

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
DE GUATEMALA**

Facultad de Ingeniería



**MOTRICIDAD DE LA BASE
PARA EL MODELO DE EXPERIMENTACIÓN E INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA
PARA MEDICIÓN DE PRESIÓN DEL TÚNEL DE VIENTO MODELO 303
DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

Trabajo de investigación en la modalidad de tesis

presentado por

MARCO TULIO GUZMÁN PORTILLO

para optar al grado académico de

Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala

2013

MOTRICIDAD DE LA BASE PARA EL MODELO DE
EXPERIMENTACIÓN E INSTRUMENTACIÓN
ELECTRÓNICA PARA MEDICIÓN DE PRESIÓN DEL
TÚNEL DE VIENTO MODELO 303A DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
DE GUATEMALA**

Facultad de Ingeniería



**MOTRICIDAD DE LA BASE
PARA EL MODELO DE EXPERIMENTACIÓN E INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA
PARA MEDICIÓN DE PRESIÓN DEL TÚNEL DE VIENTO MODELO 303
DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

Trabajo de investigación en la modalidad de tesis

presentado por

MARCO TULIO GUZMÁN PORTILLO


para optar al grado académico de

Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala


2013

Vo. Bo. :


(f)  _____

Ing. Gustavo Prera

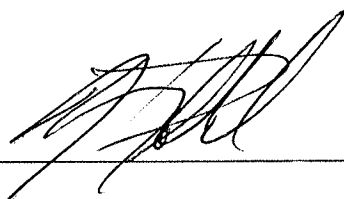
Tribunal Examinador:

(f)  _____

Ing. Gustavo Prera

(f)  _____

Ing. Roberto Delgado

(f)  _____

MSc. Victor Hugo Ayerdi

Fecha de aprobación: Guatemala 3 de diciembre de 2013.

PREFACIO

El Proyecto *MOTRICIDAD DE LA BASE PARA EL MODELO DE EXPERIMENTACIÓN E INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA PARA MEDICIÓN DE PRESIÓN DEL TÚNEL DE VIENTO MODELO 303A DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA* estuvo basado en mi interés por automatizar dicho túnel, ya que el mismo no contaba con ningún instrumento de medición, lo cual hacía imposible prácticas de laboratorio en él. Mi deseo era presentar de forma clara, correcta y completa lo que es el sistema de medición y el movimiento de la base del modelo de experimentación. Me he apegado a los objetivos planteados en el protocolo del trabajo de graduación.

Lo más importante en este trabajo y quizá novedoso es que con los instrumentos aplicados, el túnel de viento quedó listo para cumplir su cometido, que es la experimentación de cómo es el comportamiento de los objetos en el aire y así los estudiantes de la universidad puedan hacer uso de él. Es interesante, además, la experimentación en el túnel de viento porque se puede comprobar la teoría de fluidos, que anteriormente, solamente quedaba en teoría, lo que redundará en el interés de los estudiantes propios y extraños en el tema de la aerodinámica y túneles de viento.

Para el desarrollo del trabajo se requirió un instrumento de medición de presión diferencial, así también un actuador lineal, que fueron importados de Estados Unidos, por carecer de los mismos en el mercado guatemalteco; no obstante, el resto de componentes fueron adquiridos en el mercado guatemalteco.

Es mi deseo brindar un agradecimiento a mi Asesor, Gustavo Prera, al personal de los Departamentos de Ingeniería Mecatrónica, de Ingeniería Mecánica, de Ingeniería Civil de la Universidad del Valle de Guatemala, por brindarme siempre el apoyo necesario para la realización de este trabajo de graduación.

ÍNDICE

| | Página |
|--|--------|
| Prefacio | v |
| Lista de tablas | vii |
| Lista de ilustraciones | viii |
| Resumen | xi |
| I. Introducción | 1 |
| II. Objetivos..... | 2 |
| A. Generales: | 2 |
| B. Específicos:..... | 2 |
| III. Justificación | 4 |
| IV. Marco teórico..... | 5 |
| A. Introducción a los túneles de viento..... | 5 |
| B. Presión | 9 |
| V. Metodología..... | 16 |
| A. Movimiento rotacional del modelo de experimentación..... | 17 |
| B. Presión en la recámara de experimentación | 38 |
| VI. Resultados..... | 61 |
| A. Movimiento rotacional de la base de experimentación del modelo: | 61 |
| B. Presión: | 66 |
| VII. Análisis de resultados | 70 |
| A. Movimiento del modelo:..... | 70 |
| B. Sensor de presión:..... | 73 |
| VIII. Conclusiones..... | 75 |
| IX. Recomendaciones | 77 |
| X. Bibliografía | 78 |
| XI. Anexos | 80 |
| A. Diseño del mecanismo No.2: | 80 |
| B. Información técnica para utilización de los submenús de interés. | 90 |
| C. Hoja de datos del Sensor Dwyer DH-008. | 95 |
| D. Actuador Lineal Firgelli L16-P..... | 115 |
| E. Plana Unificadora del Circuito..... | 118 |
| XII. Glosario..... | 119 |

LISTA DE TABLAS

| | Página |
|--|--------|
| 1. Tabla 1. Componentes para la construcción de Mecanismo No.1..... | 18 |
| 2. Tabla 2. Especificaciones del tubo flexible..... | 19 |
| 3. Tabla 3. Componentes para construir el mecanismo No.2..... | 23 |
| 4. Tabla 4. Opciones de actuador lineal..... | 23 |
| 5. Tabla 5 : Selección de mecanismo matriz de Pugh..... | 25 |
| 6. Tabla 6 : Criterios de selección para la matriz de Pugh..... | 25 |
| 7. Tabla 7. Tabla de comparación de microcontroladores..... | 32 |
| 8. Tabla 8 : Matriz de selección de Pugh, para microcontroladores..... | 32 |
| 9. Tabla 9 : Criterios para la matriz de selección de Pugh..... | 33 |
| 10. Tabla 10. Tabla de conexiones de 3 circuitos diferentes..... | 35 |
| 11. Tabla 11. Tabla de características del sensor SDP600/610..... | 39 |
| 12. Tabla 12. Tabla de características del sensor SDP1000..... | 40 |
| 13. Tabla 13. Tabla de características del sensor DH-008 Dwyer..... | 40 |
| 14. Tabla 14. Tabla de calificación de las propuestas de los sensores para medir presión. | 40 |
| 15. Tabla 15 : Tabla de matriz de selección de Pugh para el sensor de presión..... | 41 |
| 16. Tabla 16 : criterios de selección de la matriz de Pugh para sensor de presión..... | 41 |
| 17. Tabla 17. Datos valor digital del potenciómetro y ángulo respectivo..... | 61 |
| 18. Tabla 18. Datos valor digital del potenciómetro y ángulo respectivo según valor digital..... | 62 |
| 19. Tabla 19. Datos valor digital del potenciómetro y ángulo respectivo según valor digital..... | 63 |
| 20. Tabla 20. Tabla de conversión de valor digital para envío de datos..... | 64 |
| 21. Tabla 21. Tabla de presión vs corriente de salida del sensor..... | 66 |
| 22. Tabla 22. Presión mostrada en el display vs voltaje de salida del conversor. | 67 |
| 23. Tabla 23. Presión mostrada en el display vs valor digital respectivo. | 68 |
| 24. Tabla 24. Velocidades en las diferentes partes de la recámara de experimentación..... | 69 |
| 25. Tabla 25. Datos necesarios para obtención de factor de corrección y factor de corrección. | 69 |

LISTA DE ILUSTRACIONES

Página

| | |
|--|----|
| 1. Ilustración 1. Túnel de viento con retorno..... | 7 |
| 2. Ilustración 2. Túnel de viento cerrado con retorno..... | 8 |
| 3. Ilustración 3. Tipos de presión..... | 10 |
| 4. Ilustración 4. Piezómetro (manómetro Simple)..... | 11 |
| 5. Ilustración 5. Tipos de montaje para el modelo de experimentación..... | 14 |
| 6. Ilustración 6. Cuadro de flujo de la metodología (orden en cómo va la metodología)..... | 16 |
| 7. Ilustración 7. Movimiento rotacional del modelo..... | 17 |
| 8. Ilustración 8. Mecanismo de movimiento del modelo..... | 17 |
| 9. Ilustración 9. Mecanismo de movimiento del modelo versión real..... | 18 |
| 10. Ilustración 10. Servo Motor GWS (referencia representativa de un servo)..... | 18 |
| 11. Ilustración 11. Tubo flexible para eje del modelo en mecanismo No.1..... | 19 |
| 12. Ilustración 12. Hilo de caya de pescar (rollo de sedal)..... | 19 |
| 13. Ilustración 13. Diseño de mecanismo No.2 para mover el modelo de experimentación..... | 20 |
| 14. Ilustración 14. Mecanismo en vida real..... | 20 |
| 15. Ilustración 15. Vista en perfil del mecanismo..... | 21 |
| 16. Ilustración 16. Lugar en el cual se debe poner la base del modelo de experimentación..... | 21 |
| 17. Ilustración 17. Altura a la que debe estar la base del modelo de experimentación..... | 22 |
| 18. Ilustración 18. Esquema de la base del modelo de experimentación para cálculos de su rotación..... | 22 |
| 19. Ilustración 19. Actuador lineal Firgelli L16-P..... | 23 |
| 20. Ilustración 20. Barra roscada..... | 24 |
| 21. Ilustración 21. Ejemplo de cómo se comporta el fluido según el ángulo de ataque..... | 24 |
| 22. Ilustración 22 : Gráfico de datos de selección de matriz de Pugh..... | 26 |
| 23. Ilustración 23. Ejemplificación del movimiento del actuador lineal..... | 26 |
| 24. Ilustración 24. Ejemplificación de como rota la base del modelo de experimentación..... | 27 |
| 25. Ilustración 25. Base para el modelo de experimentación..... | 27 |
| 26. Ilustración 26. Vista de perfil de la base del modelo de experimentación..... | 28 |
| 27. Ilustración 27: Esquema de cálculo de la base de experimentación..... | 28 |
| 28. Ilustración 28. Pic 16F887 esquematizado..... | 30 |
| 29. Ilustración 29. Pic 16F84A esquematizado..... | 30 |
| 30. Ilustración 30. Arduino UNO vista de planta..... | 31 |
| 31. Ilustración 31 : Gráfico de matriz de selección de Pugh para microcontroladores..... | 33 |
| 32. Ilustración 32. Vista de planta del módulo L298N “puente H”..... | 34 |

| | |
|--|----|
| 33. Ilustración 33. Esquematización del circuito de componentes para el funcionamiento del actuador lineal..... | 35 |
| 34. Ilustración 34: Programación del actuador lineal | 36 |
| 35. Ilustración 35: Interrupción de la comunicación I2C | 37 |
| 36. Ilustración 36. Funcionamiento de la comunicación I2C | 38 |
| 37. Ilustración 37. Sensor de presión diferencial (SDP600 series)..... | 39 |
| 38. Ilustración 38. Sensor de presión diferencial SDP1000..... | 39 |
| 39. Ilustración 39. Sensor de presión diferencial Dwyer serie DH-008..... | 40 |
| 40. Ilustración 40 : Gráfico de resultados de la matriz de selección de Pugh | 41 |
| 41. Ilustración 41.Vista trasera del sensor DH-008 Dwyer | 42 |
| 42. Ilustración 42. Tubo Pitot serie PAFS-1000 de Dwyer | 43 |
| 43. Ilustración 43. Parte trasera del tubo pitotPAFS-1000 | 43 |
| 44. Ilustración 44.Conector (manguera) | 44 |
| 45. Ilustración 45. Esquema del circuito convertidor de corriente a voltaje y cálculos respectivos | 45 |
| 46. Ilustración 46. Circuito conversor de corriente a voltaje..... | 46 |
| 47. Ilustración 47. Esquema del circuito RS485..... | 47 |
| 48. Ilustración 48. Esquema de utilización de Modbus RTU | 47 |
| 49. Ilustración 49. Esquema de la información que contiene cada serie de comunicación..... | 48 |
| 50. Ilustración 50. Esquema de funcionamiento de la comunicación Modbus RTU | 48 |
| 51. Ilustración 51.Instrucciones del MODBUS RTU. | 50 |
| 52. Ilustración 52. Ejemplo del mensaje de pregunta de la función 03 del MODBUS RTU | 50 |
| 53. Ilustración 53. Ejemplo de la respuesta de la función 03 de MODBUS RTU. | 51 |
| 54. Ilustración 54. Vista de planta de la recámara de experimentación. | 51 |
| 55. Ilustración 55. Vista de planta de la recámara de experimentación y posición del sensor de presión | 52 |
| 56. Ilustración 56. Comportamiento de la velocidad de un fluido no comprimible en un ducto rectangular..... | 52 |
| 57. Ilustración 57: Toma de datos del sensor DH-008 | 53 |
| 58. Ilustración 58: Diagrama de flujo del envío I2C de la información del sensor DH-008..... | 54 |
| 59. Ilustración 59. Programas de presión y movimiento de la base de experimentación unidos | 55 |
| 60. Ilustración 60. Interrupción para recibir ángulo desde el Master I2C..... | 60 |
| 61. Ilustración 61. Interrupción para enviar datos del sensor DH-008 vía I2C..... | 60 |
| 62. Ilustración 62. Gráfica valor digital del potenciómetro del actuador lineal vs ángulo..... | 62 |
| 63. Ilustración 63. Gráfica valor digital del potenciómetro del actuador lineal vs ángulo..... | 63 |
| 64. Ilustración 64. Gráfica valor digital del potenciómetro del actuador lineal vs ángulo..... | 64 |
| 65. Ilustración 65. Gráfica de valor digital convertido del potenciómetro del actuador lineal vs ángulo. | 65 |
| 66. Ilustración 66. Simulación en software de la base del modelo de experimentación, en donde se muestran los datos de fuerza de sustentación y arrastre. | 65 |
| 67. Ilustración 67. Gráfica de presión mostrada en el display vs corriente de salida del sensor..... | 66 |
| 68. Ilustración 68. Gráfica de presión mostrada en el display vs voltaje de salida del conversor..... | 67 |

| | |
|---|----|
| 69. Ilustración 69. Gráfico de presión vs valor digital..... | 68 |
| 70. Ilustración 70. Punto idóneo en donde se debe de colocar el sensor de presión diferencial. | 69 |

RESUMEN

En este trabajo se diseñó un mecanismo capaz de cambiar el ángulo de ataque de la base del modelo de experimentación y se realizó la implementación de un instrumento de medición de presión diferencial que permite conocer la presión adentro de la recámara de experimentación del túnel de viento 303 A.

La rotación del ángulo de ataque se implementó según el tipo de balanza que el túnel de viento tendría, en este caso fue una balanza externa. El mecanismo diseñado para la rotación del ángulo de ataque tuvo como componente principal un actuador lineal, el cual se utiliza para cambiar el ángulo de ataque de la base. Este fue montado en la balanza externa. El ángulo de ataque está relacionado linealmente con la posición del actuador. El actuador lineal puede ser controlado por una computadora. Es un diseño fácil de fabricar y barato, tomando en cuenta, que es para agregar al túnel de viento ya diseñado, ensamblado y existente en la Universidad del Valle de Guatemala, dándole suficiente exactitud para propósitos educativos.

Para la medición de presión diferencial en la recámara de experimentación se fabricó un circuito capaz de leer los datos del sensor y enviarlos a un microcontrolador, por medio de comunicación serial. Dichos datos podían ser leídos en una computadora para así monitorear la presión en la recámara de experimentación.

El fin último de este trabajo fue proveer de instrumentos a dicho túnel de viento, para que permitan la experimentación en él.

I. INTRODUCCIÓN

Los túneles de viento, además de medir las fuerzas aerodinámicas en los aviones, alas, vehículos, camiones, puentes y edificios, también se pueden utilizar para medir las fuerzas aerodinámicas en objetos de diferentes formas y objetos que requieran montaje. Algunos de los túneles de viento sencillos cuentan con equipos digitales para medición de presión, sensores de presión diferencial, sensores de fuerzas, y cambio de ángulo de ataque motorizado.

El túnel de viento modelo 303 A de la Universidad del Valle de Guatemala, no contaba con ningún instrumento de medición, lo que lo hacía inutilizable desde el punto de vista educativo y experimental. Este trabajo, sirvió para implementar en el túnel de viento, equipo de medición de presión y rotación del modelo.

El módulo de movimiento de la base del modelo de experimentación, consistió en el diseño y elaboración de un mecanismo que cumpliera con la rotación de la base. El diseño de la base se hizo con un agujero de corredera.

Para el módulo de medición de presión en la recámara de experimentación, se utilizó el sensor DWYER DH-008, por su precisión y por su versatilidad de obtención de datos. Para el desarrollo de este módulo se probaron las formas de obtención de datos de dicho sensor, determinando que la salida analógica 4-20mA es la más fácil, pero inexacta, por lo que se utilizó comunicación serial Modbus RTU, que es la lectura directa de los registros en los cuales está contenida la información de presión que el sensor está midiendo.

II. OBJETIVOS

A. GENERALES:

1. Restaurar el túnel de viento que se encuentra en la Universidad del Valle de Guatemala, permitiendo así realizar mediciones automatizadas de presión y fuerza, como así también controlar el motor, todo directamente a través de la computadora, por medio de una interfaz gráfica accesible para cualquier usuario capacitado en el mismo.
2. Medir la presión en la recámara de experimentación, logrando así obtener la presión en distintos puntos de la recámara.
3. Mover el modelo los grados que el usuario desee, permitiendo así realizar las mediciones correspondientes.

B. ESPECÍFICOS:

1. Realizar los circuitos necesarios para el funcionamiento adecuado de los sensores de presión.
2. Seleccionar y diseñar el mecanismo para el movimiento de la base del modelo de experimentación.
3. Establecer el punto adecuado en la recámara de experimentación, para medir presiones.
4. Establecer el tipo de motor que se colocará en el movimiento del eje de la base en donde se colocara el modelo de experimentación.
5. Establecer la precisión del mecanismo para moverse angularmente en el espacio.

6. Establecer la forma de la base del modelo de experimentación, obteniendo así una forma que no afecte a grandes rasgos las pruebas del modelo mismo.
7. Colocar la base del modelo de experimentación, en un punto idóneo en la cámara de experimentación del túnel de viento.

III. JUSTIFICACIÓN

El túnel de viento es una herramienta que nos sirve para estudiar los efectos del movimiento del aire alrededor de los objetos sólidos, se utiliza para estudiar los fenómenos que se manifiestan cuando el aire pasa tocando o chocando los objetos como aviones, naves espaciales, automóviles, edificios o puentes.

La Universidad del Valle cuenta con un túnel de viento, el cual está incompleto y no apto para efectos educativos, ni de investigación.

Un grupo de graduandos de la carrera de Mecatrónica decidimos implementar el túnel de viento con componentes necesarios para medir la presión en la cámara de experimentación y ejercer el movimiento de la base del modelo de experimentación, etc., para que se utilice en los laboratorios de fluidos de las diferentes ramas de ingeniería y se compruebe la teoría enseñada en clase, a través de la práctica.

IV. MARCO TEÓRICO

A. INTRODUCCIÓN A LOS TÚNELES DE VIENTO

Los túneles de viento son instrumentos en los cuales se observan los efectos del movimiento del aire alrededor de modelos de experimentación sólidos. En los mismos se genera flujo de aire en una recámara de experimentación, para así simular condiciones que experimentara el modelo en una situación real. Su diseño se basa en obtener velocidades apreciables para la experimentación, reduciendo así las pérdidas a la mínima expresión para asegurar la eficiencia de la operación del túnel. En la recámara de experimentación se pueden hacer mediciones de presión, con pintura sensitiva a la presión, manómetros o sensores de presión (Benson, 2012). Igualmente se pueden medir las fuerzas de sustentación y arrastre en el modelo. La medición de fuerza se logra gracias a una balanza mecánica o a un sensor llamado strain gauges (medidor de deformación). La recámara de experimentación debe de estar diseñada para colocar modelos de varias formas y tamaños para poder así observar y determinar sus características aerodinámicas.

1. Propiedades del viento. Las propiedades del viento afectan la experimentación y la operación de los dispositivos. Es muy común idealizar las propiedades del fluido, pero es muy importante tener en mente la aproximación que se hace para la idealización (Barlow, 1999).

