realizada la calibración de los sensores y establecidos los arreglos para la plantilla, se elaboró un prototipo sobre el cual se realizaron las pruebas. Para el desarrollo de esta plantilla se utilizó MaCoPan, de las mismas dimensiones que los pies del Mex-One.

Este material es liviano y resistente, permitiendo de esta manera que se realicen pruebas colocando las 40 libras que se utilizaron en el proceso de calibración sin que se presente ningún inconveniente.

Puesto que los sensores son livianos y lisos es conveniente utilizar otro tipo de material para evitar que estos se muevan de su posición establecida, para ello se utilizó polipropileno de las mismas dimensiones que los pies del Mex-One, el cual ofrece una textura que impide que el sensor se deslice.



*Figura 34. Parte inferior de la plantilla.*

En la figura 34 se observa la elaboración de la parte inferior de la plantilla, en este caso para el arreglo rectangular, debido a que los sensores cuentan con una goma de aproximadamente 3mm. de alto, se perforaron orificios en el polipropileno.

Estos orificios se colaron a 5mm. del borde de la plantilla, tienen un diámetro de 9.6 mm, que permite a la goma del sensor (9.53 mm de diámetro) pasar libremente a través de estos, sirviendo además para que el sensor no se mueva de su ubicación.

### 3.2.7 Adquisición y acondicionamiento de señales

Para el acondicionamiento de la señal se utilizaron pequeñas placas adaptadoras diseñadas específicamente para los sensores de la marca flexiforce, ya que contiene el circuito recomendado por el fabricante, ofreciéndonos además de el voltaje de alimentación es de 4.5 a 5.25 volts.



*Figura 35. Adaptador Flexiforce.*

La placa de la Figura 35 mide 3.3 cm de largo, 3.0 cm de ancho y una altura máxima de 0.86 cm que es la altura del borne de conexión, estas medidas permiten colocar los adaptadores en la estructura del humanoide sin afectar ningún movimiento.

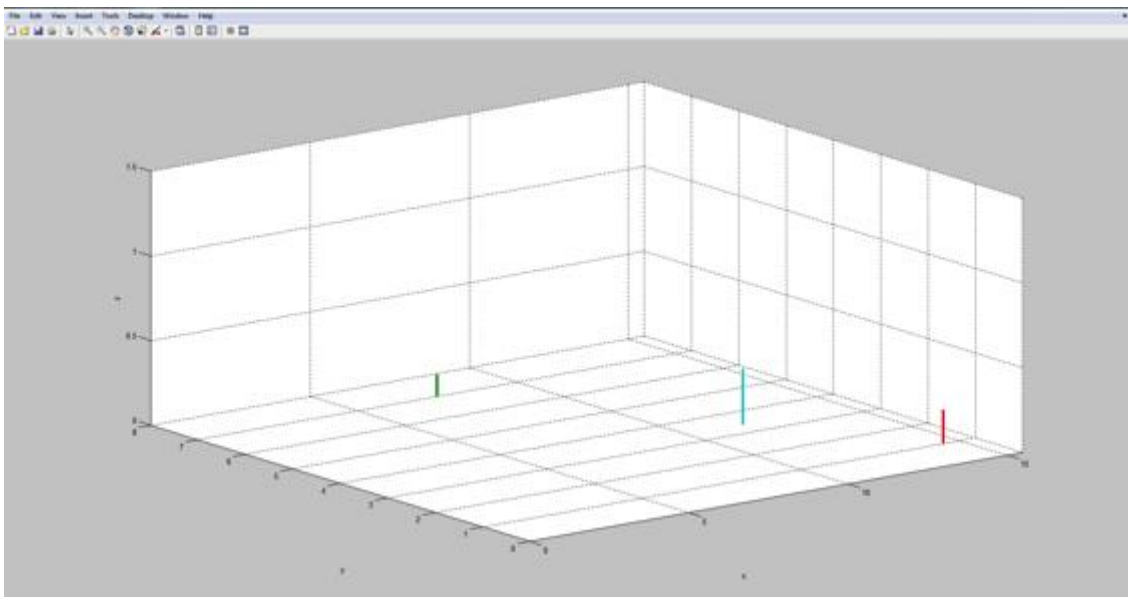
## CAPÍTULO IV

### 4.1 RESULTADOS

Para la presentación de los resultados se elaboró un programa en Matlab [Ver Anexo 7] el cual nos permitiera observar el comportamiento de las plantillas bajo determinadas situaciones. Se realizaron pruebas para ambos diseños de plantillas y de esta forma observar la diferencia de la ubicación del ZMP bajo circunstancias similares.

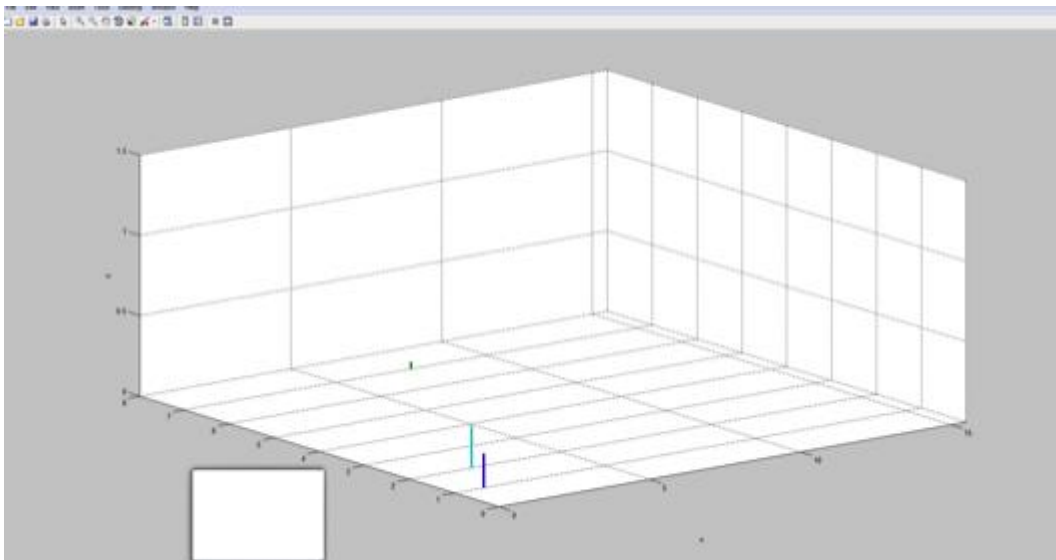
Para ello, se elaboró una interfaz gráfica donde se apreciara el nivel de voltaje que cada sensor arrojaba como respuesta, en esta interfaz se observaba la plantilla y la ubicación de los sensores, pudiendo diferenciar cada uno de ellos e incluido el ZMP por tener colores diferentes. A continuación se presentan los resultados de ambos arreglos.