El aire es una mezcla de nitrógeno, oxígeno, vapor de agua y muchos otros gases presentes en pequeñas cantidades. La ecuación de estado del aire está dada a continuación (Barlow, 1999).

$$p = \frac{\rho RT}{M} \quad (\text{Ecuación de estado del aire}) \quad (1)$$

En donde:

R = La constante universal del gas.

M = El aparente peso molecular de la mezcla de gases.

T = La temperatura del gas.

ρ = la densidad del aire.

La densidad del aire en función de la temperatura ($^{\circ}\text{K}$), presión (Pa), humedad relativa y saturación efectiva del vapor de agua (Pa), está dada por la siguiente ecuación (Barlow, 1999).

$$\rho_a = \left(\frac{0.0034847}{T} \right) (p - 0.003796 R_h * e_s) \text{ kg/m}^3 \quad (2)$$

La presión del vapor de saturación en función de la temperatura está dada por la ecuación 3.

$$e_s = (1.726 \times 10^{11})e^{-\frac{5315.56}{T}} \quad (3)$$

Parámetros Importantes:

Existen tres coeficientes importantes a experimentar en los túneles de viento, los mismos son:

- El número de Reynolds.
- El numero Mach.
- El número de Froude.

Cuando un cuerpo es movido a través de un fluido, hay variables que crean fuerzas contrarias al movimiento dichas variables son la viscosidad del fluido, la inercia del fluido, la elasticidad del fluido y la gravedad. Estas variables están representadas en varios términos de la ecuación de Navier-Stokes (Barlow, 1999).

La ecuación de Navier-Stokes, fue nombrada así por Claude- Louis Navier y George Gabriel Stokes, al describir la motricidad de sustancias liquidas. Esta ecuación se crea a partir de la aplicación de la segunda ley de newton a la motricidad de los fluidos. Esta ecuación es muy útil porque describe la física de muchos asuntos de interés económico y académico. Es usada en las corrientes del océano, en tuberías de agua, y en alas de aeroplanos. Esta ecuación permite el diseño de aeronaves y autos, así también como el estudio del flujo sanguíneo. Dicha ecuación es (Barlow, 1999).

$$\rho \left(\frac{\delta v}{\delta t} + v \cdot \nabla v \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 v + f \quad (4)$$

En donde:

$\frac{\delta v}{\delta t}$ = aceleración inestable.

$v \cdot \nabla v$ = aceleración convectiva.

$-\nabla p$ = gradiente de presión.

$\mu \nabla^2 v$ = viscosidad.

f = fuerzas de otros cuerpos.

La fuerza de inercia es proporcional a la masa del aire afectada y a la aceleración dada a la masa, por lo que cuando una gran cantidad de aire es afectado por un cuerpo en movimiento, se dice que la fuerza de inercia es el resultado de la aceleración constante dada a algún volumen de aire (Barlow, 1999).

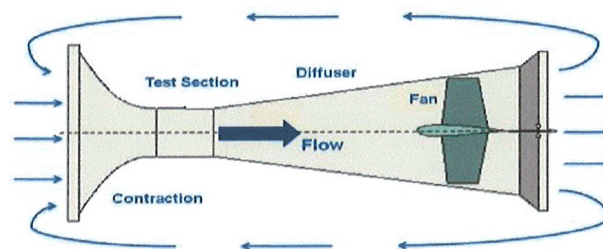
2. **Tipos de túneles de viento.** Los túneles de viento se clasifican de acuerdo con su régimen de velocidad, según su geometría y según su fluido de trabajo (Benson, 2012).

a. **Régimen de velocidad.** Por su régimen de velocidad existen túneles de viento supersónicos, transónicos e hipersónicos. Los túneles de viento supersónicos son los que tienen una velocidad del viento en la caja de experimentación menor a 0.8 Mach ($M < 0.8$), Los transónicos, son los que tienen una velocidad en la caja de experimentación mayor a 0.8 Mach pero menor a 1.2 Mach ($0.8 < M < 1.2$), los supersónicos, son los que tienen una velocidad mayor a ($1.2 < M < 5.0$) (Benson, 2012).

b. **Régimen de Geometría.** Por el régimen de geometría existen túneles de viento abiertos con retorno (open return) y cerrados con retorno (closed return) (Benson, 2012).

1) Túneles abierto con retorno (open return):

Ilustración 1. Túnel de viento con retorno.



(NASA, 2009)

Este tipo de túnel es llamado también túnel Eiffel, este tipo de túneles es uno de los primeros diseños de túneles de viento del mundo usados originalmente por los hermanos Wright. La característica importante de este tipo de túneles es que el aire que pasa a través de la recámara de experimentación es tomado del entorno, y la hélice lo único que hace es crear el flujo de aire (Benson, 2012).

a) Las ventajas de este tipo de túneles son:

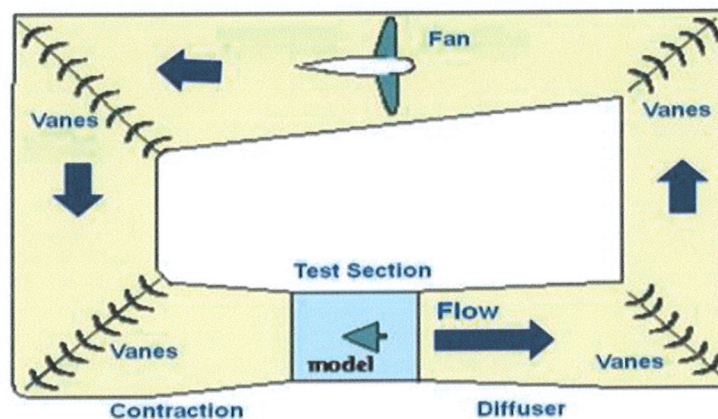
- Bajo costo de construcción.
- El diseño y su propulsión son ideales para la visualización de humo, ya que no se acumula ningún tipo de gas en el mismo.

b) Las desventajas son:

- Mala calidad del fluido.
- Costos altos de operación, debido a la energía que consume el motor que hace girar la hélice.
- Operación ruidosa.

2) Túneles cerrado con retorno (close return):

Ilustración 2. Túnel de viento cerrado con retorno.



(NASA, 2009)

Este tipo de túneles de viento es también llamado túnel Prandtl, en estos túneles de viento el aire es conducido de regreso desde la salida de la recámara de experimentación hacia el ventilador por unas series de tubos llamados venas, haciendo que el ventilador regrese el aire de nuevo a la recámara de experimentación, creando así un ciclo cerrado de aire (Benson, 2012).

a) Las ventajas de este tipo de túneles son:

- Buena calidad del fluido en la cámara de experimentación.
- Costo de operación bajo, debido a que una vez el aire está circulando el ventilador se mueve por la misma fuerza del fluido.
- Operación no ruidosa.

b) Las desventajas son:

- Costo alto de construcción, debido a todos los componentes que necesita.
- No se puede ver el humo al momento de estar experimentando.
- Requiere enfriadores debido a que al momento de estar operando el túnel de viento se calienta.

B. PRESIÓN

La presión es definida como una fuerza ejercida por un fluido por unidad de área. Se habla de presión solamente cuando se está trabajando con un gas o un fluido. Por otro lado existe también la presión que es causado por un esfuerzo normal en algún objeto por ejemplo una columna, una viga entre otras. La unidad de presión en sistema internacional es el pascal (Pa) (Cegel, 2010,66).

$$1 \text{ Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2 \quad (5)$$

Enseguida se muestran las equivalencias de dimensionales de presión.

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 0.1\text{MPa} = 100\text{kPa} \quad (6)$$

$$1 \text{ atm} = 101,325 \text{ Pa} = 101.325 \text{ kPa} = 1.01325 \text{ bars} \quad (7)$$

$$1 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 9.807 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 9.807 \times \frac{10^4\text{N}}{\text{m}^2} = 9.807 \times 10^4 \text{Pa} = 0.9807 \text{ bar} = 0.9679 \text{ atm} \quad (8)$$

$$1 \text{ atm} = 14.696 \text{ psi} \quad (9)$$

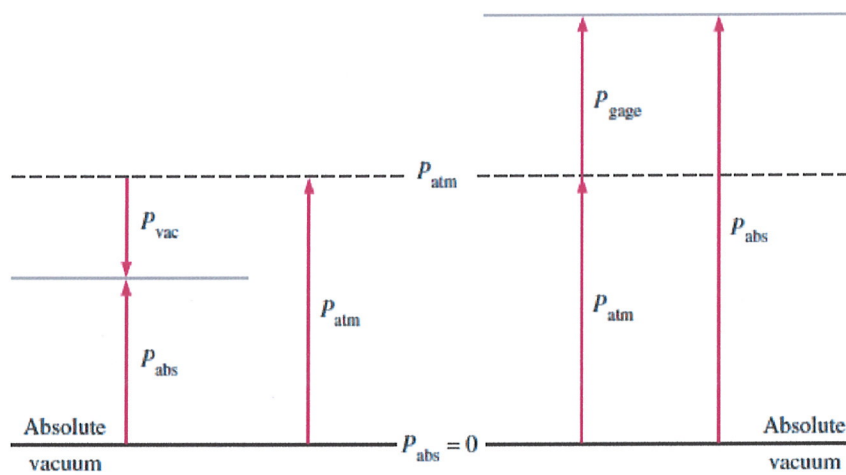
1. Tipos de presión. La presión que está dada en un punto es llamada presión absoluta, y es medida con respecto al vacío es decir una presión de 0. Muchos de los instrumentos de medición están calibrados para que marquen cero cuando estén a presión atmosférica, y así poder indicar la diferencia de presión entre la presión absoluta y la presión atmosférica local. Esta diferencia de presiones es llamada

presión manométrica. Las presiones por debajo de la presión atmosférica son llamadas presiones de vacío y son medidas por manómetros de vacío que indican la diferencia entre la presión atmosférica y la presión absoluta. La presión absoluta, manométrica y de vacío, son cantidades positivas y están relacionadas una con otra por las ecuaciones que se muestran a continuación (Cegel, 2010,66):

$$P_{manometrica} = P_{abs} - P_{atm} \quad (10)$$

$$P_{vac} = P_{atm} - P_{abs} \quad (11)$$

Ilustración 3. Tipos de presión.



(Cegel, 2010)

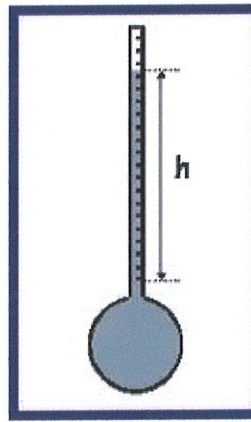
La presión es una fuerza compresiva por unidad de aire, y esta da la impresión de ser un vector. Sin embargo, la presión a cualquier punto en un fluido es la misma en todas las direcciones. Eso quiere decir que tiene magnitud no solo en una dirección específica, por lo mismo es una cantidad escalar (Cegel, 2010,66).

2. Instrumentos para medir la presión en un túnel de viento. La presión se puede medir por medio de instrumentos mecánicos así también como instrumentos electrónicos.

Los manómetros mecánicos son instrumentos que emplean columnas de líquido para determinar diferencias de presión. El manómetro más elemental, es llamado piezómetro. El piezómetro mide la presión de un líquido cuando este se encuentra por encima del cero manométrico. Un tubo de vidrio se coloca verticalmente de tal manera que esté conectado al espacio dentro del tanque. El líquido sube por el tubo hasta que alcanza su equilibrio. La presión está dada por la distancia vertical h desde el menisco (superficie líquida) hasta el punto donde se mide la presión, expresada en unidades de longitud del líquido dentro del tanque. Es

obvio que el piezómetro no trabaja con presiones manométricas negativas, porque fluiría aire hacia el tanque a través del tubo. También es impráctico medir grandes presiones en la recámara de experimentación, debido a que el tubo vertical tendría que ser muy largo. Si la densidad relativa del líquido es S , la presión en la cámara de experimentación es hS unidades de longitud de agua. En la Ilustración 4 se muestra un piezómetro (Streeter, 2000,44).

Ilustración 4. Piezómetro (manómetro Simple)



(Streeter, 2000)

El manómetro con forma de U, es uno de los instrumentos de presión más antiguos de la historia, y uno de los más fáciles de construir. El manómetro con forma de U funcionan de la siguiente manera, los tubos están contenidos de líquido, la diferencia en alturas de los líquidos de ambos tubos es medida, usualmente dicha medida tiene una escala. La diferencia de presión está ligada al cambio de altura, algunas veces los manómetros se colocan con un ángulo de inclinación, dada esa inclinación la ecuación que describe el comportamiento del manómetro en forma de U es la siguiente (Streeter, 2000,44).

$$p_2 - p_1 = \Delta h \sin(\beta g_l (\rho_f - \rho_a)) \quad (12)$$

En donde:

- Δh = diferencia de alturas en los líquidos de ambos tubos.
- β = ángulo de inclinación entre la horizontal y el plano de los tubos paralelos del manómetro.
- g_l = peso por unidad de masa.

La g varía respecto al lugar geográfico en el que el manómetro se encuentre en la tierra. La ecuación para g es la siguiente:

$$- g = 978.0327[1.0 + 0.053024(\sin \phi)^2 - 0.0000058(\sin 2\phi)^2] \text{ dyn/g} \quad (13)$$

En donde:

- ϕ = es la altitud en la que el manómetro se encuentre.
- El valor estándar para g es 9.80665 N/kg o 32.17405 lbf/slug.

El manómetro aun en estos tiempos es uno de los instrumentos de medición de presión más importantes. Los manómetros son usualmente utilizados para calibrar o revisar otros instrumentos de medición de presión (Streeter, 2000,44).

La precisión de los manómetros puede ser afectada por tres razones. La primera razón es que la medida de alturas no sea precisa y tenga error humano. La segunda es que el líquido con el que el manómetro cuenta no sea uniforme o que la densidad no se conozca. Y la tercera, es la presencia de fuerzas externas al peso del líquido (Streeter, 2000,44).

Los manómetros más utilizados en aplicaciones de túneles de viento, son los manómetros en forma de U con mercurio o agua en su interior. Pero como se sabe la densidad de los líquidos varía dependiendo de la temperatura a la que se encuentre el mismo, por lo tanto se dan las siguientes fórmulas para conocer la densidad del mercurio y del agua según a la temperatura a la que se encuentre (Streeter, 2000,44).

$$\rho_{Hg} = \frac{26.3788}{1+0.000101*(t_F-32.)} \text{ slug/ft}^3 \quad (14)$$

$$\rho_{H_2O} = (1.93486 + 0.00030412 t_F - 0.000451 t_F^2 + 0.1 * 10^{-7} t_F^3) \text{ slug/ft}^3 \quad (15)$$

Existe también, el manómetro de Bourdon. El manómetro de Bourdon es un indicador de medida que se puede construir para medir presiones bajas o elevadas. Consiste en un tubo metálico, cerrado por un extremo al que se curva en forma de C. El extremo abierto del tubo está unido rígidamente a un soporte y el extremo cerrado, o punta, se conecta a una aguja indicadora mediante un sistema multiplicador mecánico (Cromer, 1986).

El tubo de este manómetro es de sección oval. Al aumentar la presión dentro del tubo, la sección se hace más circular y hace que el tubo se ponga ligeramente más recto. El sistema multiplicador mecánico transforma el pequeño movimiento de la punta del tubo en un gran movimiento de la aguja. La escala sobre la que se mueve esta está calibrada por el fabricante de manera que la posición de la aguja indique la presión manométrica en el tubo. El manómetro de Bourdon mide la presión en función de lo que enderece el tubo,

que depende a su vez de la diferencia entre las presiones interior y exterior al tubo (presión atmosférica) (Cromer, 1986).

El tubo de un instrumento sensible tiene una sección muy achatada que hace que el tubo se curve fácilmente con variaciones de presión relativamente pequeñas. En cambio, el del manómetro de Bourdon diseñado para medir presiones muy grandes (10Pa o más) tiene una sección casi circular, por lo que para mover la punta se necesitan variaciones de presión grandes (Cromer, 1986).

Las desventajas de este tipo de manómetro son que el mismo no se puede colocar en un lugar en el cual haya muchas vibraciones, otra que el mismo puede fallar por fatiga, por sobrepresión, por corrosión o por explosión. Es por tales desventajas que se prefiere no utilizarlo en aplicaciones de túneles de viento.

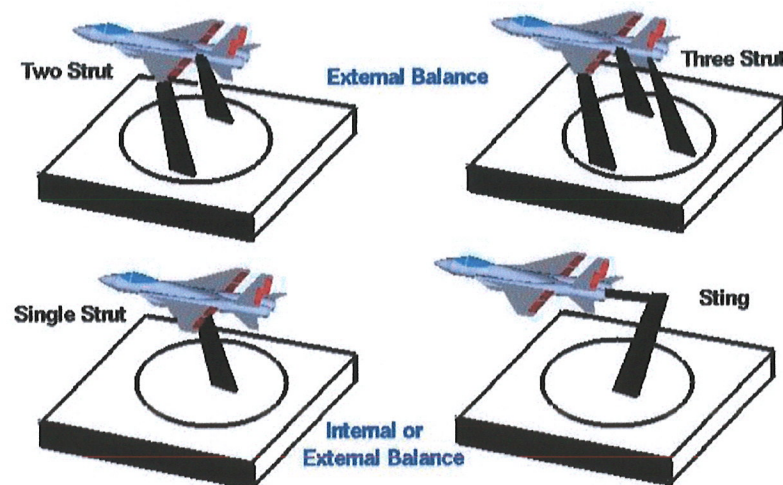
3. Instrumentación Electrónica para medir presión. En estos días los manómetros de presión se utilizan para aplicaciones de calibración, o comprobación de datos, pero en las industrias y en lugares en los cuales les interese medir la presión de un punto o presión en un ambiente se utilizan sensores de presión (Barlow, 1999).

Los sensores de presión son usualmente aplicados a dispositivos que responden a la presión valga la redundancia o a cambios de presión. Los sensores de presión pueden ser utilizados para monitorear la variable de trabajo o medir la presión en el modelo, en el caso de la segunda aplicación se requiere mayor precisión en el sensor, mientras que en la primera aplicación es utilizado para tener un estimado de la presión del entorno de experimentación (Barlow, 1999).

El sensor más comúnmente utilizado es el que utiliza un transductor de la clase llamada Tipo Diafragma. Los transductores tipo diagrama son básicamente una membrana sensitiva que se deforma al cambio de presión. Para medir dicha deformación es utilizado un Strain Gage (medidor de deformación), directamente conectado en la membrana sensitiva. Hay sensores que miden el cambio de capacitancia para los cambios geométricos, o miden el cambio de inductancia. Los sensores que miden la capacitancia tienden a tener un rango más preciso de medición y a tener más precisión dinámica, así también son sensores más robustos. La mayoría de sensores de presión utilizados en los túneles de viento subsónicos son sensores de presión diferencial. También existen sensores de presión absoluta, la diferencia entre el sensor de presión diferencial y el sensor de presión absoluta, es que en el sensor de presión absoluta un lado de la membrana sensitiva esta siempre a una presión constante, mientras que en los sensores de presión diferencial ambos lados de la membrana están sensibles a presiones variables (Barlow, 1999).

4. **Base del modelo de experimentación.** La aerodinámica utiliza modelos para observar las características aerodinámicas de cualquier componente físico. En la experimentación, los modelos son puestos en una recámara de experimentación adentro del túnel de viento, en donde pasa el aire a través de la misma. Existen varios métodos para montar el modelo adentro de la recámara de experimentación. El método de montaje depende de qué tipo de balanza se esté utilizando. Las balanzas son componentes para medir las fuerzas de sustentación y arrastre del modelo de experimentación. Existen dos tipos de balanzas, las balanzas externas y las balanzas internas para mayor información acerca del tema de balanzas consultar el trabajo de graduación, *Instrumentación Electrónica y Metodología de Obtención de Fuerzas para el Cálculo de los Coeficientes de Arrastre y Sustentación en Túnel de Viento*. El montaje en las balanzas externas tiene que lograr transmitir las cargas que está sufriendo el modelo debido al aire, y así mismo lograr asegurar bien el modelo para que el mismo no caiga, al momento de mover su ángulo de ataque. Para las balanzas internas la medición de las cargas del modelo están localizadas dentro del mismo, por tal razón el montaje del modelo no debe de transmitir ninguna carga a la balanza, pero si debe de permitir el flujo de aire a través del modelo para que así los datos logren tomarse sin error. En la siguiente Ilustración se muestran los tipos de montaje que existen (Benson, 2012).