#### Arreglo Triangular:



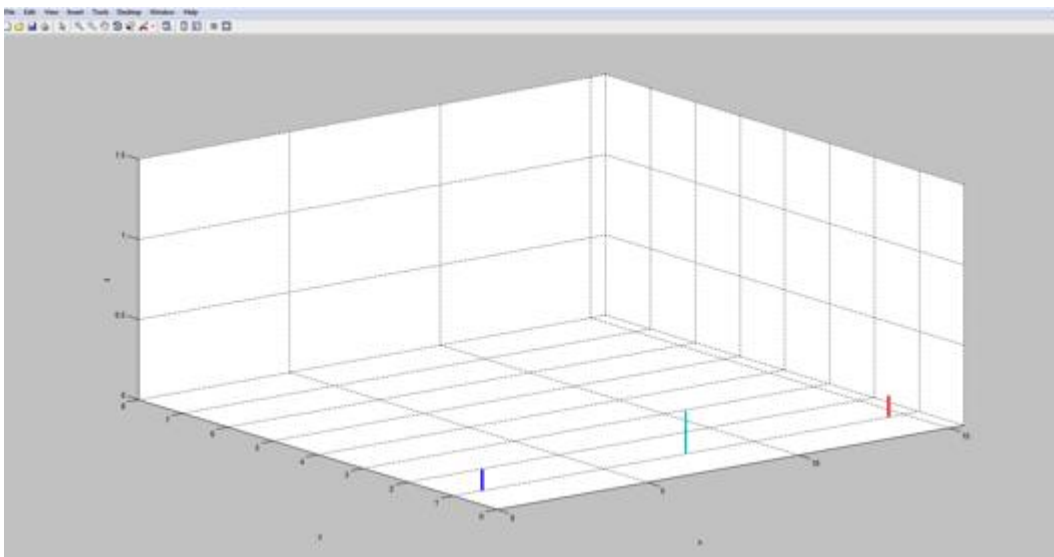
*Figura 36. Análisis del ZMP con el peso hacia adelante, triangular.*

En la Figura 36 las líneas roja y verde, representan lecturas de los sensores mientras que la línea celeste representa la magnitud y ubicación del ZMP, para este caso se colocó la mayor parte del peso en la parte delantera de la plantilla, de forma que la presión se concentrara en mayor medida en la zona delantera.



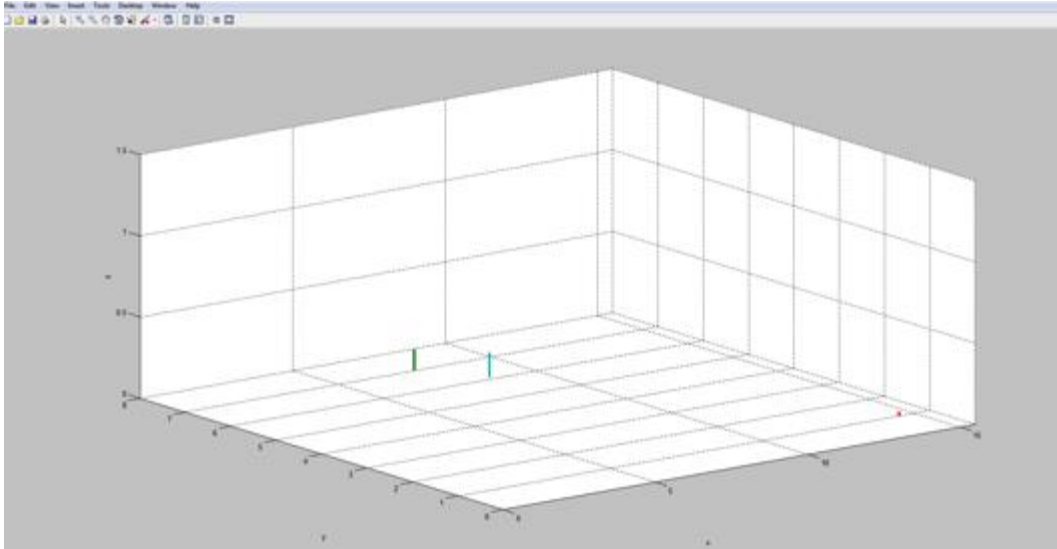
*Figura 37. Análisis del ZMP con el peso hacia atrás, triangular.*

Para la Figura 37 el peso se colocó en la parte trasera de la plantilla, siendo las líneas azul y verde la señal de respuesta de los sensores, la ubicación del ZMP se puede observar con la línea celeste, una vez más este punto se encuentra cercano a donde se ejerce mayor presión dentro de la plantilla.



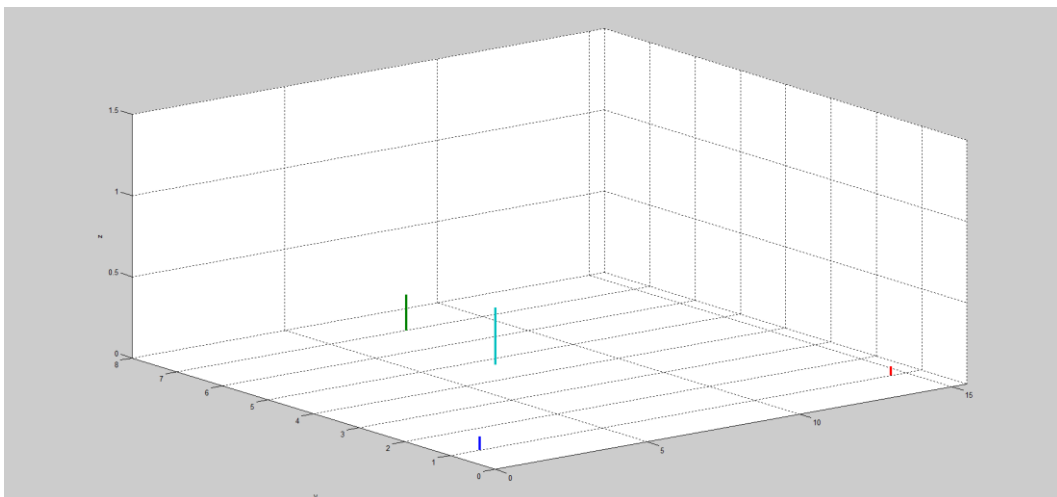
*Figura 38. Análisis del ZMP con el peso hacia la derecha, triangular.*

En la Figura 38 el peso se colocó en la parte derecha de la plantilla, ejerciendo presión a la mitad del extremo derecho, se observa que el ZMP se sitúa cerca de dicha mitad.