Ilustración 5. Tipos de montaje para el modelo de experimentación



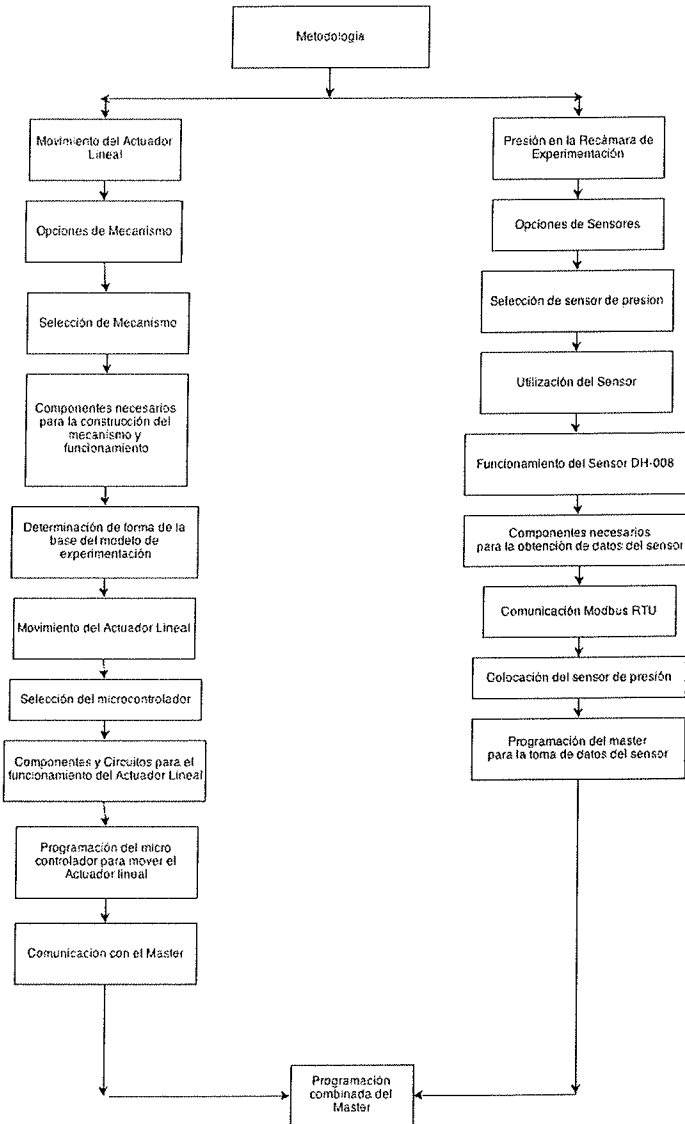
(NASA, 2009)

Los tipos de montajes puntuales (STRUTS), son los más comúnmente utilizados, por su facilidad de uso. Las cargas se pueden medir puntualmente. Para las balanzas externas existe el montaje de tres puntos y el de dos puntos. El montaje de tres puntos permite un mejor agarre en el modelo permitiendo así un mejor sostenimiento al momento de cambiar el ángulo de ataque del modelo, la desventaja es que es un mecanismo complicado de fabricar y de mantener. El montaje de dos puntos es más preciso que el de tres puntos debido a que introduce menos interferencia en la experimentación, la desventaja es que es menos rígido que el de

tres puntos. Para las balanzas internas existen dos montajes el de un punto y el tipo aguijón (STING). El mejor montaje para evitar las interferencias es el de un punto, el mismo se puede colocar en cualquier punto del modelo, es decir es versátil su colocación, pero la desventaja es que es muy difícil manipular el modelo debido a su falta de rigidez. Ahora bien el montaje de tipo aguijón como ventaja es que es fácil variar el ángulo de ataque lateral del modelo y tiene el mismo efecto que el montaje de un punto con respecto a la interferencia (Benson, 2012).

V. METODOLOGÍA

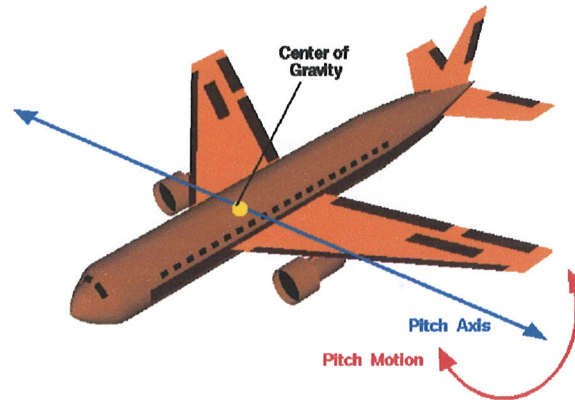
Ilustración 6. Cuadro de flujo de la metodología (orden en cómo va la metodología)



A. MOVIMIENTO ROTACIONAL DEL MODELO DE EXPERIMENTACIÓN

El túnel de viento modelo 303 A, se automatizó con actuadores lineales e instrumentación de medición de presión. Lo que se quería realizar era un movimiento de inclinación hacia atrás y hacia adelante en la base del modelo de experimentación, como lo muestra la flecha roja en la Ilustración 7.

Ilustración 7. Movimiento rotacional del modelo



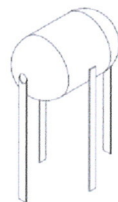
(NASA, 2009)

El punto en el cual se coloca el mecanismo estaba ya definido por el diseño original del túnel de viento, es decir la recámara de experimentación del túnel de viento en ella tiene un agujero especial para colocar el mecanismo de movimiento rotacional del modelo, cumpliendo así el objetivo de colocar la base del modelo de experimentación, en un punto idóneo en la cámara de experimentación del túnel de viento.

1. **Opciones de mecanismos.** Para lograr mover el modelo se diseñaron dos mecanismos, los mismos se explican a continuación.

a. **Mecanismo No.1.** La Ilustración 8, muestra un dibujo del prototipo a construir del mecanismo No.1.

Ilustración 8. Mecanismo de movimiento del modelo.



En la Ilustración 9, se muestra el prototipo del Mecanismo No.1.

Ilustración 9. Mecanismo de movimiento del modelo versión real.



Este mecanismo, facilitaba mucho el movimiento del modelo, obteniendo no solo el movimiento en un eje sino en ambos ejes X y Y.

Los componentes que se requieren para construir dicho mecanismo, son los que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Componentes para la construcción de Mecanismo No.1

| Componentes | Cantidad |
|--------------------------------------|----------|
| Servo Motores | 2 |
| Tubo Plástico flexible | 1 |
| Rollo de sedal | 1 |
| Modelo de experimentación (adaptado) | 1 |

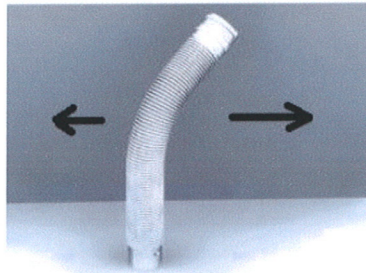
1) Servo motores. En la Ilustración 10 se muestra lo que es un servomotor.

Ilustración 10. Servo Motor GWS (referencia representativa de un servo).



2) **Tubería plástica flexible.** En la Ilustración 11, se muestra lo que es el tubo flexible, componente importante del mecanismo.

Ilustración 11. Tubo flexible para eje del modelo en mecanismo No.1



En la Tabla 2 se muestran las características del tubo flexible.

Tabla 2. Especificaciones del tubo flexible.

| Característica | Descripción |
|------------------------|---|
| Especificación | Doble pared de contención de tubería de polietileno de alta densidad. |
| Rigidez de anillo | 4kn/m ² |
| Velocidad de fluencia | 4 |
| Fuerza de impacto | 0.1 |
| Anillo de flexibilidad | El doblar debe de ser suave y no se debe de deslaminar. |

3) **Rollo de sedal:**

Ilustración 12. Hilo de caya de pescar (rollo de sedal).



b. **Mecanismo No.2:**

1) **Diseño.** El diseño del mecanismo No. 2 completado se muestra en la Ilustración 13, una foto del prototipo en vida real se muestra en la Ilustración 14 y 15.

Ilustración 13. Diseño de mecanismo No.2 para mover el modelo de experimentación

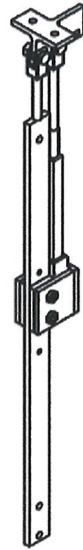


Ilustración 14. Mecanismo en vida real



Ilustración 15. Vista en perfil del mecanismo



2) Cálculos del mecanismo. En la Ilustración 16 se muestra el agujero, en el cual se debía de colocar el mecanismo seleccionado. La altura a la que se colocó el modelo de experimentación es de 15cm, como se muestra en la Ilustración 17. El esquema para los cálculos respectivos del mecanismo se pueden observar en la Ilustración 18. Dichos cálculos se realizan simulando la base del modelo de experimentación como la hipotenusa de un triángulo, y el opuesto del triángulo se simula como una pequeña porción del pistón del actuador lineal,

Ilustración 16. Lugar en el cual se debe poner la base del modelo de experimentación.

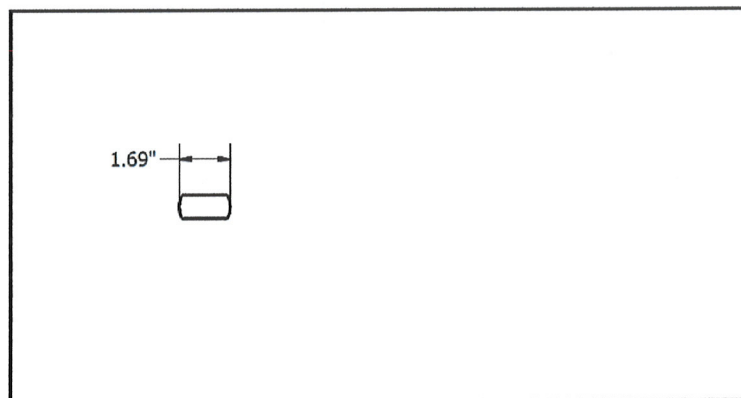


Ilustración 17. Altura a la que debe estar la base del modelo de experimentación.

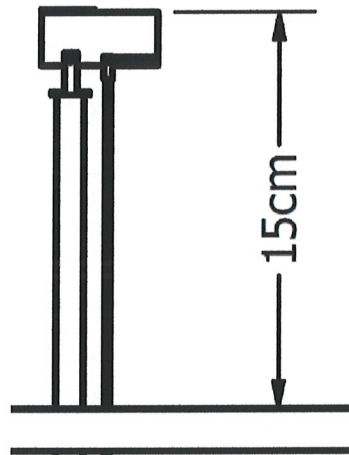
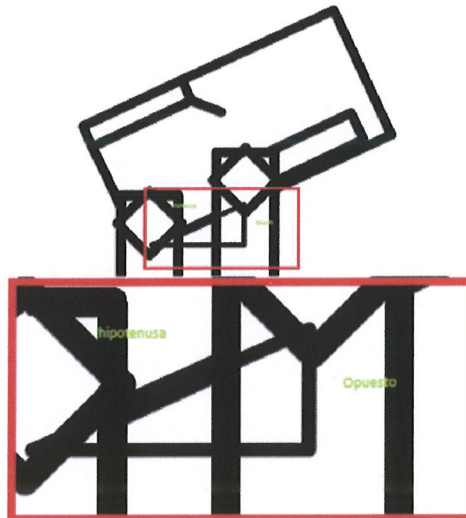


Ilustración 18. Esquema de la base del modelo de experimentación para cálculos de su rotación.



$$\sin \theta = \frac{\text{Opuesto}}{\text{Hipotenusa}}$$

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{\text{Opuesto}}{\text{Hipotenusa}} \right)$$

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{\text{Opuesto}}{60.70\text{mm}} \right) \quad 0 > \text{opuesto} > 21$$

Los componentes necesarios para construir este mecanismo se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Componentes para construir el mecanismo No.2

| Componentes | Cantidad |
|--|------------|
| Actuador Lineal Firgelli L16P-100mm 150:1 | 1 |
| Barra Roscada Plástico Industrial | 1 UNDEF |

c) Actuador lineal:

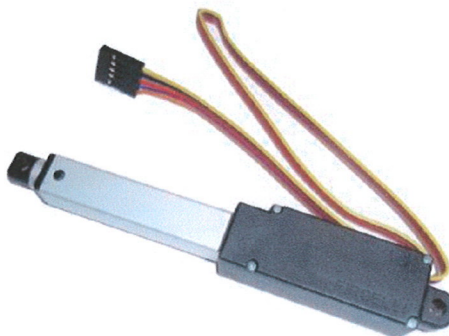
(i) Opciones de actuador lineal

Tabla 4. Opciones de actuador lineal

| Actuador Lineal | característica |
|-----------------|------------------------------------|
| L-16-P | Retroalimentación de Potenciómetro |
| L16-S | Limit switch |

Se escogió el actuador lineal L-16-P, debido a su facilidad de control con un microcontrolador, el mismo se muestra en la Ilustración 19.

Ilustración 19. Actuador lineal Firgelli L16-P



(Firgelli, 2011)

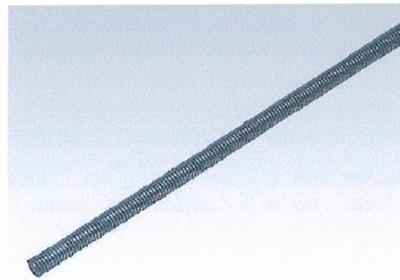
El actuador lineal Firgelli L16, tiene un largo del pistón de 10cm, el mismo trabaja con 12V, y tiene una relación de engranes de 150:1.

(ii) Datos técnicos. El actuador lineal utilizado en el montaje del modelo de experimentación fue el L16P- Position Feedback. El actuador lineal no tiene un

micro controlador interno, pero sí tiene una señal analógica de posición, que puede ser una entrada para un micro controlador externo.

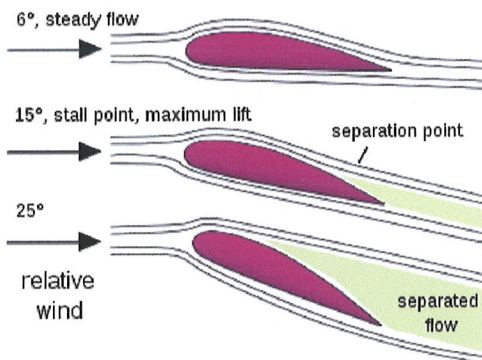
d) Barra roscada:

Ilustración 20. Barra roscada



Este mecanismo permite solamente la rotación en un eje, como se muestra en la Ilustración 21.

Ilustración 21. Ejemplo de cómo se comporta el fluido según el ángulo de ataque.



(NASA, 2009)

Dicho eje es el eje perpendicular al aire, provocando así fuerzas de sustentación y arrastre en el modelo, y diferentes presiones en puntos distintos del objeto.

2. **Selección de mecanismo.** El mecanismo que se seleccionó para el movimiento rotacional del modelo fue el Mecanismo No.2, debido a su fácil diseño y a las ventajas que el mismo traía. Dichas ventajas son:

1) Ventajas:

- Peso liviano en la balanza de fuerza.
- Rotación suficiente para la experimentación.
- Ocupa muy poco espacio.
- Es barato de construir.
- El motor (actuador lineal) utilizado es confiable, seguro y fácil de instalar.

En la Tabla 5 y 6, se muestra la matriz de selección de Pugh junto con los criterios de selección, así también se muestra en la Ilustración 22, el gráfico de los puntajes de selección.

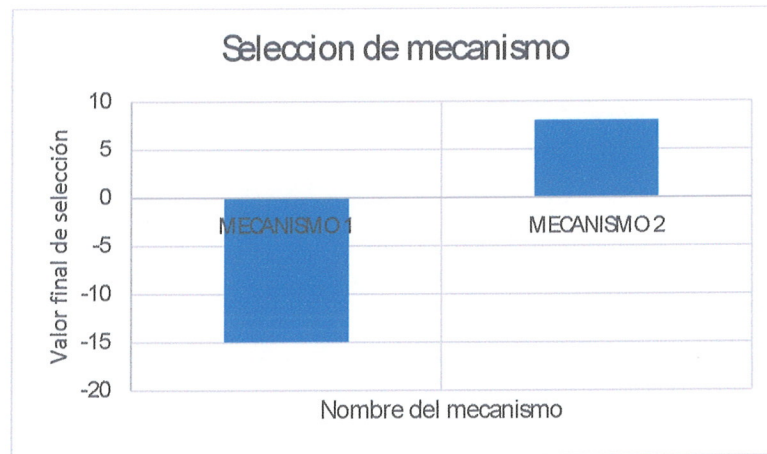
Tabla 5 : Selección de mecanismo matriz de Pugh

| CRITERIO | LÍNEA | PESO | MECANISMO | MECANISMO |
|----------|-------|------|-----------|-----------|
| | BASE | | 1 | 2 |
| 1 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 4 | -4 | 4 |
| 3 | 0 | 3 | -3 | 0 |
| 4 | 0 | 3 | -3 | 3 |
| 5 | 0 | 4 | 0 | -4 |
| 6 | 0 | 5 | -5 | 5 |
| 7 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| Total | | | -15 | 8 |

Tabla 6 : Criterios de selección para la matriz de Pugh

| CRITERIO |
|---|
| 1 PRECIO |
| 2 CANTIDAD DE COMPONENTES ADENTRO DE LA RECAMARA DE EXPERIMENTACIÓN |
| 3 FACILIDAD DE MOVIMIENTO |
| 4 FACILIDAD DE CONSTRUCCION (MÁS AGUJEROS EN LA RECAMARA) |
| 5 FACILIDAD DE COMPRA DE COMPONENTES |
| 6 FLUCTUACIÓN |
| 7 PESO LIVIANO |

Ilustración 22 : Gráfico de datos de selección de matriz de Pugh

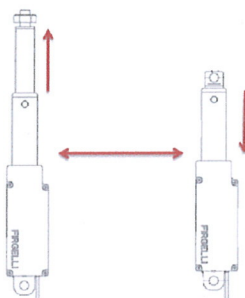


3. Componentes necesarios para la construcción del mecanismo y funcionamiento del mismo. El mecanismo consta de cuatro componentes importantes:

- El actuador lineal
- La base del modelo de experimentación
- Barras roscadas

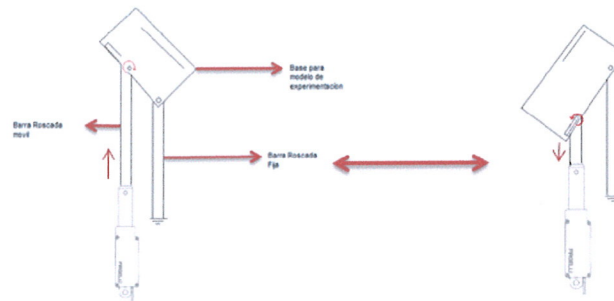
El actuador lineal genera un movimiento vertical como se muestra en la Ilustración 23.

Ilustración 23. Ejemplificación del movimiento del actuador lineal



En el tope del actuador lineal se colocó una barra roscada, la cual se conecta a la base del modelo de experimentación, en un extremo, y en el otro extremo se coloca otra barra roscada para así formar una especie de manivela-corredera. Una explicación esquemática se muestra en la Ilustración 24.

Ilustración 24. Ejemplificación de como rota la base del modelo de experimentación



4. **Determinación de forma de la base del modelo de experimentación.** La base de experimentación del modelo se diseñó con la forma de un pequeño avión como se muestra en la Ilustración 25 y una foto en vida real de dicha base en la Ilustración 26.

Ilustración 25. Base para el modelo de experimentación.