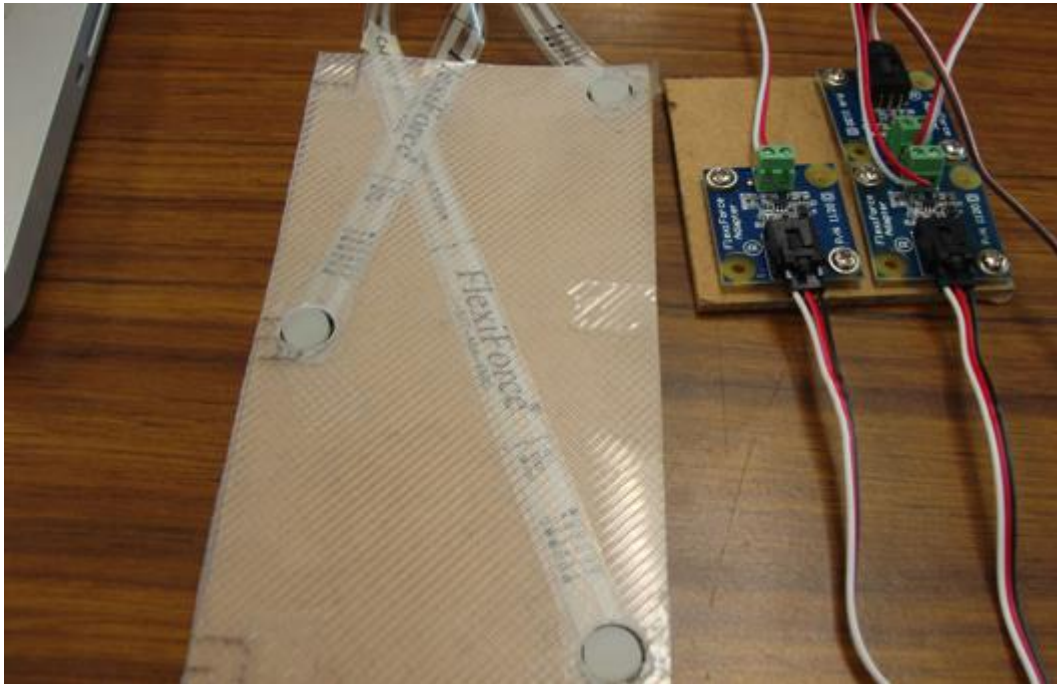
*Figura 39. Análisis del ZMP con el peso hacia la izquierda, triangular.*

En la Figura 39 se observa que la ubicación del ZMP, en este caso, la presión ejercida fue suficiente para que uno de los sensores del extremo derecho registrará una lectura, provocando de esta manera que la ubicación del ZMP no se encuentre exactamente en la mitad del extremo izquierdo.



*Figura 40. Análisis del ZMP con el peso en el centro, triangular.*

En la Figura 40 la presión se ejerció en el centro de la plantilla, se observa que los sensores del extremo derecho arrojan lecturas similares, mientras que el sensor del extremo izquierdo presenta una mayor lectura ya que por su ubicación (mitad del extremo izquierdo) se encuentra más cerca de la zona de presión.



*Figura 41. Prototipo de Plantilla con arreglo triangular.*

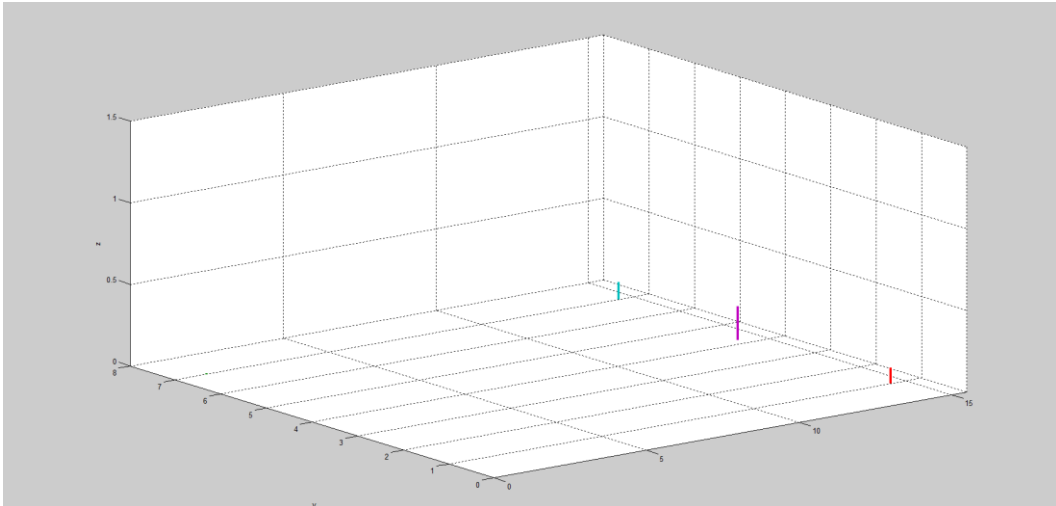
En la Figura 41 se muestra el prototipo de la plantilla triangular con los adaptadores correspondientes.

#### **Arreglo Rectangular:**

Para esta configuración se hicieron las mismas pruebas que se hicieron con el arreglo triangular, se colocaron pesos en distintas posiciones de la plantilla con el objetivo de observar las señales de respuesta y la ubicación del ZMP.

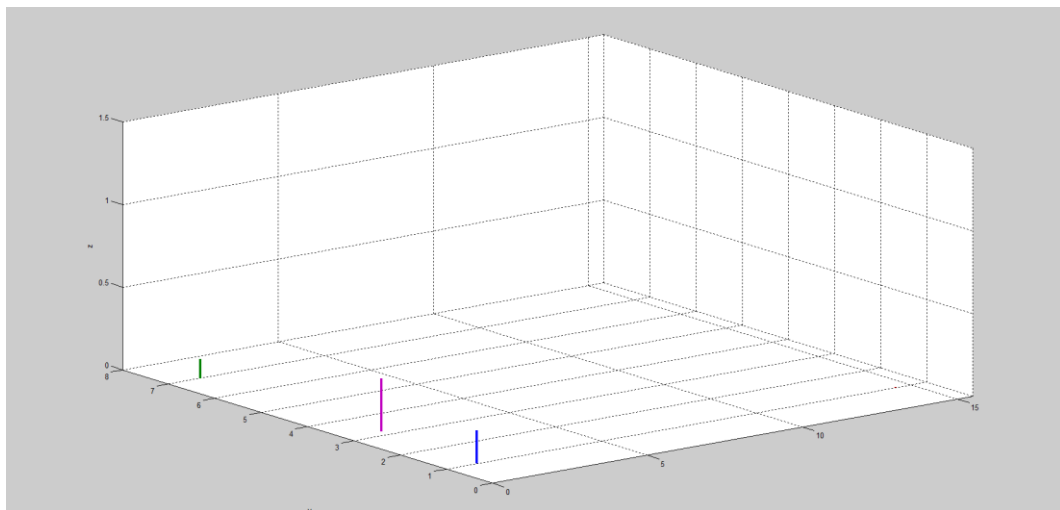
Puesto que en este arreglo se tiene un total de 4 sensores colocados de forma simétrica, se espera que la ubicación del ZMP en cada una de las situaciones sea más exacta. A continuación se presentan los resultados obtenidos para esta configuración:





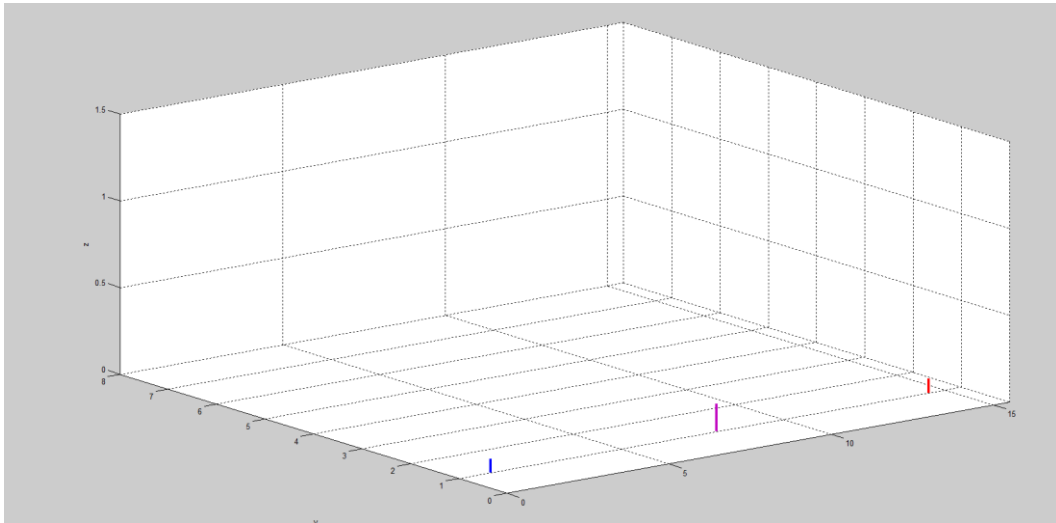
*Figura 42. Análisis del ZMP con el peso hacia delante, rectangular.*

Al colocar el peso hacia delante, se observa en la Figura 42 que las señales de los sensores (líneas roja y celeste) son parecidas y la ubicación del ZMP (línea morada) se encuentra muy cerca de la mitad del extremo delantero de la plantilla.