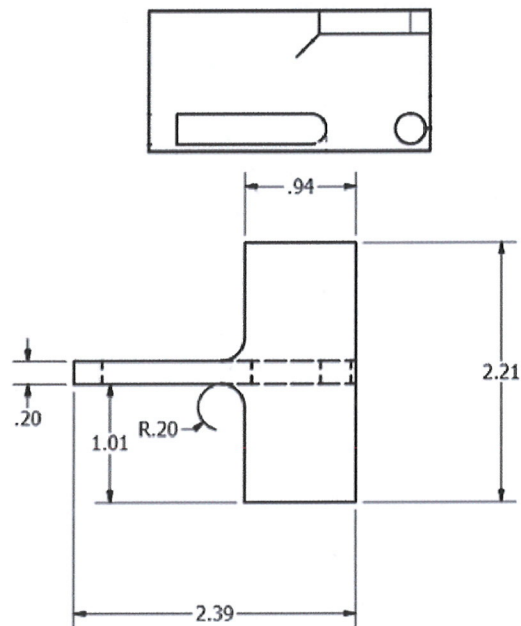
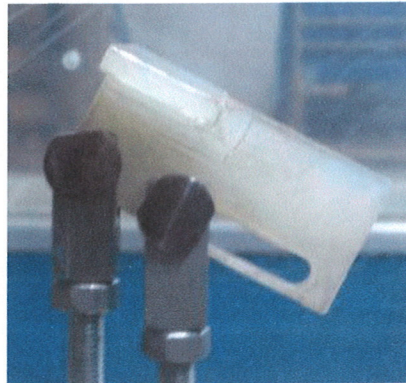
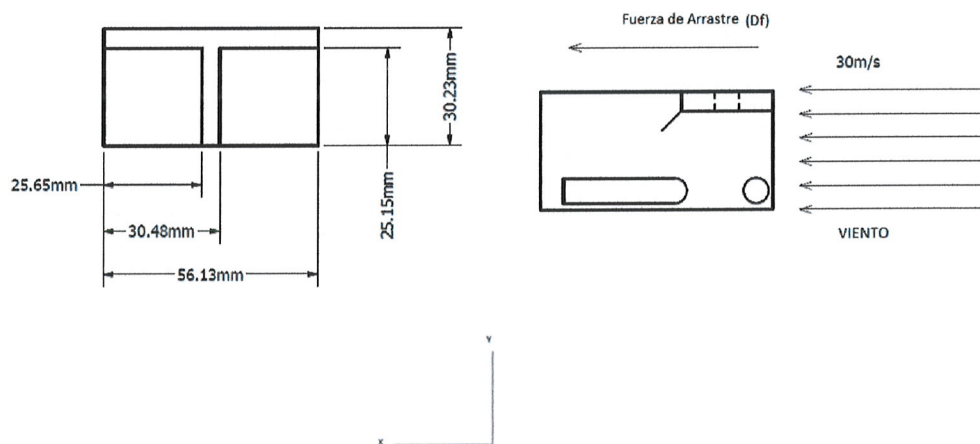


Ilustración 26. Vista de perfil de la base del modelo de experimentación



a. Cálculos para el diseño:

Ilustración 27: Esquema de cálculo de la base de experimentación



Datos:

$$Re \text{ (max)} = 5 \times 10^5$$

$$\text{Densidad (aire)} = 1.3 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Viscosidad dinámica del aire} = 1.85 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{m}^2/\text{s} = 1.42 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$V = 30 \text{ m/s}$$

Cálculo Área:

$$A_1 = B \cdot H = 0.0561 \text{ m} \cdot 0.0302 \text{ m} = 0.0016 \text{ m}^2$$

$$A_2 = B \cdot H = 0.02565 \text{ m} \cdot 0.025146 \text{ m} = 0.000641 \text{ m}^2$$

$$A_{total} = A_1 - 2A_2 = 0.0016m^2 - 2 * 0.000641m^2 = 0.000318m^2$$

Numero de Reynolds:

$$R_e = \frac{vL}{\gamma} = \frac{\frac{30m}{s} * 0.060706m}{1.42m^2/s} = 1.2825$$

Coefficiente de fricción:

$$C_f = 1.328R_{eL}^{-0.5} = 1.328 * (1.2825)^{-0.5} = 1.1726$$

Fuerza de arrastre:

$$F_D = C_f A \frac{\rho V^2}{2} = 1.1726 * 0.000318m^2 * \frac{\left(\frac{1.3kg}{m^3} * \left(\frac{30m}{s}\right)^2\right)}{2} = 0.21813 N$$

La fuerza de arrastre de 0.21813 N se comparó con el dato de fuerza de arrastre de una simulación hecha en el software Autodesk Project Falcon. El dato de fuerza de arrastre de la simulación se muestra en la sección de Resultados, Ilustración 66. La comparación se discute en Análisis de Resultados.

Los datos de velocidad y de dimensiones de la base del modelo de experimentación, fueron obtenidos experimentalmente. El dato de velocidad se obtuvo, realizando la medición en el medio del área transversal de la recámara de experimentación, con un Anemómetro. Los datos de dimensiones de la base del modelo de experimentación se establecieron midiendo el espacio en donde se colocaría la misma en la recámara de experimentación.

La fuerza de arrastre, se calculó para determinar cuánto afectaría esta pieza, en la experimentación y para la calibración de los sensores de fuerza, para más información acerca de los sensores de fuerza consultar trabajo de graduación, *Instrumentación Electrónica y Metodología de Obtención de Fuerzas para el Cálculo de los Coeficientes de Arrastre y Sustentación en Túnel de Viento*.

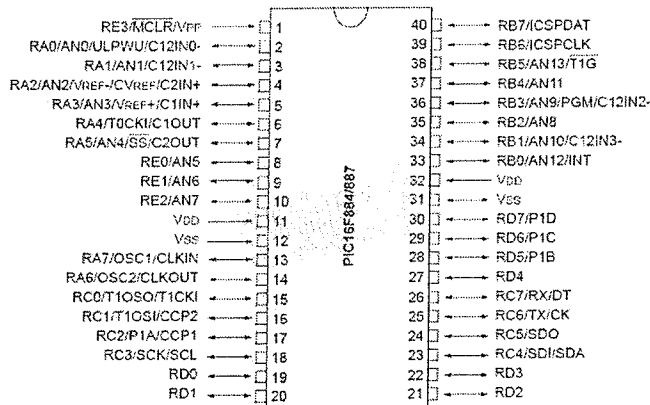
5. ¿Qué hace que funcione? Movimiento del actuador lineal. El motor lineal L16-P de Firgelli Technologies, funciona con voltaje 5-12V DC, el mismo tiene un potenciómetro de retroalimentación, el cual indica la posición en la que el motor se encuentra, el potenciómetro no solo sirve para monitorear sino también para manejar la posición del motor. Cumpliendo así el objetivo de mover el modelo los grados necesarios para la experimentación.

Opciones de componentes electrónicos para controlar el actuador lineal L16-P:

- a. Pic16f887
- b. Pic16F84A
- c. Atmega328p-pu

a. Pic16F887:

Ilustración 28. Pic 16F887 esquematizado

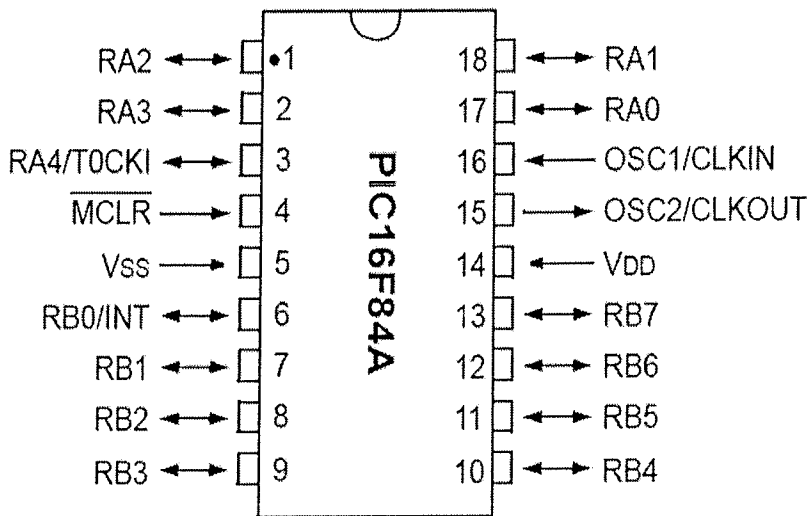


(Microchip Technology, 2013)

Es un microcontrolador de Microchip, para más información consultar datasheet (<http://www.engr.usask.ca/classes/EE/391/notes/PIC16F886.pdf>).

b. PIC16F84A:

Ilustración 29. Pic 16F84A esquematizado

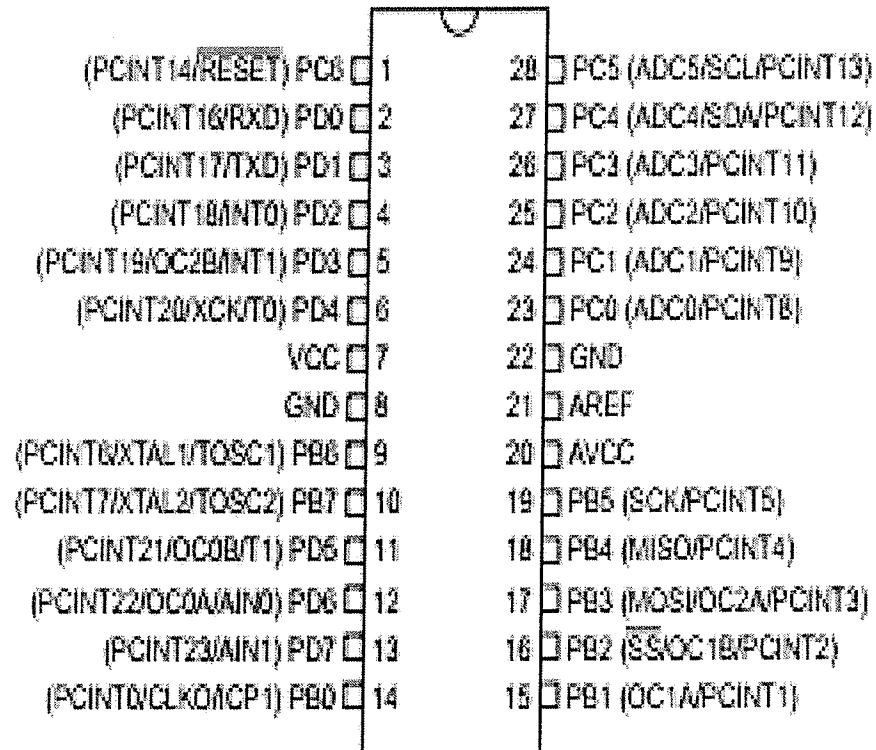


(Microchip Technology, 2013)

Es un microcontrolador de Micrichip, con las características muy similares a las del Pic 16F887. Consultar datasheet (<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/35007b.pdf>).

c. Atmega328p-pu:

Ilustración 30. Arduino UNO vista de planta



(Atmel Corporation, 2013)

Atmega328p-pu, es un microcontrolador de Atmega, para más información consultar Datasheet (<http://www.atmel.com/Images/doc8161.pdf>).

6. Selección de microcontrolador

Tabla 7. Tabla de comparación de microcontroladores

| Microcontrolador | Ventajas | Desventajas |
|------------------|--|--|
| PIC16F887 | - memoria tipo Flash | - no es open Source |
| | - 14 Kb memoria de programa | - la plataforma de programación Mikroprog no es compatible con Mac solo con Windows |
| Pic16F84A | - 5 MIPS CPU SPEED | - la placa (SHIELD), de colocación del microchip no se encuentra fácil es solo bajo pedido |
| | - RAM bytes 368 | |
| ATMEL328p-pu | - EEPROM data 75 bytes | |
| | - Comunicación digital (UART, USART, I2C, SPI) | |
| Pic16F84A | - Timers 2x8-bit, 1x16-bit | |
| | - ADC 14 canales, 10 bit | |
| Pic16F84A | - 2 comparadores | |
| | - 40 pines | |
| Pic16F84A | - memoria tipo Flash | - no es open Source |
| | - 1.75Kb de memoria de programa | - la plataforma de programación Mikroprog no es compatible con Mac solo con Windows |
| Pic16F84A | - 5 MIPS CPU SPEED | - la placa (SHIELD), de colocación del microchip no se encuentra fácil es solo bajo pedido |
| | - RAM bytes 68 | |
| ATMEL328p-pu | - EEPROM bytes 64 | |
| | - Timers 2x8-bit | |
| ATMEL328p-pu | - 38 Pines | |
| | - Memoria Tipo Flash | - es open Source |
| ATMEL328p-pu | - 20 MIPS a 20 MHz | - la plataforma de programación Arduino es compatible con Apple, Linux y Windows |
| | - 2K SRAM | - la placa (SHIELD), de colocación del microchip se encuentra en el mercado guatemalteco |
| ATMEL328p-pu | - 8 canales ADC | |
| | - Comunicación digital (UART, USART, I2C, SPI) | |

En la Tabla 8 y 9, se muestra la matriz de Pugh para la selección del microcontrolador que mejor cumpla la tarea, así también se pueden observar los resultados de la selección en la Ilustración 31.

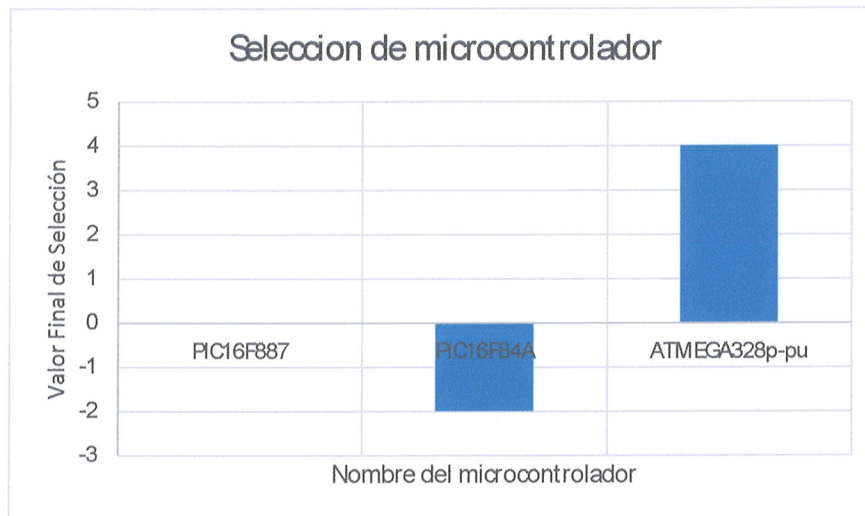
Tabla 8 : Matriz de selección de Pugh, para microcontroladores

| CRITERIO | LÍNEA BASE | PESO | ATMEGA328p- | | |
|----------|------------|------|-------------|-----------|----|
| | | | PIC16F887 | PIC16F84A | pu |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 3 | 0 | 1 | -1 | -1 | 1 |
| 4 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 1 | 1 | -1 | 0 |
| Total | | | 0 | -2 | 4 |

Tabla 9 : Criterios para la matriz de selección de Pugh

| CRITERIOS |
|---|
| 1 FACILIDAD DE PROGRAMACIÓN |
| 2 COMPATIBILIDAD DE LA PLATAFORMA DE PROGRAMACIÓN |
| 3 SHIELD DISPONIBLE EN GUATEMALA |
| 4 PRECIO SHIELD + CONTROLADOR |
| 5 MÁS FUNCIONES |

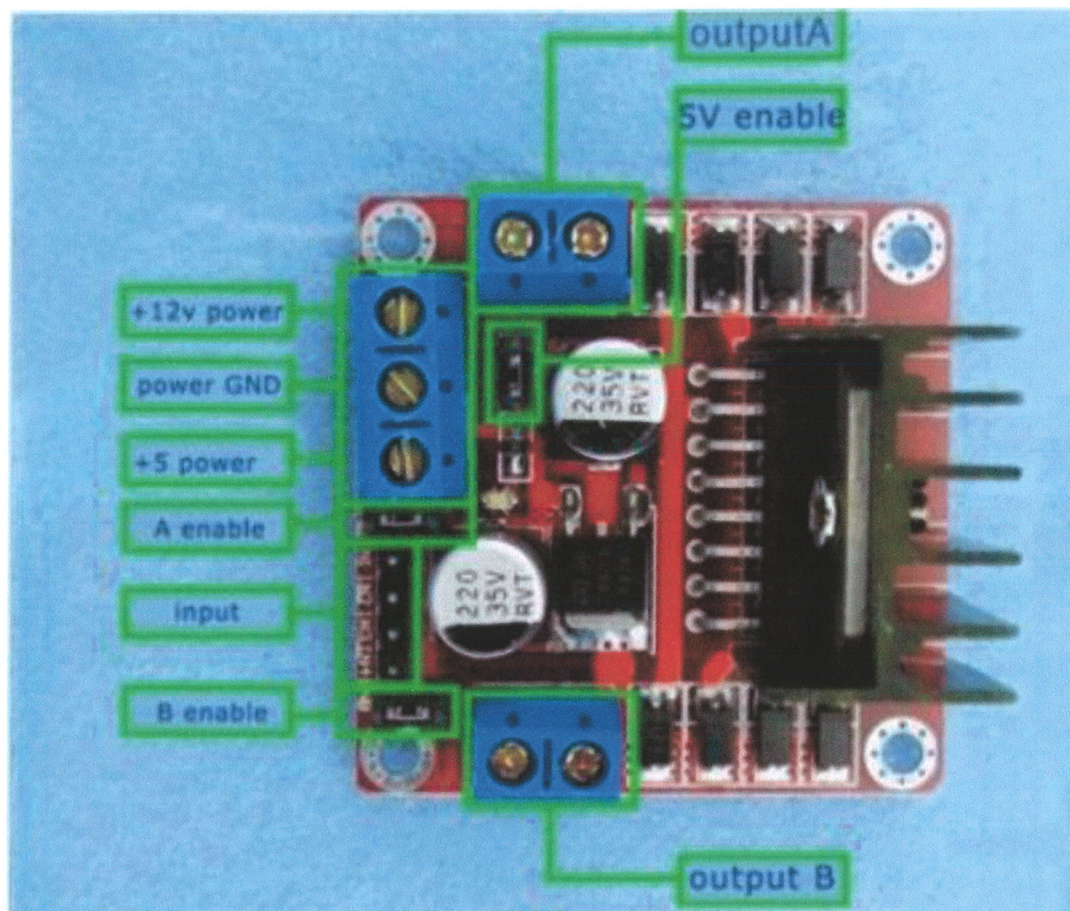
Ilustración 31 : Gráfico de matriz de selección de Pugh para microcontroladores



El microcontrolador/plataforma que mejor cumple la tarea con el movimiento del actuador lineal es el Atmega 328p-pu, en la sección de Análisis de Resultados se discute la razón de la selección.

7. Componentes y circuitos para el funcionamiento del actuador lineal
 - a. Módulo L298N

Ilustración 32. Vista de planta del módulo L298N "puente H"



(ABC electrónica)

El módulo L298N, mostrado en la Ilustración 32, es el módulo de potencia (electrónica de potencia) de hasta 4 A.

b. **Circuito.** En la Ilustración 33, se muestra la interconexión del módulo de potencia y el módulo de control (microcontrolador), con el actuador lineal. En la Tabla 10, se muestra la tabla de interconexiones, es decir que pines de cada circuito van conectados entre sí.