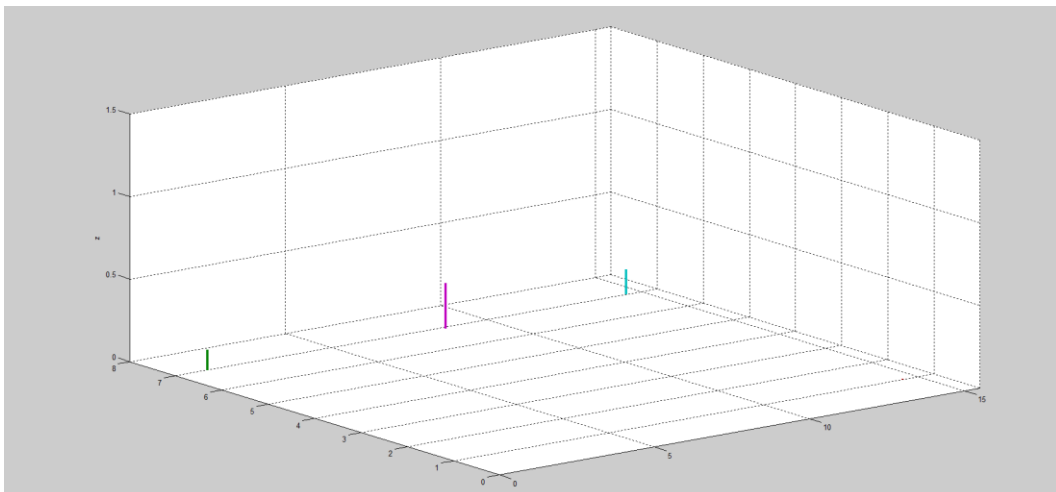


*Figura 43. Análisis del ZMP con el peso hacia atrás, rectangular.*

El resultado obtenido al colocar el peso en la parte trasera se muestra en la Figura 43, y se puede observar que no difiere significativamente de los obtenidos en la Figura 42.

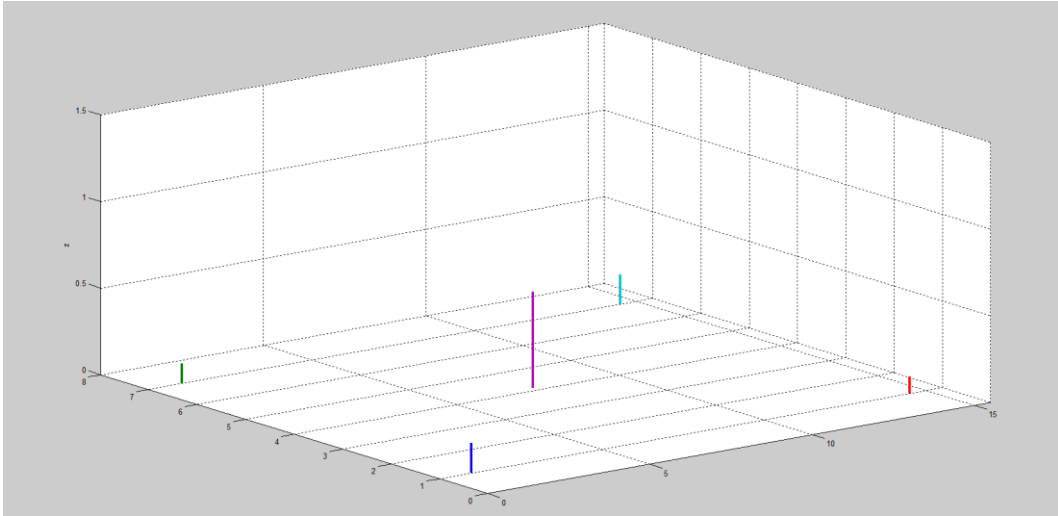


*Figura 44. Análisis del ZMP con el peso hacia la derecha, rectangular.*



*Figura 45. Análisis del ZMP con el peso hacia la izquierda, rectangular.*

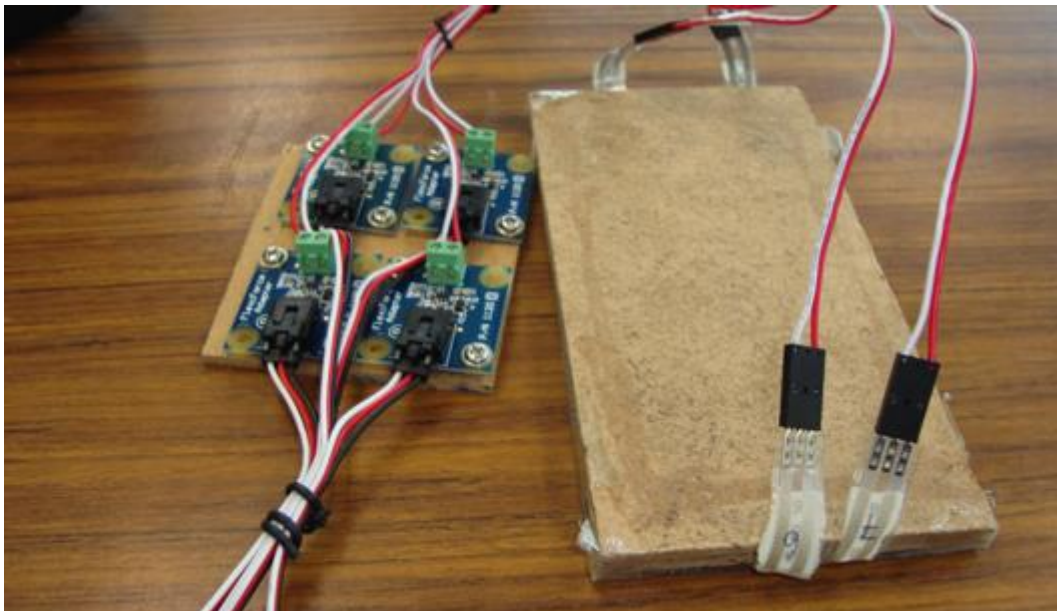
Se observa en las Figuras 44 y 45 que la ubicación del ZMP es simétrica, teniendo como diferencia que la magnitud de este mismo en el extremo izquierdo es mayor, esto se debe a que el porcentaje de tolerancia para cada sensor es diferente por las propiedades intrínsecas del material, por lo que la diferencia de lecturas con un mismo peso puede presentarse.



*Figura 46. Análisis del ZMP con el peso en el centro, rectangular.*

En la Figura 46 se observa la simetría del arreglo y que la respuesta de los sensores no difieren significativamente unos de otros, ubicando al ZMP a la mitad de la plantilla.

En la Figura 47 se observa el prototipo de la plantilla rectangular con los adaptadores correspondientes.



*Figura 47. Prototipo de Plantilla con arreglo rectangular.*

## 4.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al comparar los datos de ambas plantillas, se concluye que los resultados más exactos son los proporcionados por los del arreglo rectangular, ya que presenta simetría abarcando la mayoría de la superficie de la plantilla, además no presenta inconvenientes como en el arreglo triangular, que debido a la colocación de un único sensor a la mitad del extremo izquierdo provoca que al concentrar el peso en la parte delantera o trasera de la plantilla se produzca un ligero levantamiento de la misma, debido a que la longitud que se encuentra sin el soporte proporcionado por las gomas del sensor es muy grande; este pequeño despegue de la plantilla puede traer como consecuencia un desequilibrio en el momento del caminado y los sensores estarían proporcionando datos incorrectos.

Otra ventaja del arreglo rectangular es que al incorporar una mayor cantidad de sensores se podría tener una mayor resolución en términos de la obtención del ZMP, pues al incorporar más sensores, hay más señales que sirven de referencia en el cálculo tanto de la magnitud como de la ubicación de este punto, que en conjunto con los acelerómetros, proporcionarían información suficiente para analizar el comportamiento del humanoide en el caminado; debido a que se tendría información de la inclinación y la cantidad de presión que se ejerce en una posición determinada.

Al construir prototipos se busca implementar algoritmos que nos proporcionen, en este caso, información sobre el ZMP de una manera rápida y confiable, debido a esto existen mejoras en las que se deben de trabajar para obtener un producto final, como ejemplo el material de construcción, pues existen otros productos que son mucho más ligeros y resistentes, cualidades muy importantes a tomar en cuenta, pues si la plantilla sufre alguna deformación por una carga muy pesada en el centro, se introduce un factor que deforma la plantilla interfiriendo con las señales de salida, reflejándose en una pérdida de información de la presión total.

Así mismo proponer nuevas configuraciones de plantillas, que incorporen una mayor cantidad de sensores y observar de qué manera afecta la ubicación del ZMP, analizando la mínima cantidad de sensores posibles para obtener información suficiente en un espacio pequeño como lo es la plantilla del Mex-One.

## REFERENCIAS:

- [1]: Zaldivar, Daniel. Desig Humanoids Robotics (1<sup>a</sup>.Edición), Göttingen: Cuvillier. Alemania: 2007
- [2]: Honda Motor Co. “New Asimo Debut”. Asimo Technical Information (Septiembre, 2007), pp 24 – 30.
- [3]: Guerrero, Antonio. “Receptores Táctiles Artificiales”. Estudio De Los Sensores Táctiles Artificiales Aplicados A La Robótica De Agarre (Septiembre, 2000), pp 2 – 3.
- [4]: EIA-CES. “Galgas Extensiométricas”. Sensores y transductores Versión 1 (2007), pp 14 – 21
- [5]: EIA-CES. “Sensores Piezoeléctricos”. Sensores y transductores Versión 1 (2007), pp 28 – 31
- [6]: EIA-CES. “Sensores FSR”. Sensores y transductores Versión 1 (2007), pp 7 – 11
- [7] : Larson, Jarol. Introducción a la Teoría de Probabilidades e Inferencia Estadística (9<sup>a</sup> Edición), Limusa- Grupo Noriega Editores. México: 1992

# ANEXOS

## Anexo 1: Fuente de alimentación LS 150-15



- ◆ High MTBF up to 700 000 hours
- ◆ Superior operating temperature performance up to 70 °C
- ◆ Very High efficiency up to 87%
- ◆ Very Low Cost
- ◆ Compact
- ◆ Withstands 300VAC surges (5s)
- ◆ Three Year Warranty

### LS Series Single Output General Purpose Power Supplies

#### Key Market Segments & Applications

- Test & Measurement
- Automated Service
- Factory Automation
- General Purpose
- LED Lighting & Displays

#### LS Features and Benefits

##### Features

- ◆ High MTBF
- ◆ High Efficiency
- ◆ -25 to +70 deg C Operating Temperature
- ◆ Low Derating above 50 degs C (up to 70% load available at 70° C)
- ◆ Curve B emc

##### Benefits

- ◆ Superior Reliability
- ◆ Easier System Cooling
- ◆ Suitable for Indoor & Outdoor Enclosures
- ◆ Improved System Power Optimisation
- ◆ Assists System Compliance

#### Specifications

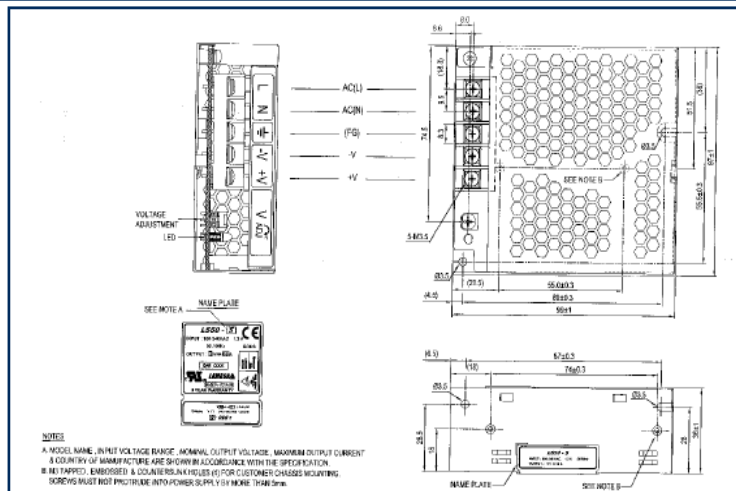
		LS50	LS75	LS100	LS150
Items					
AC Input Voltage (300VAC for 5s)	VAC	88 - 264VAC			88-132/176-264VAC(1)
Input Frequency	Hz	47 - 63Hz			
DC Input Voltage	VDC	125 - 373VDC			248 - 273VDC
Inrush Current (230VAC, cold start)	A	40	40	60	40
Power Factor	-	Meets EN61000-3-2, -3			
Input Current (115/230VAC)	A	1.3 / 0.8	1.6 / 1.0	2.2 / 1.2	3.5 / 2
Temperature Coefficient	-	<0.02%/°C (0 - 50°C)			
Overcurrent Protection	-	> 110%			
Overvoltage Protection	V	3.3V: 3.8-4.45V, 5V: 5.75-6.75V, 12V: 13.8-16.2V, 15V: 17.25-20.25V, 24V: 27.6-32.4V, 36V: 41.4-48.6V, 48V: 55.2-64.8V			
Hold Up Time (115 / 230V input)	ms	14 / 60	14 / 60	25 / 150	20 / 28
Leakage Current (230VAC 60Hz)	mA	<1mA			
Remote Sense	-	No			
LED Indicator	-	Green LED = On			
Operating Temperature	--	-25 to +70°C. Derate linearly to 50% load from +50 to +70°C (2)			
Storage Temperature	-	-40 to +85°C			
Operating Humidity	-	20 - 90% RH (non condensing)			
Storage Humidity	-	10 - 95% RH (non condensing)			
Cooling	-	Convection			
Withstand Voltage	-	Input to Ground 1.5kVAC, Input to Output 3kVAC, Output to Ground 500VAC for 1 min.			
Isolation Resistance	-	> 100M at 25C & 70%RH, Output to Ground 500VDC			
Vibration (non operating)	-	10 - 55Hz: 19.6m/s2 constant sweep 1 min X, Y, Z for 1 hour			
Shock	-	< 196.1 m/s2 (20G)			
Immunity	-	IEC61000-4-2, -3, -4, -5, -6, -8, -11			
Safety Agency Approvals	-	UL60950-1, EN60950-1, IEC60950-1, CE Mark			
Conducted & Radiated EMI	-	EN55011/EN55022-B, FCC-B			
MTBF (MIL-HDBK-217F)		712,890	648,786	545,375	505,393
Weight (Typ)	g	350	410	600	700
Size (LxWxH)	mm	99 x 97 x 36	130 x 97 x 39	160 x 97 x 39	201 x 99 x 39
Warranty	yrs	Three Years			