Ilustración 33. Esquematización del circuito de componentes para el funcionamiento del actuador lineal

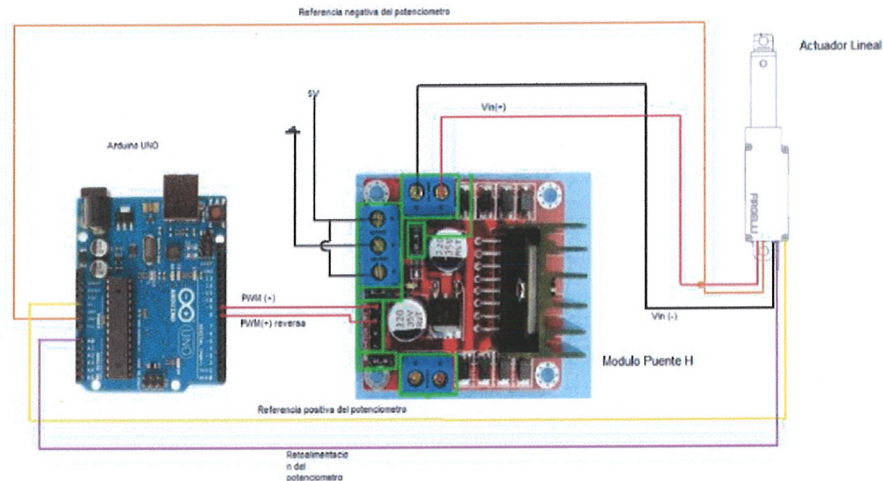


Tabla 10. Tabla de conexiones de 3 circuitos diferentes

| Arduino(PIN) | Puente H(PIN) | Actuador Lineal(PIN) | Conexión |
|--------------|---------------|----------------------|----------|
| A0 | | Morado | si |
| 9 | Input 1 | | si |
| 10 | Input 2 | | si |
| 5 | | Amarillo | si |
| GND | | Anaranjado | si |
| | Output 1 | Rojo | si |
| | Output 2 | Negro | si |

8. **Programación del microcontrolador para mover el actuador lineal.** Para la programación del movimiento de la base del modelo de experimentación, se tomaron varias veces datos para analizar cómo se comportaba el mecanismo y así poder lograr un movimiento más suave en la base del modelo de experimentación. Para la toma de datos definitiva se realizó una conversión de los valores digitales, para él envío y decodificación más eficiente de los mismos. En la Ilustración 34 y 35 se puede observar el diagrama de flujo de la programación del actuador lineal, y en el link siguiente se puede acceder

al código del programa del microcontrolador, https://code.google.com/p/proyecto-tunel-de-viento/source/browse/Programacion_del_microcontrolador_para_mover_el_actuador_lineal.ino

Ilustración 34: Programación del actuador lineal

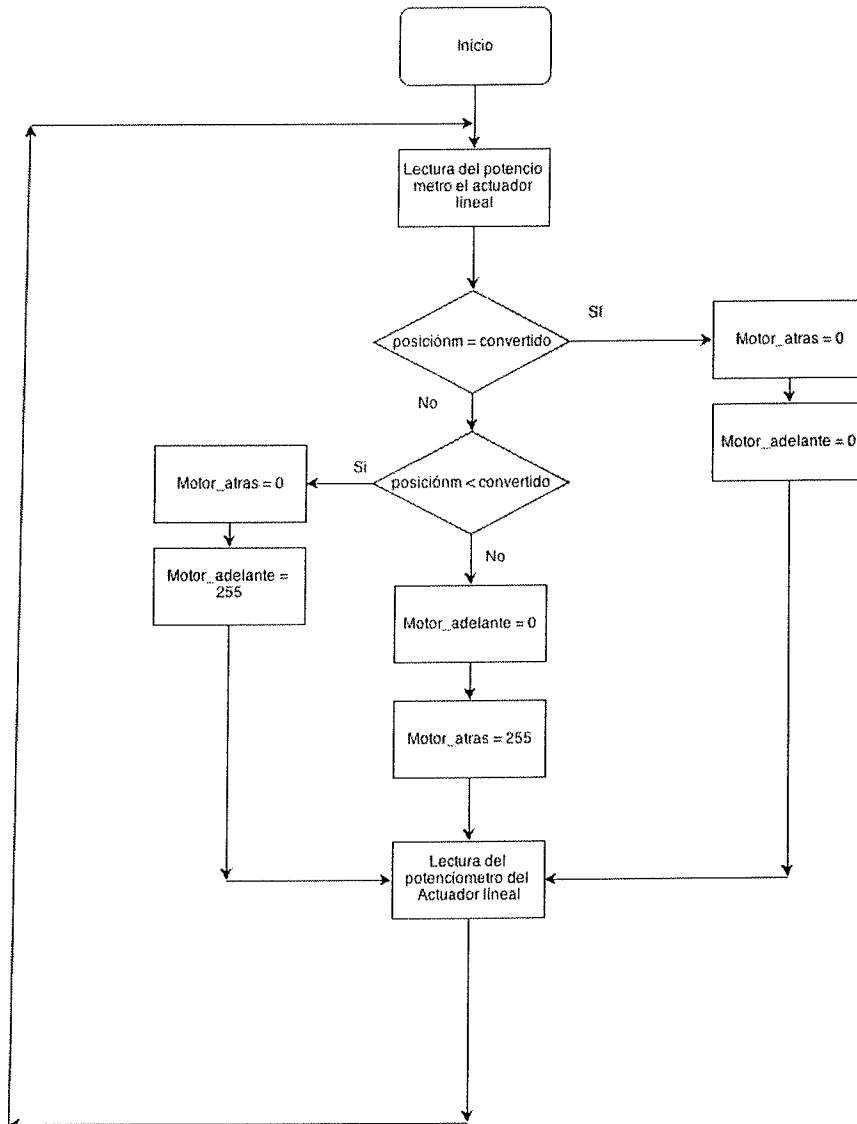
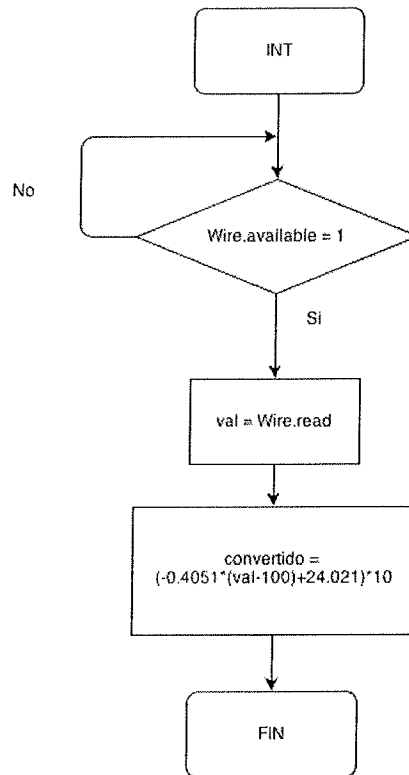


Ilustración 35: Interrupción de la comunicación I2C

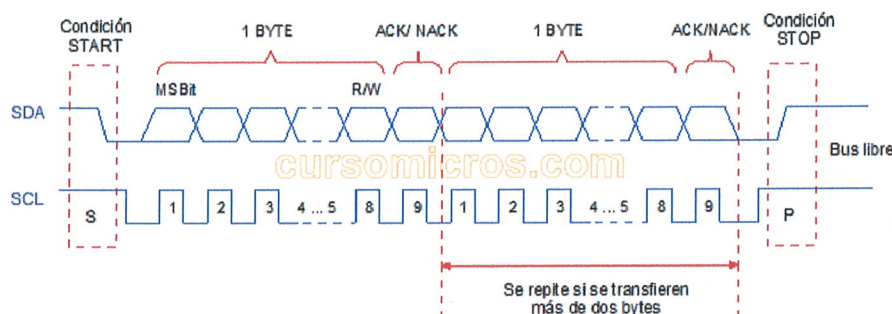


9. Comunicación con el Master:

a. Comunicación I2C. La comunicación I2C fue empleada para comunicar al esclavo (microcontrolador para mover el actuador lineal) con el maestro. I2C es un bus de comunicación serial síncrono, de dos líneas que fue originalmente desarrollado por Philips. I2C permite la comunicación entre múltiples dispositivos, todos conectados paralelamente, la transferencia de datos siempre se realiza entre dos dispositivos a la vez es decir maestro/esclavo. Por ejemplo el maestro tiene conectado 3 esclavos, el maestro solo le puede hablar a uno a la vez y no puede hablarle a los 3 esclavos al mismo tiempo. Esta forma de comunicación tiene varias reglas estandarizadas a seguir para que no hayan mal entendidos entre el maestro y los esclavos. La transferencia de datos se lleva a cabo mediante dos líneas, la línea serial de datos SDA y la línea serial de reloj SCL. La línea SDA es la que envía y recibe datos entre el maestro y esclavo, mientras que la SCL es la señal del reloj para sincronizar el envío de datos. Cada esclavo debe tener una dirección única (Cursomicros, 2013).

La transferencia de datos empieza por un START (empezar) y termina por un STOP (parar), como se muestra en la Ilustración 36 (Cursomicros, 2013).

Ilustración 36. Funcionamiento de la comunicación I2C



(EEHERALD)

El ejemplo anterior se muestra únicamente con dos bytes pero la comunicación I2C permite comunicar más bytes entre cada START y STOP, cada ciclo de START y STOP se le llama paquete de datos o mensaje (Cursomicros, 2013).

En la comunicación entre el maestro esclavo para el movimiento del actuador lineal se transfiere únicamente un byte, debido a que para la rotación de la base de experimentación se realiza únicamente de 80-124 decimal (80=0101-0000 y 124 =0111-1100) (Cursomicros, 2013).

B. PRESIÓN EN LA RECÁMARA DE EXPERIMENTACIÓN

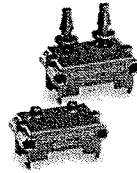
La presión de la cámara de experimentación es variable dependiendo de la abertura del túnel de viento. La máxima presión que se puede tener en la recámara de experimentación es de 0.0944 psi. Por lo que se requiere un sensor que sea capaz de medir dicha presión y capaz de transmitir los datos lo más lineales posible para así leerlos en la computadora.

Para medir la presión se tenían tres opciones de sensores los mismos se muestran en las Ilustraciones 37, 38 y 39:

1. Opciones de sensores:

a. Opción No.1:

Ilustración 37. Sensor de presión diferencial (SDP600 series)



(Sensirion)

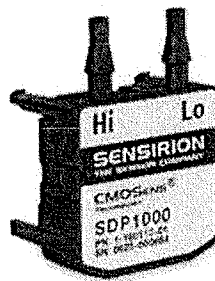
El sensor SDP600/610 de Sensirion, provee una salida I^2C la medida que el mismo provee es aceptable, en la Tabla 11 se muestran las características de rangos y porcentajes de error del mismo.

Tabla 11. Tabla de características del sensor SDP600/610

| Sensor | Rango de medida | Porcentaje de error |
|------------|---|---------------------|
| SDP600/610 | -500 a 500 Pa \pm 2" H ₂ O | 0.2 Pa +3% |

b. Opción No.2:

Ilustración 38. Sensor de presión diferencial SDP1000



(Sensirion)

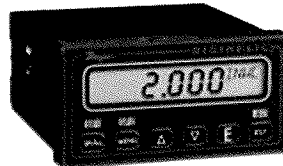
El sensor de marca Sensirion SDP1000 provee una salida de 0-4VDC, es un sensor de baja presión, provee una precisa medición de presión diferencial, en la Tabla 12 se muestran las características de rangos y porcentajes de error.

Tabla 12. Tabla de características del sensor SDP1000

| Sensor | Rango de medida | Porcentaje de error |
|---------|---------------------------------------|---------------------|
| SDP1000 | -500 a 500 Pa +/- 2" H ₂ O | 0.1" FS/1.0% m.v |

c. Opción No.3:

Ilustración 39. Sensor de presión diferencial Dwyer serie DH-008



(Dwyer)

El sensor de marca Dwyer, serie DH-008, provee varias formas de comunicación para obtener la información que el mismo está midiendo.

- Salida analógica de 4-20mA.
- Modbus RTU, RS485, 9600 baudios.

La Tabla 13 muestra las características más importantes del mismo.

Tabla 13. Tabla de características del sensor DH-008 Dwyer

| Sensor | Rango de medida | Porcentaje de error |
|--------|-------------------------|---------------------|
| DH-008 | 0-25 inH ₂ O | +/- 0.5% |

2. Selección de sensor de presión diferencial:

a. Tabla comparativa de los sensores. La Tabla 14, muestra la comparación entre las tres Opciones de sensores de presión.

Tabla 14. Tabla de calificación de las propuestas de los sensores para medir presión.

| Nombre del sensor | Opción del sensor | Linealidad | Histéresis | repetitividad | resolución |
|-------------------|-------------------|------------|------------|---------------|------------|
| SDP600 | 1 | sí | 0.5% | 0.5% | 12 bits |
| SDP1000 | 2 | | 0.5% | 0.5% | |
| DH-008 | 3 | sí | 0.5% | 0.5% | 16 bits |

En la Tabla 15 y 16, se muestra la matriz de selección de Pugh para el sensor de presión diferencial, así mismo se muestran los resultados en la Ilustración 40.

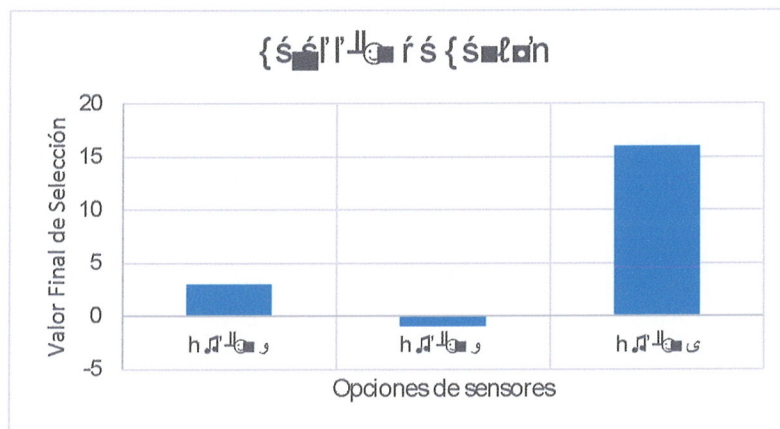
Tabla 15 : Tabla de matriz de selección de Pugh para el sensor de presión

| CRITERIO | LÍNEA BASE | PESO | Opción 1 | Opción 2 | Opción 3 |
|--------------|------------|------|----------|-----------|-----------|
| 1 | 0 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| 2 | 0 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 4 | 0 | -4 | 0 |
| 5 | 0 | 4 | 0 | 0 | 4 |
| 6 | 0 | 3 | 3 | 3 | -3 |
| 7 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| Total | | | 3 | -1 | 16 |

Tabla 16 : criterios de selección de la matriz de Pugh para sensor de presión

| CRITERIO |
|----------------------------------|
| 1 RANGO DE MEDIDA |
| 2 % DE ERROR |
| 3 HISTÉRESIS |
| 4 LINEALIDAD |
| 5 RESOLUCIÓN |
| 6 PRECIO |
| 7 REPETITIVIDAD |
| 8 OPCIONES DE OBTENCIÓN DE DATOS |

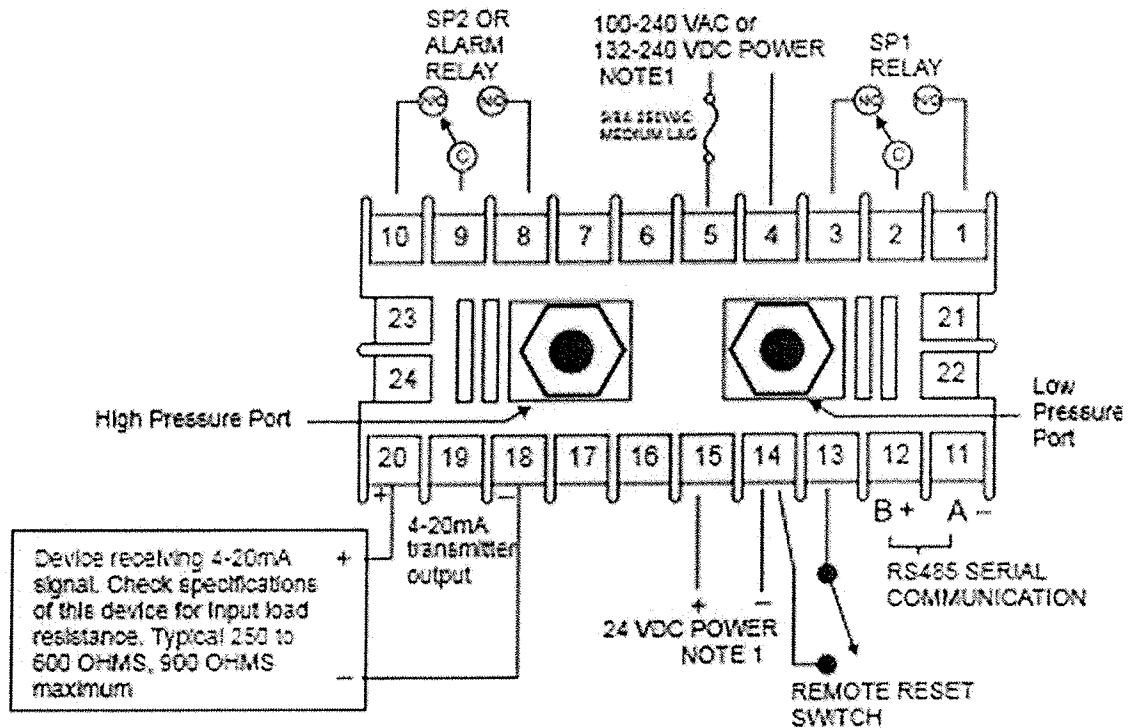
Ilustración 40 : Gráfico de resultados de la matriz de selección de Pugh



El sensor de presión diferencial que se seleccionó, fue el DH-008 de la casa Dwyer.

3. Utilización del Sensor Dwyer DH-008. El sensor en sí cuenta con varios puertos de salida y entrada como se muestra en la Ilustración 41:

Ilustración 41. Vista trasera del sensor DH-008 Dwyer



(Dwyer)

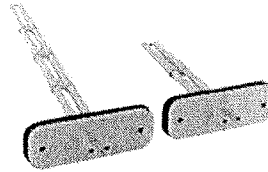
El sensor DH-008 Dwyer, tiene una salida de 4-20mA en las terminales 18 y 20, la corriente es lineal con respecto al rango de presiones que el sensor puede medir como se muestra en la sección de Resultados Ilustración 67.

Para poder utilizar este sensor se tienen que adquirir varios componentes extra, los mismos son los siguientes:

- Tubos Pitot , Ilustración 42.
- Conectores de Tubos Pitot (mangueras), Ilustración 44.

a. Tubo Pitot:

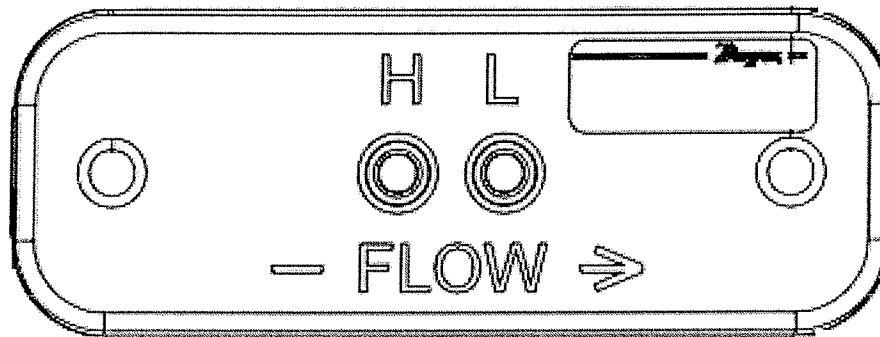
Ilustración 42. Tubo Pitot serie PAFS-1000 de Dwyer



(Dwyer)

El tubo Pitot PAFS-1000 conectado al sensor DH-008, detecta la presión diferencial en la sección de entrada de aire y el área del ventilador, por medio de sus dos aberturas H y L, la H detecta la presión total o de estancamiento, y la abertura L detecta la presión estática, la diferencia entre estas señales es la presión diferencial. En la Ilustración 43 se puede observar en donde se encuentran la H y la L en el tubo Pitot.

Ilustración 43. Parte trasera del tubo pitotPAFS-1000



(Dwyer)

b. Conectores. En la Ilustración 44, se muestra lo que es el conector de los tubos Pitot con el controlador de presión.

Ilustración 44. Conector (manguera)



El conector es una manguera de 6mm (1/4") de diámetro interno (ID) en una parte y en la otra parte de la misma de 1/8" de diámetro interno.

4. **Cómo funciona el sensor DH-008.** El sensor DH-008 de Dwyer, es un instrumento medidor de presión, el mismo puede ser alimentado con corriente alterna AC o con 24 VDC. Está completamente prohibido conectar los dos tipos de alimentación al mismo tiempo, porque se provocara un daño permanente en el dispositivo. La instalación del sensor, se debe hacer en una locación la cual no pase de 75°C.

El sensor DH-008, es conectado a corriente alterna AC para su funcionamiento en el túnel de viento. La forma de comunicación utilizada para obtener el dato de presión y enviarlo al Microcontrolador Maestro es MODBUS RTU.

El sensor tiene varios menús, en este trabajo de gradación se utilizan solamente los menús de las variables de interés a medir y el menú de calibración en cero, ya que los otros menús son para uso del software original de fábrica del sensor.

Menús de variable a medir y de calibración:

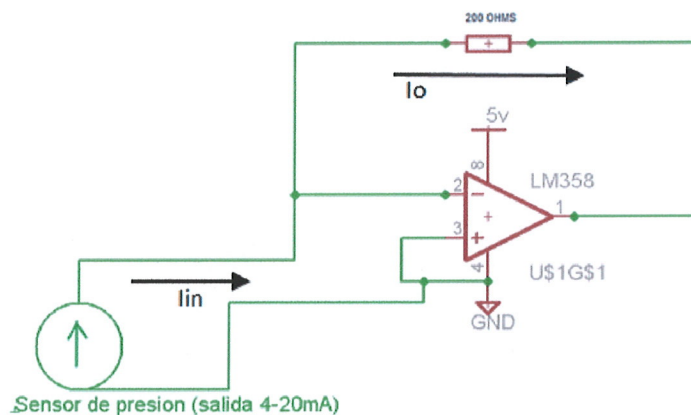
- Presión (PRES)
- Velocidad (VEL)
- Calibración (CAL)

Para mayor información acerca de cómo configurar los menús mencionados anteriormente, consultar en la sección de Información Técnica para utilización de los submenús de interés, en Anexos.

5. Componentes necesarios para la obtención de datos del sensor. Para la obtención de datos del sensor se realizaron dos pruebas, una por la señal analógica de 4-20mA y la otra por comunicación serial MODBUS RTU.

Para la obtención de datos por señal analógica de 4-20mA, se realizó un circuito conversor corriente-voltaje (conversor de corriente a voltaje), el cual consistió en los siguientes componentes, un opamp lm358, y una resistencia de 200ohms. En la Ilustración 45 se muestran los cálculos y el esquema del circuito.

Ilustración 45. Esquema del circuito convertidor de corriente a voltaje y cálculos respectivos



$$I_{in} - I_o = 0$$

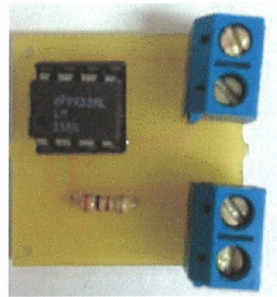
$$I_o = -\frac{(V_o - 0)}{200 \Omega} = -\frac{V_o}{200 \Omega}$$

$$I_{in} - \frac{V_o}{200 \Omega} = 0$$

$$V_o = I_{in} * 200 \Omega$$

El circuito impreso se muestra en la Ilustración 46.

Ilustración 46. Circuito conversor de corriente a voltaje



Con la comunicación analógica 4-20mA, se tomaron datos del valor del ADC del microcontrolador Vs. valor de presión desplegado en la pantalla del sensor, así también como datos de corriente Vs. presión desplegado en la pantalla del sensor, y presión desplegada en la pantalla del sensor Vs. voltaje del circuito conversor de corriente a voltaje.

Luego de la toma de datos se realizó una regresión lineal de la presión vs. el valor digital, obteniendo así la ecuación que convierte el valor de voltaje digitalizado a presión.

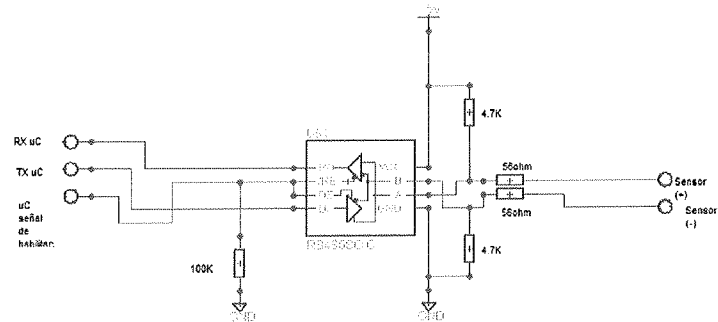
Por otro lado paralelamente se implementó la otra forma de obtención de datos la comunicación serial MODBUS RTU, con ella se obtenían los datos directamente desde el registro del sensor, eliminando así la necesidad de tomar datos experimentales para realizar una regresión lineal. Para la comunicación Modbus RTU, se necesita un chip especial transceptor RS485 (transceptor: dispositivo que cuenta con un transmisor y un receptor, que comparten la misma circuitería o se encuentran en el mismo empaquetado), el chip utilizado fue el SN75HVD08, y los demás componentes necesarios fueron resistencias de distintos valores, los valores de resistencias y el esquemático se muestran a continuación, el circuito se muestra en la Ilustración 47.

a. Componentes:

- 1 SN75HVD08 (Wide Supply Range RS-485). ó análogo, (maxRS485, ADM485).
- 1 resistencia de 100k ohm.
- 2 de 56ohms.
- resistencias de 4.7k ohm

b. Esquemático:

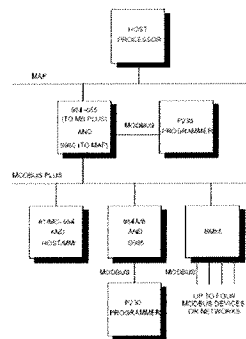
Ilustración 47. Esquema del circuito RS485



6. **Comunicación MODBUS RTU.** Modbus es un protocolo de comunicaciones basado en la arquitectura maestro/esclavo. Es un protocolo estándar en la industria, es público, su implementación es fácil y requiere poco desarrollo y maneja bloques de datos sin suponer restricciones. La Ilustración 48 muestra como los dispositivos están interconectados en una jerarquía de redes que emplean diferentes técnicas de comunicación (Modicon, 1996).

Este protocolo permite direccionar hasta 246 esclavos (1-247). La velocidad de la comunicación depende de la velocidad de los esclavos en procesar sus datos y la distancia que existe entre maestro y esclavo. Pero típicamente la velocidad es de 19.2Kbps, a una distancia de 4000 pies (Thompson, 2008).

Ilustración 48. Esquema de utilización de Modbus RTU

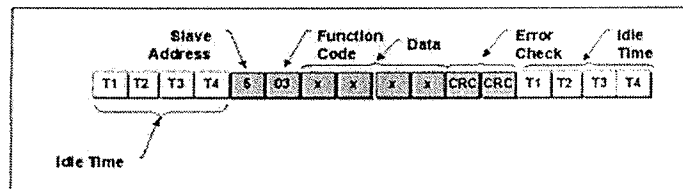


(Thompson, 2008)

a. Operación en las redes MODBUS. El maestro puede acceder a diferentes esclavos o puede iniciar mensajes de transmisión a todos los esclavos. Los esclavos regresan el mensaje (Responden) al llamado, si el maestro menciona su dirección.

El protocolo Modbus establece un formato en el que el maestro le envía al esclavo una serie de bytes en los cuales van contenido, un byte de intervalo de silencio como se muestra en la Ilustración 49 (IDLE TIME), la dirección del dispositivo a comunicarse (Ilustración 49: SLAVE ADDRESS), el código de función (Ilustración 49: FUNCTION CODE), los datos (Ilustración 49: DATA), el código de chequeo de error (Ilustración 49: ERROR CHECK), y por último otro tiempo de espera (Ilustración 49: IDLE TIME). Todos los campos enviados en el mensaje son hexadecimales (Jin, 2012).

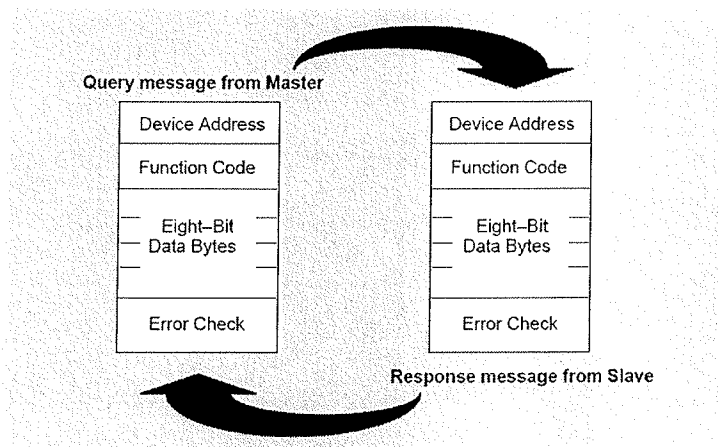
Ilustración 49. Esquema de la información que contiene cada serie de comunicación



(Thompson, 2008)

El ciclo de la pregunta del maestro y respuesta del esclavo se muestran en la Ilustración 50.

Ilustración 50. Esquema de funcionamiento de la comunicación Modbus RTU



(Modicon, 1996)

La pregunta y la respuesta:

Cuando el campo de dirección (SLAVE ADDRESS) es recibido por el esclavo, el mismo genera una decodificación del campo para corroborar si es con él que el maestro quiere comunicarse, respondiéndole al maestro con su propia dirección para decirle que se está comunicando. Luego de la corroboración de la dirección, el resto del mensaje es transmitido en una cadena continua de bytes (Modicon, 1996).

El campo de código de función, para Modbus RTU lo conforman 8 bits, es decir un rango de 0-255 numero decimal. En el campo de código de función (FUNCTION CODE), está contenida la orden de lo que el esclavo debe de hacer, es decir que función debe de realizar el mismo. Por ejemplo si se debe de encender o apagar, leer un registro, escribir un registro, entre otras (Modicon, 1996).

Cuando el campo de código de función (FUNCTION CODE) es recibido por el esclavo, el mismo coloca en su registro lo que se llama eco en el campo del código de función, es decir coloca el mismo código de función que el master le envió para luego ejecutar la función determinada por el mismo (Modicon, 1996).

El campo de datos (DATA), contiene información adicional que el esclavo debe de usar para ejecutar la acción definida en el campo de código de función (FUNCTION CODE). El campo de datos puede incluir dirección de registros o la cantidad de datos que se desean leer o escribir (Thompson, 2008).

Por ejemplo, El master le solicita al esclavo, leer un grupo de registros, para ello se utiliza el código de función (FUNCTION CODE) 03, luego en el campo de datos (DATA), se especifica la dirección del registro en el que se quiere empezar a leer la información, y cuantos registros a partir de dicha dirección leer (Jin, 2012).

Para la revisión del error se utilizó el método CRC (Cyclical Redundancy Check), este método revisa el contenido de todo el mensaje es decir revisa byte por byte y luego revisa cada bit de todos los bytes. El método CRC contiene un valor de 16 bits, es decir 2 bytes, el método es calculado por el master, el cual adjunta el CRC al mensaje. El esclavo recalcula otro método CRC mientras el mensaje se está recibiendo, y compara el valor calculado con el valor actual que se encuentra en el CRC. Si un error ocurre el código de función es modificado para indicar que en los bytes hay un error. Los bytes de datos cambian para describir el error que había en la información. El código de error permite que el master tenga la certeza de haber recibido una información válida (Modicon, 1996).

b. Funciones MODBUS RTU. Las diferentes funciones de Modbus RTU se muestran en la Ilustración 51.

Ilustración 51. Instrucciones del MODBUS RTU.

| Código | Función |
|---------|---------------------------|
| 01 o 02 | Leer N bits (máximo 255) |
| 03 o 04 | Leer N registros (máx 52) |
| 05 | Escribir 1 bit |
| 06 | Escribir 1 registro |

La función utilizada para la comunicación MODBUS RTU, fue la función 03. La función 03 sirve para leer datos binarios de N cantidad de registros de almacenamiento (Modicon, 1996).

Pregunta:

En el mensaje de pregunta especifica en que numero de registro y que cantidad de registros leerá el master. Los registros están numerados desde el 0 hasta el 15 decimal. Un ejemplo se muestra en la Ilustración 52 ((Modicon, 1996).

Ilustración 52. Ejemplo del mensaje de pregunta de la función 03 del MODBUS RTU

| QUERY | |
|--------------------------|---------------|
| Field Name | Example (Hex) |
| Slave Address | 11 |
| Function | 03 |
| Starting Address Hi | 00 |
| Starting Address Lo | 6B |
| No. of Points Hi | 00 |
| No. of Points Lo | 03 |
| Error Check (LRC or CRC) | — |

Respuesta:

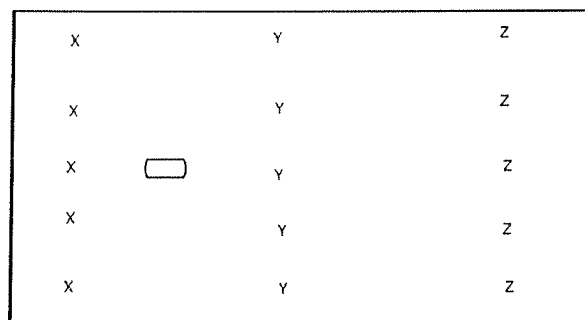
El dato que contiene el registro a leer en el mensaje esta empacado en dos bytes por registro, para cada registro el primer byte contiene el número más alto de bits y en el segundo contiene el número más bajo de bits. Un ejemplo se muestra en la Ilustración 53 (Modicon, 1996).

Ilustración 53. Ejemplo de la respuesta de la función 03 de MODBUS RTU.

| RESPONSE | |
|--------------------------|---------------|
| Field Name | Example (Hex) |
| Slave Address | 11 |
| Function | 03 |
| Byte Count | 06 |
| Data Hi (Register 40108) | 02 |
| Data Lo (Register 40108) | 2B |
| Data Hi (Register 40109) | 00 |
| Data Lo (Register 40109) | 00 |
| Data Hi (Register 40110) | 00 |
| Data Lo (Register 40110) | 64 |
| Error Check (LRC or CRC) | — |

7. Colocación del sensor de presión:

Ilustración 54. Vista de planta de la recámara de experimentación.

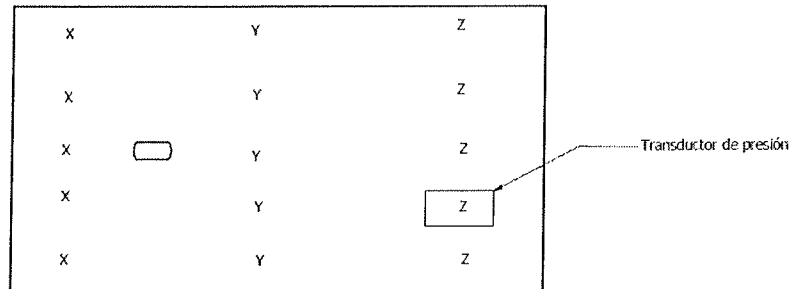


Las letras “X”, “Y” y “Z”, representan los diferentes puntos al azar en los que se colocó el anemómetro, como se muestra en la Ilustración 54.

La recámara de experimentación, mide 30cm por 50cm, en dicha área pasa el viento de forma turbulenta, causando así diferencia de velocidad y de presión en toda su área. Por esa misma razón se tomaron datos de velocidad del viento en diferentes puntos de la recámara de experimentación, para así determinar la parte

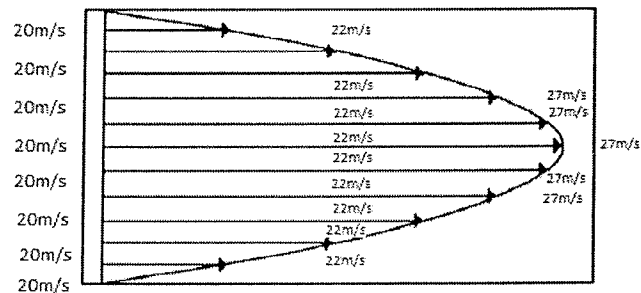
idónea de la recámara, en la cual colocar el sensor. La colocación del sensor se hizo como se muestra en la Ilustración 55.

Ilustración 55. Vista de planta de la recámara de experimentación y posición del sensor de presión



En la Ilustración 56 se muestra el comportamiento idóneo del aire, en un ducto rectangular vacío por dentro.

Ilustración 56. Comportamiento de la velocidad de un fluido no comprimible en un ducto rectangular



Los datos se tomaron con un aparato llamado anemómetro.

Al haber colocado el sensor en el lugar que se muestra en la Ilustración 55, se tomaron datos de presión en los diferentes puntos de la recámara de experimentación mostrados en la Ilustración 54, para así obtener un factor de corrección del dato de presión. Los datos y el factor de corrección se muestran en la sección de resultados.

8. Programación de la toma de datos del sensor DH-008. En la Ilustración 57 se muestra el diagrama de flujo de la programación para la comunicación Modbus RTU desde el sensor a un microcontrolador, el código de programa se encuentra en el link, <https://code.google.com/p/proyecto-tunel->

de-viento/source/browse/MODBUS_485.ino . En la Ilustración 58, se muestra el diagrama de flujo de la interrupción en el microcontrolador que causa la comunicación I2C.

Ilustración 57: Toma de datos del sensor DH-008

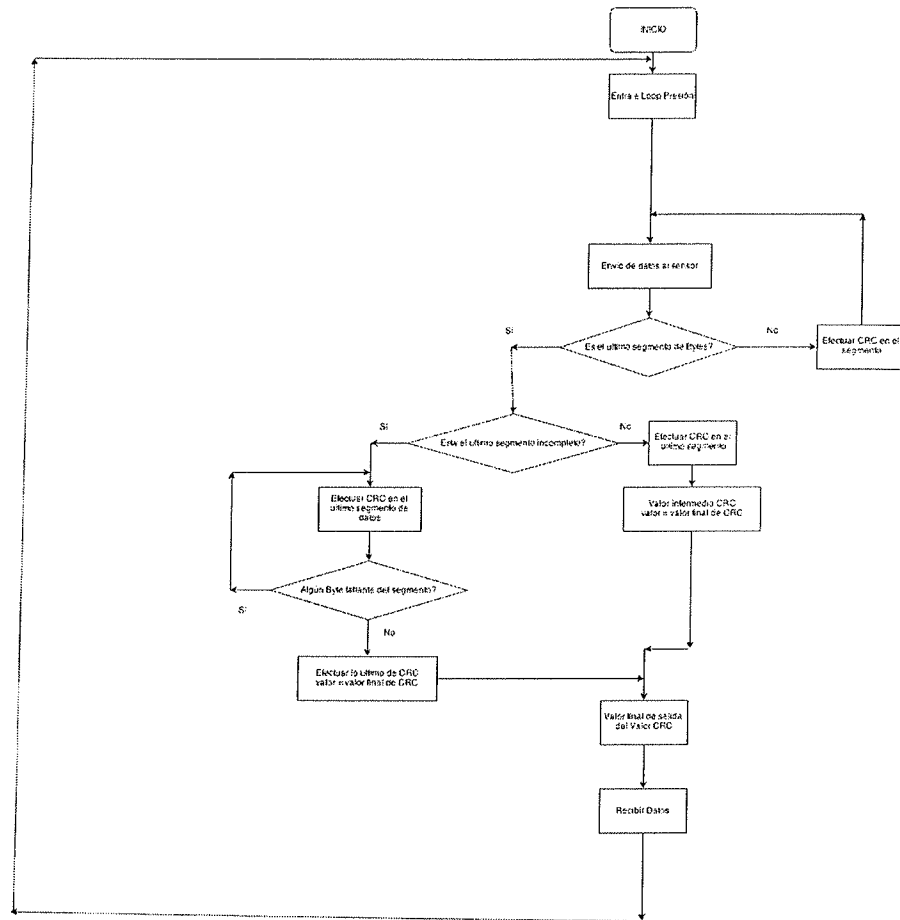
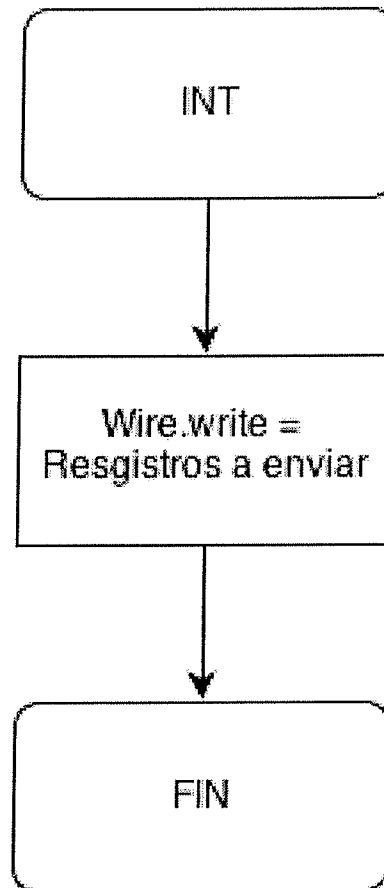
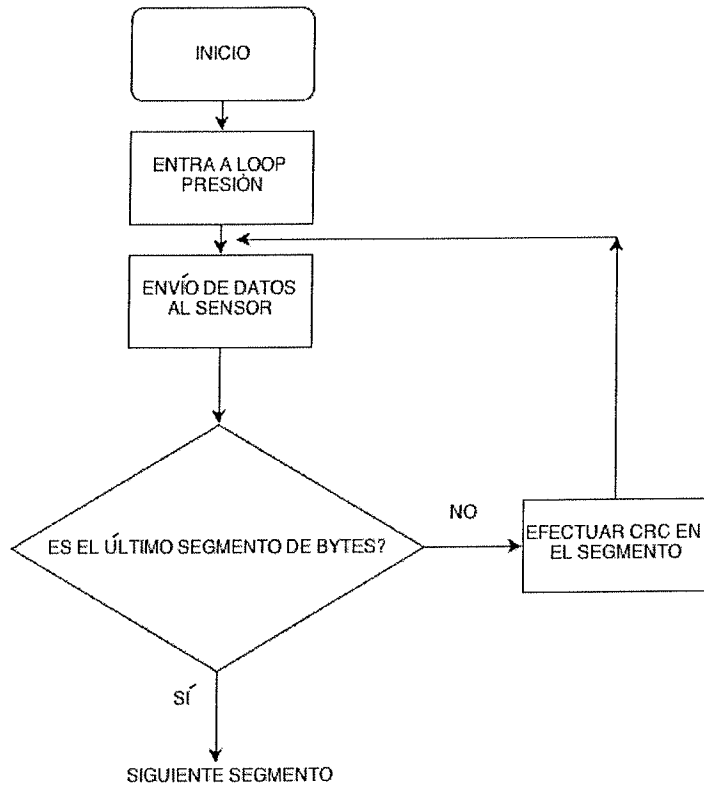