## Model Selector

Model	Voltage	Adjust Range (V)	Max Current (A)	Load Reg (mV)	Line Reg (mV)	Ripple Noise (mV)	Efficiency (typ) %
LS50-3.3	3.3V	3.0 - 3.6	10	40	20	80	75
LS50-5	5V	4.75 - 5.5	10	40	20	80	80
LS50-12	12V	10.8 - 13.2	4.2	96	48	120	84
LS50-15	15V	13.5 - 16.5	3.4	120	60	120	85
LS50-24	24V	22 - 27.2	2.2	192	96	120	86
LS50-36	36V	32 - 40	1.4	288	144	150	86
LS50-48	48V	42 - 54	1.1	384	192	200	86
LS75-3.3	3.3V	3.0 - 3.6	15	40	20	80	75
LS75-5	5V	4.75 - 5.5	12	40	20	80	79
LS75-12	12V	10.8 - 13.2	6	96	48	120	84
LS75-15	15V	13.5 - 16.5	5	120	60	120	85
LS75-24	24V	22 - 27.2	3.2	192	96	120	86
LS75-36	36V	32 - 40	2.1	288	144	150	86
LS75-48	48V	42 - 54	1.6	384	192	200	87
LS100-3.3	3.3V	3.0 - 3.3	20	40	20	80	75
LS100-5	5V	4.75 - 5.5	16	40	20	80	79
LS100-12	12V	10.8 - 13.2	8.5	96	48	120	82
LS100-15	15V	13.5 - 16.5	7	120	60	120	84
LS100-24	24V	22 - 27.2	4.5	192	96	120	86
LS100-36	36V	32 - 40	3	288	144	150	86
LS100-48	48V	42 - 54	2.3	384	192	200	86
LS150-3.3	3.3V	3.0 - 3.3	30	40	20	80	75
LS150-5	5V	4.75 - 5.5	26	40	20	80	79
LS150-12	12V	10.8 - 13.2	12.5	96	48	120	83
LS150-15	15V	13.5 - 16.5	10	120	60	120	85
LS150-24	24V	22 - 27.2	6.5	192	96	120	86
LS150-36	36V	32 - 40	4.3	288	144	150	87
LS150-48	48V	42 - 54	3.3	384	192	200	87

- (1) Switch selectable for 115 or 230VAC  
 (2) LS50, LS75-3 & -5: Derate linearly to 70% load from +50 to +70°C.  
 LS75-12,-15,-24,-36,-48: Derate linearly to 60% load from +50 to +70°C.  
 LS100-3 & 5: Derate linearly to 60% load from +45 to +70°C.  
 LS100-12,-15,-24,-36,-48: Derate linearly to 60% load from +50 to -70°C.  
 LS150-3 & 5: Derate linearly to 50% load from +40 to -70°C.  
 LS150-12,-15,-24,-36,-48: Derate linearly to 70% load from +50 to -70°C.

## LS50 Outline Drawing



## Anexo 2: Fuente de alimentación LS 35-12

### Features

- ◆ Very low cost
- ◆ 25W to 150W
- ◆ Small size
- ◆ 115VAC or 230VAC input
- ◆ Withstands 300VAC surges (5s)
- ◆ Three year warranty



### Key Market Segments & Applications



Specifications		LS25	LS35	LS50	LS75	LS100	LS150	
AC Input Voltage (300VAC for 5s)	VAC	88 - 264VAC (See note (2) for LS100)					88-132/176-264VAC(1)	
Input Frequency	Hz	47 - 63Hz						
DC Input Voltage	VDC	125 - 373VDC					248 - 273VDC	
Inrush Current (230VAC, cold start)	A	30	40	40	40	60	40	
Power Factor	-	Meets EN61000-3-2, -3						
Input Current (115/230VAC)	A	0.7 / 0.4	0.8 / 0.55	1.3 / 0.8	1.6 / 1.0	2.2 / 1.2	3.5 / 2	
Temperature Coefficient	-	<0.02%/°C						
Overcurrent Protection	-	> 110%						
Overvoltage Protection	V	3.3V: 3.8-4.45V, 5V: 5.75-6.75V, 12V: 13.8-16.2V, 15V: 17.25-20.25V, 24V: 27.6-32.4V, 36V: 41.4-48.6V, 48V: 55.2-64.8V						
Hold Up Time (115 / 230V input)	ms	14 / 80	12 / 80	14 / 60	14 / 60	25 / 150	20 / 28	
Leakage Current (230VAC 60Hz)	mA	<1mA						
Remote Sense	-	No						
LED Indicator	-	Green LED = On						
Operating Temperature	°C	-25 to +70°C. Derate linearly to 50% load from +50 to +70°C (2)						
Storage Temperature	°C	-40 to +85°C						
Operating Humidity	-	20 - 90% RH (non condensing)						
Storage Humidity	-	10 - 95% RH (non condensing)						
Cooling	-	Convection						
Withstand Voltage	-	Input to Ground 1.5kVAC, Input to Output 3kVAC, Output to Ground 500VAC for 1 min.						
Isolation Resistance	-	>100M at 25C & 70%RH, Output to Ground 500VDC						
Vibration (non operating)	-	10 - 55Hz: 19.6m/s <sup>2</sup> constant sweep 1 min X, Y, Z for 1 hour						
Shock	-	< 196.1 m/s <sup>2</sup> (20G)						
Immunity	-	IEC61000-4-2, -3, -4, -5, -6, -8, -11						
Safety Agency Approvals	-	UL60950-1, EN60950-1, IEC60950-1, CE Mark						
Conducted & Radiated EMI	-	EN55011/EN55022-B, FCC-B						
MTBF (MIL-HDBK-217F)	hrs	906,997	706,464	712,890	648,786	545,375	505,393	
Weight (Typ)	g	170	270	350	410	600	700	
Size (LxWxH)	in	3.1 x 2.0 x 1.1	3.9 x 3.2 x 1.4	3.9 x 3.8 x 1.4	5.1 x 3.8 x 1.5	6.3 x 3.8 x 1.5	7.8 x 3.9 x 1.5	
Warranty	yrs	Three Years						