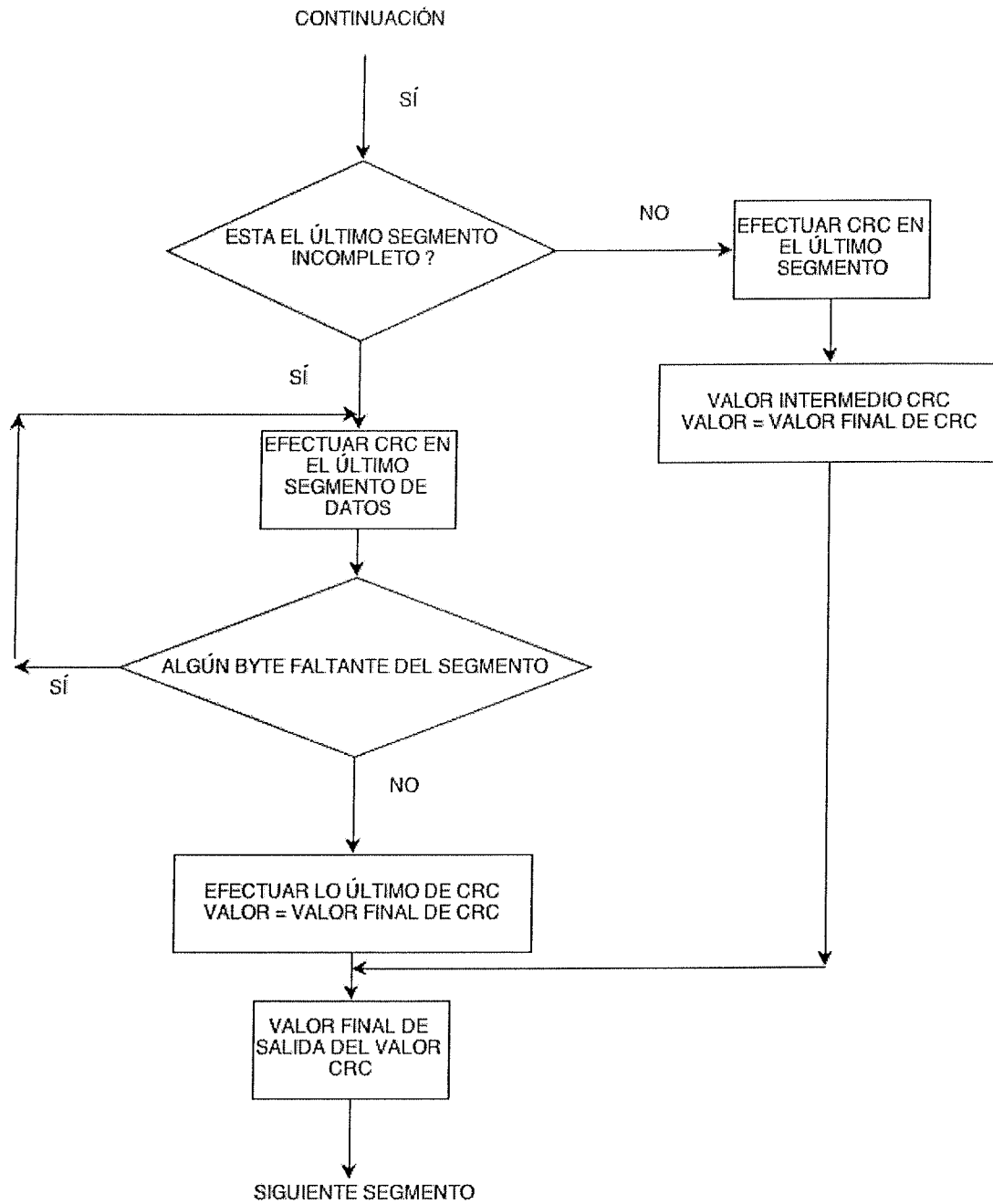
Ilustración 58: Diagrama de flujo del envío I2C de la información del sensor DH-008

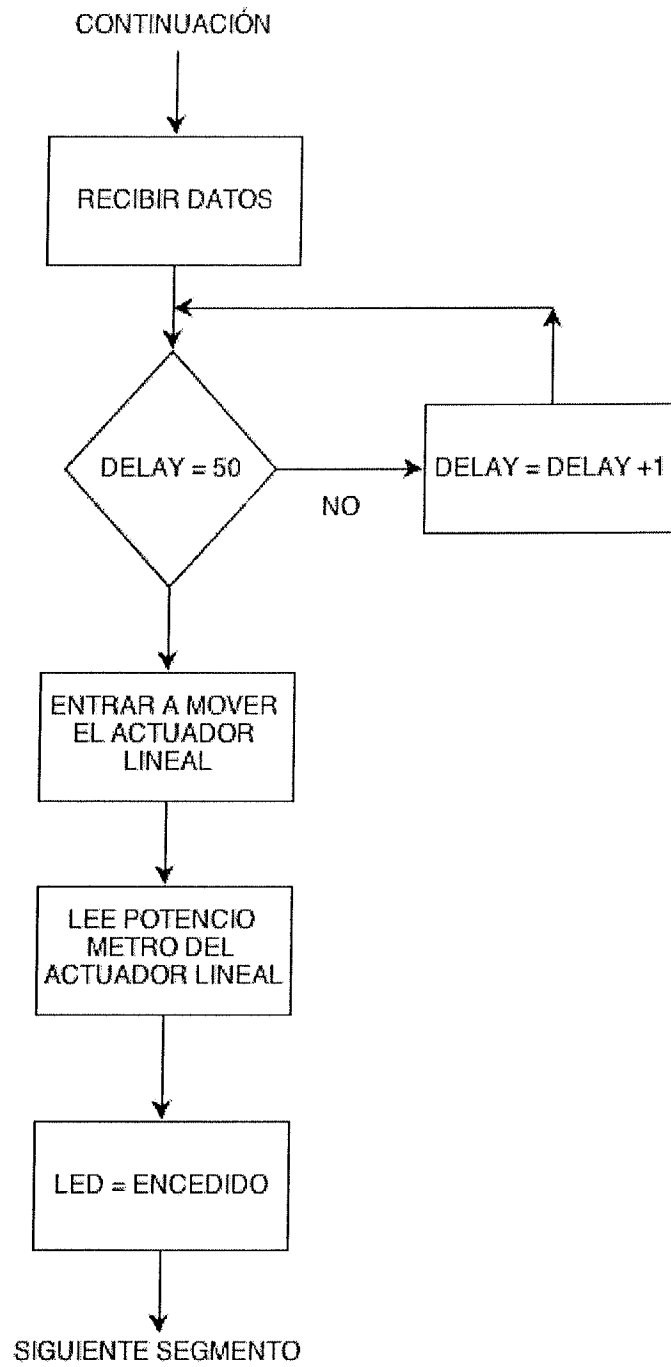


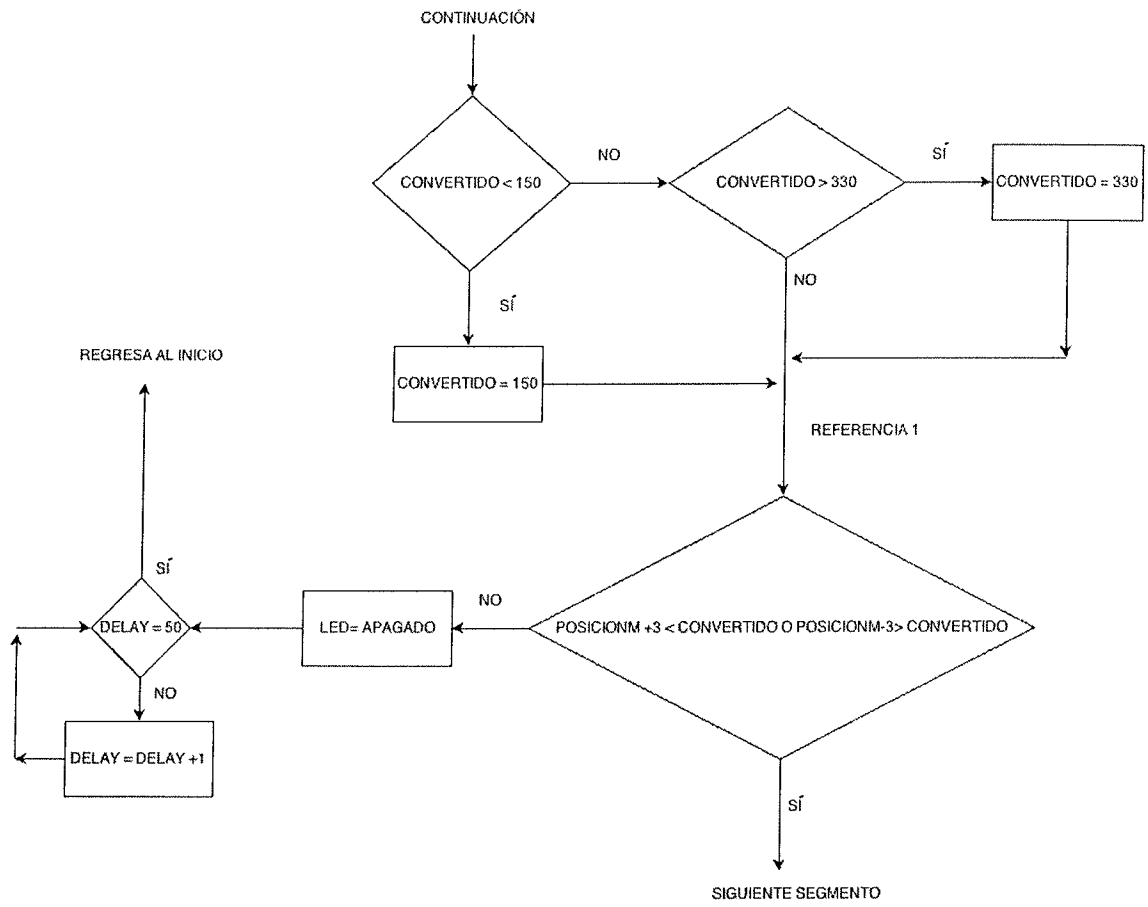
9. Programación combinada del Master (Movimiento del motor, obtención de datos del sensor). En el link siguiente se muestra el código del programa, https://code.google.com/p/proyecto-tunel-de-viento/source/browse/PROGRAMAS_UNIDOS_MOVIMIENTO_DEL_MOTOR_Y_LECTOR_DE_PRESSION.ino, al igual que en la Ilustración 59 se muestra el diagrama de flujo.

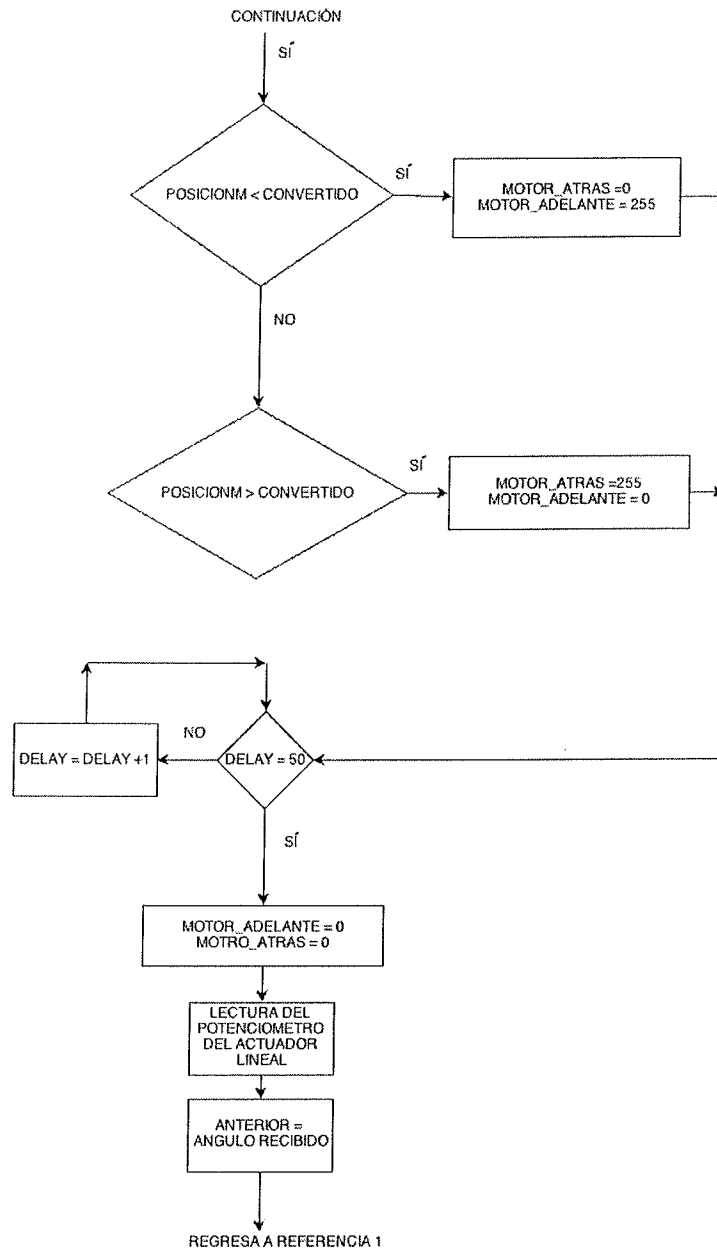
Ilustración 59. Programas de presión y movimiento de la base de experimentación unidos











En la Ilustración 59, se muestra el diagrama de flujo del movimiento del actuador lineal combinado con la lectura del sensor de presión. En la Ilustración 60 y 61 se puede observar el diagrama de flujo de las interrupciones que causa la comunicación I2C en el microcontrolador.

Ilustración 60. Interrupción para recibir ángulo desde el Master I2C

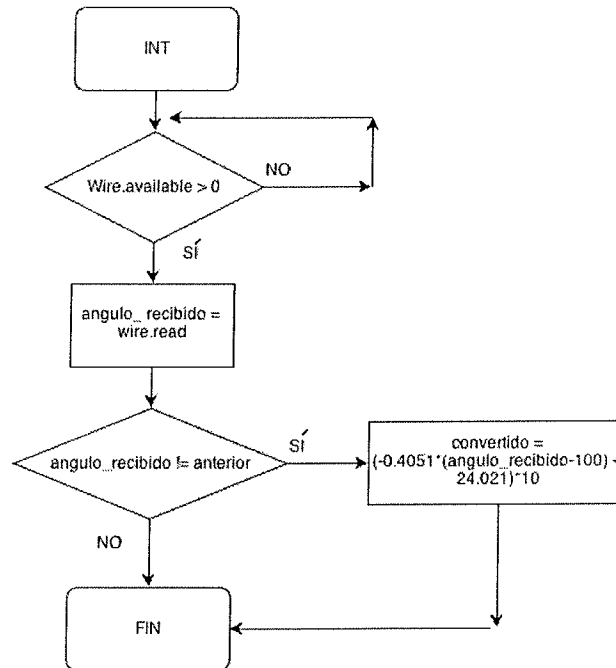
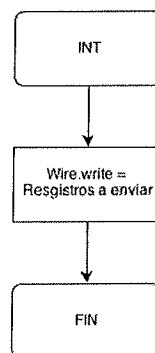


Ilustración 61. Interrupción para enviar datos del sensor DH-008 via I2C



VI. RESULTADOS

A. MOVIMIENTO ROTACIONAL DE LA BASE DE EXPERIMENTACIÓN DEL MODELO:

El Mecanismo seleccionado fue el Mecanismo No.2: en las siguientes tablas se muestran los ángulos de movimiento de la base del modelo con respecto a su valor digital respectivo.

1. Primera toma de datos. En la Tabla 17 de resultados, se muestran datos de valor digital respecto al ángulo en el que se encontraba el modelo. En la Ilustración 62, se puede observar su comportamiento.

Tabla 17. Datos valor digital del potenciómetro y ángulo respectivo

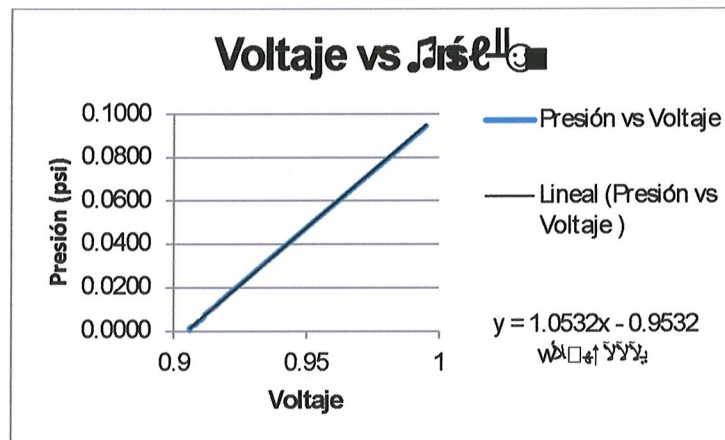
| valor digital | ángulo en grados | valor digital | ángulo en grados (-) |
|---------------|------------------|---------------|----------------------|
| 5-53 | 40 | 207-210 | -1 |
| 54-57 | 39 | 211-213 | -2 |
| 58-69 | 38 | 214-217 | -3 |
| 70-85 | 37 | 218-221 | -4 |
| 86-87 | 36 | 222-225 | -5 |
| 88-89 | 35 | 226-229 | -6 |
| 90-91 | 34 | 230-231 | -7 |
| 92-95 | 33 | 232-235 | -8 |
| 96-99 | 32 | 236-241 | -9 |
| 100-101 | 31 | 242-245 | -10 |
| 102-107 | 30 | 246-253 | -11 |
| 108-109 | 29 | 254-265 | -12 |
| 110-113 | 28 | 266-271 | -13 |
| 114-115 | 27 | 272-277 | -14 |
| 116-117 | 26 | 278-281 | -15 |
| 118-121 | 25 | 282-285 | -16 |
| 122-123 | 24 | 286-291 | -17 |
| 124-127 | 23 | 292-297 | -18 |
| 126-131 | 22 | 298-304 | -19 |
| 132-133 | 21 | 305-311 | -20 |
| 134-137 | 20 | 312-317 | -21 |
| 138-141 | 19 | 318-323 | -22 |
| 142-143 | 18 | 324-329 | -23 |
| 144-147 | 17 | 330-337 | -24 |
| 146-151 | 16 | 338-345 | -25 |
| 152-153 | 15 | 346-347 | -26 |
| 154-157 | 14 | 348-355 | -27 |
| 158-161 | 13 | 356-359 | -28 |
| 162-165 | 12 | 360-365 | -29 |
| 166-167 | 11 | 366-375 | -30 |
| 168-171 | 10 | | |
| 172-175 | 9 | | |
| 176-179 | 8 | | |
| 180-181 | 7 | | |
| 182-187 | 6 | | |
| 188-191 | 5 | | |
| 192-193 | 4 | | |
| 194-197 | 3 | | |
| 198-202 | 2 | | |
| 203 | 1 | | |
| 204-206 | 0 | | |

2. **Presión Vs voltaje.** Los datos de presión Vs voltaje se muestran en la Tabla 22, y su comportamiento se muestra en la Ilustración 68.