Output Ratings							
Model	Voltage	Adjust Range (V)	Max Current (A)	Load Reg (mV)	Line Reg (mV)	Ripple Noise (mV)	Efficiency (typ) %
LS25-3.3	3.3V	2.85 - 3.6	6.0	40	20	80	75
LS25-5	5V	4.5 - 5.5	5.0	40	20	80	79
LS25-12	12V	10.8 - 13.2	2.1	96	48	120	83
LS25-15	15V	13.5 - 16.5	1.7	120	60	120	83
LS25-24	24V	22 - 27.6	1.1	192	96	120	84
LS25-36	36V	32 - 40	0.75	288	144	150	84
LS25-48	48V	42 - 54	0.57	384	192	200	85
LS35-3.3	3.3V	2.85 - 3.6	7.0	40	20	80	75
LS35-5	5V	4.5 - 5.5	7.0	40	20	80	78
LS35-12	12V	10.8 - 13.2	3.0	96	48	120	82
LS35-15	15V	13.5 - 16.5	2.4	120	60	120	83
LS35-24	24V	22 - 27.6	1.5	192	96	120	84
LS35-36	36V	32 - 40	1.0	288	144	150	84
LS35-48	48V	42 - 54	0.8	384	192	200	84
LS50-3.3	3.3V	3.0 - 3.6	10.0	40	20	80	75
LS50-5	5V	4.75 - 5.5	10.0	40	20	80	80
LS50-12	12V	10.8 - 13.2	4.2	96	48	120	84
LS50-15	15V	13.5 - 16.5	3.4	120	60	120	85
LS50-24	24V	22 - 27.2	2.2	192	96	120	86
LS50-36	36V	32 - 40	1.4	288	144	150	86
LS50-48	48V	42 - 54	1.1	384	192	200	86
LS75-3.3	3.3V	3.0 - 3.6	15.0	40	20	80	75
LS75-5	5V	4.75 - 5.5	12.0	40	20	80	79
LS75-12	12V	10.8 - 13.2	6.0	96	48	120	84
LS75-15	15V	13.5 - 16.5	5.0	120	60	120	85
LS75-24	24V	22 - 27.2	3.2	192	96	120	86
LS75-36	36V	32 - 40	2.1	288	144	150	86
LS75-48	48V	42 - 54	1.6	384	192	200	87
LS100-3.3	3.3V	3.0 - 3.6	20.0	40	20	80	75
LS100-5	5V	4.75 - 5.5	16.0	40	25	80	79
LS100-12	12V	10.8 - 13.2	8.5	96	48	120	82
LS100-15	15V	13.5 - 16.5	7.0	120	60	120	84
LS100-24	24V	22 - 27.2	4.5	192	96	120	86
LS100-36	36V	32 - 40	3.0	288	144	150	86
LS100-48	48V	42 - 54	2.3	384	192	200	86
LS150-3.3	3.3V	3.0 - 3.6	30.0	40	20	80	75
LS150-5	5V	4.75 - 5.5	26.0	40	20	80	79
LS150-12	12V	10.8 - 13.2	12.5	96	48	120	83
LS150-15	15V	13.5 - 16.5	10.0	120	60	120	85
LS150-24	24V	22 - 27.2	6.5	192	96	120	86
LS150-36	36V	32 - 40	4.3	288	144	150	87
LS150-48	48V	42 - 54	3.3	384	192	200	87

### Anexo 3: Especificaciones de la computadora ATHM 800-256 A

## CPU SPECIFICATIONS

<b>Processor</b>	VIA Mark CoreFusion CPU operating at 500MHz or 800MHz
<b>Chipset</b>	VT8606(Mark internal) + 82C686B
<b>Memory</b>	256MB
<b>Bus Interface</b>	PC/104 (ISA)
<b>Display Type</b>	CRT and / or 18-bit LVDS flat panel
<b>CRT Resolution</b>	1600 x 1200
<b>Flat panel Resolution</b>	UXGA 1600 x 1200
<b>Video Memory</b>	32MB UMA
<b>USB Ports</b>	(4) USB 1.1
<b>Serial Ports</b>	(2) RS-232, (2) RS-232/485
<b>Networking</b>	10/100 Ethernet
<b>Mass Storage Interface</b>	IDE UDMA 33 with Flashdisk interfaces
<b>Keyboard / Mouse</b>	PS/2
<b>Audio</b>	AC '97, line-in, line-Out, mic
<b>Input power</b>	5V DC $\pm$ 5%
<b>Power Consumption</b>	10W
<b>Operating Temperature</b>	-40°C to +85°C most models -40°C to +70°C two models
<b>Dimensions</b>	4.175" x 4.475" (106mm x 114mm)
<b>Weight</b>	133g without heatsink
<b>RoHS</b>	Compliant

## DATA ACQUISITION SPECIFICATIONS

### ANALOG INPUTS

Inputs / resolution	16, 16-bit A/D resolution
Max Sample Rate	100KHz total
Input modes	Single-ended, differential
Input ranges	$\pm 10V$ , $\pm 5V$ , $\pm 2.5V$ , $\pm 1.25V$ , 0-10V, 0-5V, 0-2.5V, 0-1.25V,
Accuracy	$< \pm 2\text{LSB}$ after autocalibration
On-board FIFO	2048 samples, programmable threshold
Analog Calibration	Autocalibration

### ANALOG OUTPUTS

Outputs / resolution	4 outputs, 12-bit D/A resolution
Output ranges	$\pm 5V$ , $\pm 10V$ , 0-5V, 0-10V
Settling time	7 $\mu$ S to $\pm 0.01\%$
Output current	$\pm 5\text{mA}$ max, 2k $\Omega$ min load

### DIGITAL I/O

Lines	24 lines, 5V logic compatible
Direction	Programmable in 8-bit ports
Output current	0: 12mA max; 1: -4mA max

### COUNTER TIMERS

Counter / timers	1 24-bit A/D sample rate control; 1 16-bit general purpose
------------------	--

## Anexo 4: Especificaciones de la computadora PSDC 20-1024 A

### CPU SPECIFICATIONS

<b>Processor</b>	1.0GHz VIA Eden	2.0GHz VIA C7
<b>Power Consumption (maximum)</b>	24W with DAQ 22 w/o DAQ	31W with DAQ 29 w/o DAQ
<b>Cooling</b>	Heat sink, no fan	Heat sink + fan
<b>Op. Temperature</b>	-40°C to +75°C	
<b>Chipset</b>	VIA CX700	
<b>FSB</b>	400MHz	
<b>Memory</b>	512MB to 1GB 533MHz DDR2	
<b>Bus Interface</b>	PC/104-Plus (ISA + PCI)	
<b>Display Type</b>	CRT and / or 24-bit dual channel LVDS flat panel	
<b>CRT Resolution</b>	2048 x 1536	
<b>Flat panel Resolution</b>	UXGA 1600 x 1200	
<b>Video Memory</b>	128MB UMA	
<b>USB Ports</b>	(4) USB 2.0	
<b>Serial Ports</b>	(2) RS-232, (2) RS-232/422/485	
<b>Networking</b>	Gigabit Ethernet	
<b>Mass Storage LFC</b>	(1) S-ATA, (1) IDE UDMA 100, Flashdisk interface	
<b>Keyboard / Mouse</b>	PS/2	
<b>Audio</b>	MC '97, Line-in, Line-Out, Mic Amplified speaker interface	
<b>Dimensions</b>	4.528" x 6.496" (115mm x 165mm)	
<b>Weight</b>	8.6 oz	9.0 oz
<b>Input power</b>	5v ±5%	

## DATA ACQUISITION SPECIFICATIONS

ANALOG INPUTS	
<b>Number of inputs</b>	32 single-ended, 16 differential, or 16 SE + 8 DI; user selectable
<b>A/D resolution</b>	16 bits
<b>Input ranges</b>	$\pm 10V$ , $\pm 5V$ , $\pm 2.5V$ , $\pm 1.25V$ , $\pm 0.625V$ , 0-10V, 0-5V, 0-2.5V, 0-1.25V, 0-.625V
<b>Max Sample Rate</b>	250KHz
<b>Protection</b>	$\pm 35V$ on any analog input without damage
<b>Nonlinearity</b>	$\pm 3LSB$ , no missing codes
<b>On-board FIFO</b>	1024 samples, programmable threshold
<b>A/D and D/A Calibration</b>	Automatic using on-board microcontroller and temp sensor
ANALOG OUTPUTS	
<b>Number of outputs</b>	4, 12-bit resolution
<b>Output ranges</b>	$\pm 5V$ , $\pm 10V$ , 0-5V, 0-10V
<b>Output current</b>	$\pm 5mA$ max per channel
<b>Settling time</b>	6 $\mu$ S max to 0.01%
<b>Relative accuracy</b>	$\pm 1$ LSB
<b>Nonlinearity</b>	$\pm 1$ LSB, monotonic
<b>Reset</b>	Reset to zero-scale or mid-scale (jumper selectable)
<b>Waveform buffer</b>	1,024 samples
DIGITAL I/O	
<b>No. of I/O lines</b>	24 programmable direction
<b>Input voltage</b>	Logic 0: 0.0V min, 0.8V max Logic 1: 2.0V min, 5.0V max
<b>Input current</b>	$\pm 1\mu A$ max
<b>Output voltage</b>	Logic 0: 0.0V min, 0.33V max Logic 1: 2.4V min, 5.0V max
<b>Output current</b>	Logic 0: 64mA max per line Logic 1: -15mA max per line
COUNTER / TIMERS	
<b>A/D Pacer clock</b>	32-bit down counter (2 82C54 counters cascaded)
<b>Clock source</b>	10MHz on-board clock or external signal
<b>General purpose</b>	16-bit down counter (1 82C54 counter)

## Anexo 5: Código de Modelado de Circuitos

```
function vout=fsrprueba()
close all
rx=50000;
vin=5;
m=.000125;
b=0.0025;
vi=-5;
t=0:1:120;
vs=0.5;
rf=50000;

for F=1:length(t);

vout(F)=(rx/((1000*(1/(m*F+b)))+rx))*vin
y(F)=m*F+b;
vol(F)=(-(rx/(1000*(1/(m*F+b)))*vi))

end

figure;
plot(t,vout,'r')
    xlabel('Peso (Libras)','fontsize',11);
    ylabel('Voltaje de Salida','fontsize',11);
    title('\it FSR Respuesta Divisor de
Voltaje','fontsize',14);grid;

figure;
plot(t,vol)
    xlabel('Peso (Libras)','fontsize',11);
    ylabel('Voltaje de Salida','fontsize',11);
    title('\it FSR Circuito
Flexiforce','fontsize',14);grid;

end
```

## Anexo 6: Código de Regresión por Mínimos Cuadrados

```
function pesas3()
%%Prueba 1
clc
clear
close all

%% Ingreso de muestras.
y =
[.351, .449, .679, .694, .791, .806, .962, 1.124, 1.285, 1.265, 1.
.353, 1.520, 1.578, 1.603, 1.739, 1.852];

x =
[2.5, 5, 7.5, 10, 12.5, 15, 17.5, 20, 22.5, 25, 27.5, 30, 32.5, 35, 3
7.5, 40];

%% Promedio de las muestras.
yp = mean(y);

xp = mean(x);

%% Contador para la constante b.
N = 0; D = 0;

for i=1: length(x)
    N = N + (x(i)-xp)*(y(i)-yp);
    D = D + (x(i)-xp)^2;
end

%% Creacion final de las contantes a y b.
b = N/D;
a = yp-b*xp;

%% Grafica de señales.
figure;
plot(x,y, '*r', 'Linewidth', 2)
    xlabel('Peso (Libras)', 'fontsize', 15);
    ylabel('Voltaje de Salida', 'fontsize', 15);
    title('\it Sensor 1', 'fontsize', 14); grid;
    hold on
x1 = linspace(min(x), max(x), 1000);
plot(x1, a+b*x1, 'Linewidth', 2);
grid on
legend('\bfMuestras no linealizadas', '\bfMuestras
linealizadas');
```

```

%Ecuación 1:
[px, py] = ginput();

f1 = text('Interpreter', 'Latex', 'Position', [px(1)
py(1)], 'String', '$$y = a+bx$$', 'FontSize', 15);

H = strcat('$$ y = ', num2str(a), '+', num2str(b), 'x',
'$$');

f2 = text('Interpreter', 'Latex', 'Position', [px(2)
py(2)], 'String', H, 'FontSize', 15);

```

## Anexo 7: Código de interfaz para los resultados del ZMP (Arreglo Rectangular)

```

function zmp4()
delete(instrfind({'Port'}, {'COM3'}));
s = serial('COM3', 'BaudRate', 9600, 'Terminator', 'CR/LF');
warning('off', 'MATLAB:serial:fscanf:unsuccessfulRead');
fopen(s); %abrir puerto

i = 1;
%%%%%%%%%%

while (true)

P = fscanf(s, '%d,%d,%d,%d'); % leer del puerto serie

a1=[1,1,14.5,14.5;1,1,14.5,14.5];
b1=[1,7,1,7;1,7,1,7];
c1=[0,0,0,0;P(1)*1/1000,P(2)*1/1000,P(3)*1/1000,P(4)*1/
1000];

px=a1(1,1)*c1(2,1)+a1(1,2)*c1(2,2)+a1(1,3)*c1(2,3)+a1(1
,4)*c1(2,4);
py=b1(1,1)*c1(2,1)+b1(1,2)*c1(2,2)+b1(1,3)*c1(2,3)+b1(1
,4)*c1(2,4);
pc= c1(2,1)+c1(2,2)+c1(2,3)+c1(2,4);
px1=px/pc;
py1=py/pc;
a=[1,1,14.5,14.5,px1;1,1,14.5,14.5,px1];
b=[1,7,1,7,py1;1,7,1,7,py1];
c=[0,0,0,0,0;P(1)*1/1000,P(2)*1/1000,P(3)*1/1000,P(4)*1
/1000,pc];

```



```

figure(gcf);
plot3(a,b,c,'LineWidth',3);
xlabel('x');
ylabel('y');
zlabel('z');
axis([0 15.5 0 8 0 1.5]);
grid on

        drawnow
        i = i+1;
end
%%%%%%%%%%

delete(instrfind);
fclose(s);
delete(s);
clear s;

```