Tabla 22. Presión mostrada en el display vs voltaje de salida del conversor.

| Presión (psi) | voltaje (V) |
|------------------|----------------|
| 0.0944 | 0.995 |
| 0.0508 | 0.953 |
| 0.0288 | 0.932 |
| 0.0173 | 0.921 |
| 0.0108 | 0.915 |
| 0.0077 | 0.912 |
| 0.0057 | 0.911 |
| 0.0042 | 0.909 |
| 0.0029 | 0.908 |
| 0.0021 | 0.907 |
| 0.0012 | 0.906 |
| 0.0008 | 0.906 |
| 0.0004 | 0.906 |

Ilustración 68. Gráfica de presión mostrada en el display vs voltaje de salida del conversor.



B. PRESIÓN:

El sensor DH-008, como ya se ha mencionado tiene dos formas de transmitir datos uno con una salida de 4-20ma y la otra forma es Modbus RTU.

Para la salida de 4-20ma se tomaron los datos siguientes:

1. **Presión Vs corriente.** En la Tabla 21, se muestran los datos de presión vs corriente, del sensor DH-008, en la Ilustración 67, se puede observar su linealidad.

Tabla 21. Tabla de presión vs corriente de salida del sensor

| presión (psi) | corriente (mA) |
|------------------|-------------------|
| 0.0944 | 5.66 |
| 0.0508 | 4.88 |
| 0.0288 | 4.50 |
| 0.0173 | 4.30 |
| 0.0108 | 4.18 |
| 0.0077 | 4.12 |
| 0.0057 | 4.09 |
| 0.0042 | 4.06 |
| 0.0029 | 4.04 |
| 0.0021 | 4.02 |
| 0.0012 | 4.01 |
| 0.0008 | 4.00 |
| 0.0004 | 4.00 |

Ilustración 67. Gráfica de presión mostrada en el display vs corriente de salida del sensor.

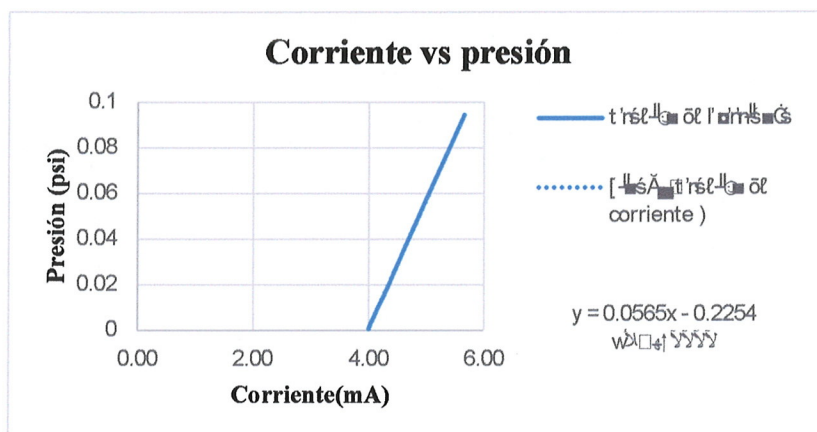
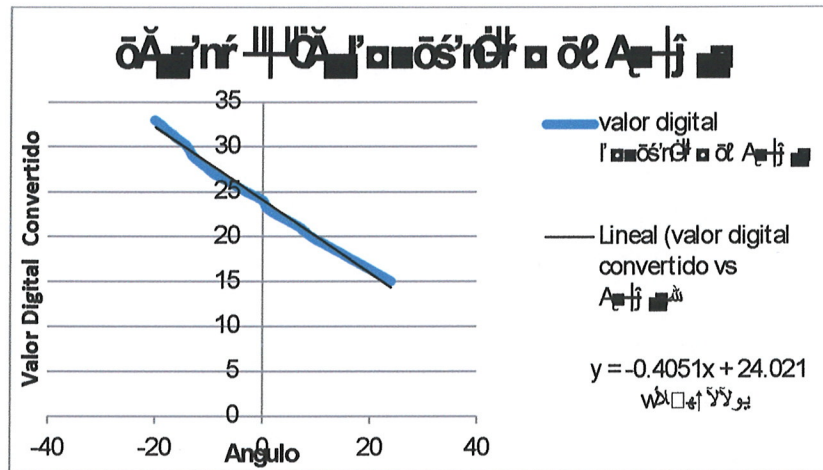
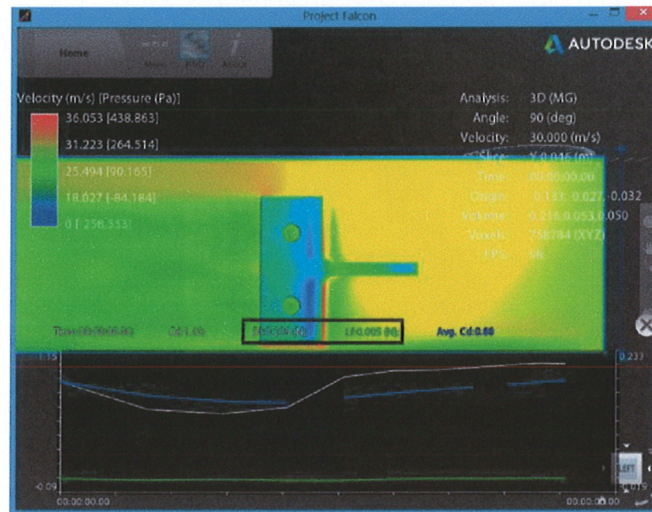


Ilustración 65. Gráfica de valor digital convertido del potenciómetro del actuador lineal vs ángulo.



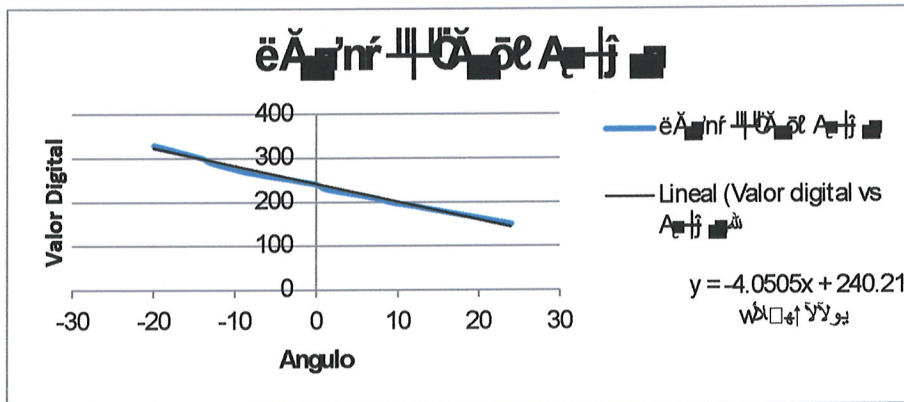
5. Diseño de la base del modelo de experimentación. La simulación en el software Falcon se muestra en la Ilustración, 66.

Ilustración 66. Simulación en software de la base del modelo de experimentación, en donde se muestran los datos de fuerza de sustentación y arrastre.



Fuerza de arrastre = 0.209 N
Fuerza de sustentación = 0.005 N

Ilustración 64. Gráfica valor digital del potenciómetro del actuador lineal vs ángulo.

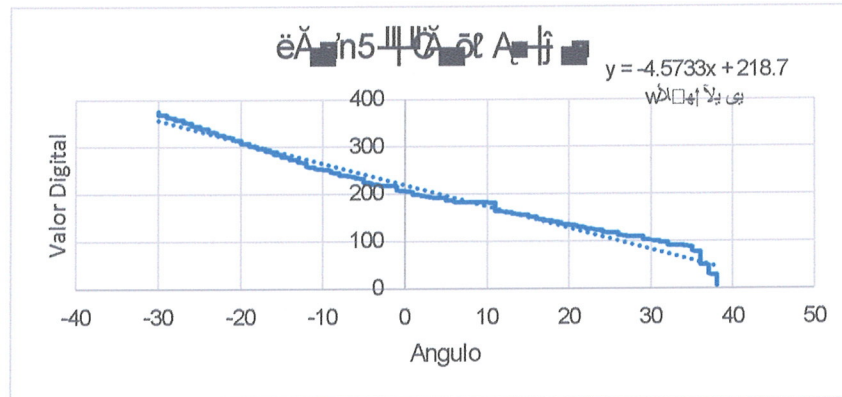


4. **Conversión valor digital.** La conversión de valor digital consistió en la suma de un número con valor de 100, al ángulo (eje x), para eliminar así los negativos, al momento del envío del master al esclavo. En el esclavo dicho valor de 100 se le resta al ángulo (eje x) para así lograr el movimiento del actuador lineal. Dichos datos se muestran en la Tabla 20, la linealidad se muestra en la Ilustración 65.

Tabla 20. Tabla de conversión de valor digital para envío de datos

| Valor digital | Ángulo | Ángulo de envío |
|---------------|--------|-----------------|
| 150 | 24 | 124 |
| 160 | 21 | 121 |
| 170 | 18 | 118 |
| 180 | 15 | 115 |
| 190 | 12 | 112 |
| 200 | 9 | 109 |
| 210 | 7 | 107 |
| 220 | 4 | 104 |
| 230 | 1 | 101 |
| 240 | 0 | 100 |
| 250 | -3 | 97 |
| 260 | -6 | 94 |
| 270 | -9 | 91 |
| 280 | -11 | 89 |
| 290 | -13 | 87 |
| 300 | -14 | 86 |
| 310 | -16 | 84 |
| 320 | -18 | 82 |
| 330 | -20 | 80 |

Ilustración 63. Gráfica valor digital del potenciómetro del actuador lineal vs ángulo.

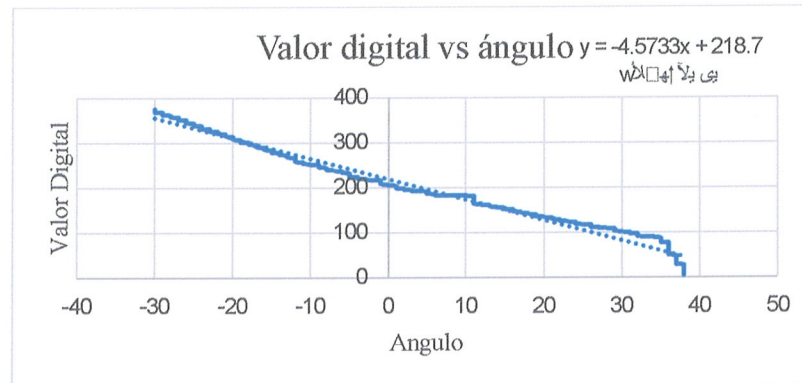


3. **Tercera toma de datos.** La tercera toma de datos se realizó en un punto en el que el agujero de corredera no tuviera mucha interferencia, dicho punto era el punto lineal del mecanismo, es decir el mecanismo se comportaba linealmente. Los datos tomados en ese punto se muestran en la Tabla 19, la linealidad se puede observar en la Ilustración 64.

Tabla 19. Datos valor digital del potenciómetro y ángulo respectivo según valor digital

| valor digital | ángulo en grados |
|---------------|------------------|
| 150 | 24 |
| 160 | 21 |
| 170 | 18 |
| 180 | 15 |
| 190 | 12 |
| 200 | 9 |
| 210 | 7 |
| 220 | 4 |
| 230 | 1 |
| 240 | 0 |
| 250 | -3 |
| 260 | -6 |
| 270 | -9 |
| 280 | -11 |
| 290 | -13 |
| 300 | -14 |
| 310 | -16 |
| 320 | -18 |
| 330 | -20 |

Ilustración 62. Gráfica valor digital del potenciómetro del actuador lineal vs ángulo.



2. **Segunda toma de datos.** La segunda toma de datos consistió en repetir la primera toma de datos, obteniendo los valores que se muestran en la Tabla 18, así también su gráfica respectiva se muestra en la Ilustración 63.

Tabla 18. Datos valor digital del potenciómetro y ángulo respectivo según valor digital

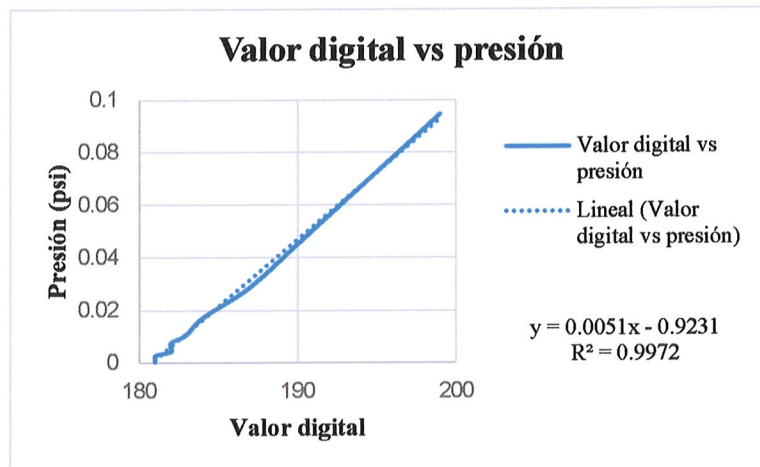
| valor digital | ángulo en grados (+) | valor digital | ángulo en grados (-) |
|---------------|----------------------|---------------|----------------------|
| 5-28 | 38 | 208-217 | -1 |
| 29-49 | 37 | 218-220 | -3 |
| 50-77 | 36 | 221-224 | -4 |
| 78-88 | 35 | 225-233 | -5 |
| 89-90 | 34 | 234-237 | -6 |
| 91-92 | 32 | 238-239 | -7 |
| 93-97 | 31 | 240-25 | -8 |
| 98-100 | 30 | 246-251 | -9 |
| 101-102 | 29 | 252-253 | -10 |
| 103-109 | 28 | 254-257 | -11 |
| 110-111 | 27 | 258-267 | -12 |
| 112-117 | 26 | 268-273 | -13 |
| 118 | 25 | 274-278 | -14 |
| 119-123 | 24 | 279-284 | -15 |
| 124-125 | 23 | 285-290 | -16 |
| 126-129 | 22 | 291-296 | -17 |
| 130-133 | 21 | 297-301 | -18 |
| 134-135 | 20 | 302-307 | -19 |
| 136-140 | 19 | 308-314 | -20 |
| 141-143 | 18 | 315-320 | -21 |
| 144-146 | 17 | 321-325 | -22 |
| 147-151 | 16 | 326-331 | -23 |
| 152-155 | 15 | 332-338 | -24 |
| 156-157 | 14 | 339-344 | -25 |
| 158-161 | 13 | 345-351 | -26 |
| 162-163 | 12 | 352-357 | -27 |
| 164-182 | 11 | 358-362 | -28 |
| 183-186 | 6 | 363-368 | -29 |
| 187-192 | 5 | 369-378 | -30 |
| 193-195 | 3 | | |
| 196-198 | 2 | | |
| 199-205 | 1 | | |
| 206-207 | 0 | | |

3. **Presión Vs valor digital.** Los datos de la presión vs el valor digital (ADC), se muestran en la Tabla 23, y su comportamiento se muestra en la Ilustración 69.

Tabla 23. Presión mostrada en el display vs valor digital respectivo.

| presión (psi) | valor digital |
|---------------|---------------|
| 0.0944 | 199 |
| 0.0508 | 191 |
| 0.0288 | 187 |
| 0.0173 | 184 |
| 0.0108 | 183 |
| 0.0077 | 182 |
| 0.0057 | 182 |
| 0.0042 | 182 |
| 0.0029 | 181 |
| 0.0021 | 181 |
| 0.0012 | 181 |
| 0.0008 | 181 |
| 0.0004 | 181 |

Ilustración 69. Gráfico de presión vs valor digital.



4. Datos de velocidad en diferentes partes de la recámara de experimentación. La Tabla 24, muestra las velocidades en los diferentes puntos en los que fue medida la velocidad del viento en la recámara de experimentación.

Tabla 24. Velocidades en las diferentes partes de la recámara de experimentación

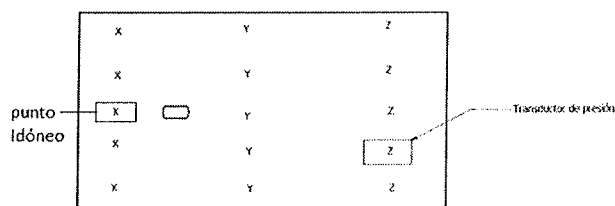
| Letra (parte de la recámara de experimentación) | Velocidad del viento |
|---|----------------------|
| X | 20 m/s |
| Y | 22m/s |
| Z | 27m/s |

5. Datos de presión para obtención de factor de corrección. Los datos mostrados en la Tabla 25, son datos de presión en el punto idóneo, presión en donde se está sensando, apertura del túnel de viento (velocidad), y el factor de corrección. La Ilustración 70 muestra el punto idóneo en donde se debe de colocar el sensor.

Tabla 25. Datos necesarios para obtención de factor de corrección y factor de corrección.

| Distancia (cm) | Punto de Presión Ideal "Adelante" (psi) | Punto de Presión de sentido "Atrás"(psi) | Factor de corrección | Promedio |
|----------------|---|--|----------------------|----------|
| 0 | 0.048 | 0.073 | 1.521 | |
| 4 | 0.027 | 0.036 | 1.333 | |
| 8 | 0.0123 | 0.0172 | 1.398 | |
| 12 | 0.007 | 0.0094 | 1.343 | 1.425 |
| 16 | 0.0045 | 0.0062 | 1.378 | |
| 20 | 0.003 | 0.0045 | 1.500 | |
| 24 | 0.002 | 0.003 | 1.500 | |
| 28 | 0.0014 | 0.002 | 1.429 | |

Ilustración 70. Punto idóneo en donde se debe de colocar el sensor de presión diferencial.



VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. MOVIMIENTO DEL MODELO:

En primer lugar, el Mecanismo No.1 no se escogió debido a la inestabilidad del mismo, como se explicó en la metodología. Un componente esencial para la construcción del mecanismo era tubo flexible, el cual permitía el libre movimiento del modelo, lo que era una ventaja y desventaja al mismo tiempo, porque no se requerían de servomotores potentes para el movimiento, ya que el modelo siempre iba a estar fluctuando de un lado para otro, esta fluctuación sería debido a que el tubo flexible cumpliría la función de un resorte plástico, entonces cuando la fuerza del aire chocara con el modelo, el tubo se flexionaría debido al momento flector que la misma estaría causando, como se muestra en la Ilustración 11. En la Ilustración 9, se realizó un mecanismo casero, con el cual se podía observar físicamente el comportamiento del mecanismo. Dicha fluctuación causaría efectos serios en todos los datos experimentales del modelo de experimentación, no solo dando datos erróneos sino también causaría una dificultad enorme en cambiar de ángulo el modelo. Otra situación fue por la cantidad de motores que se tenían que usar, el mecanismo necesitaba dos motores para moverlo de un lado a otro, causando así ineficiencia en dicho mecanismo, y de último fue que el mecanismo requería muchos componentes adentro de la recámara de experimentación, como lo eran el hilo de sedal, haciendo que se abrieran más agujeros en el túnel de viento para colocar los mismos, causando así fugas innecesarias de aire en la cámara de experimentación. Todos los problemas dichos anteriormente se reflejan en las Tablas 5 y 6, e Ilustración 22.

El mecanismo seleccionado fue el Mecanismo No.2, Ilustración 13, dicho mecanismo tiene más ventajas que desventajas. El Mecanismo No.2, solamente necesita un actuador lineal, una pieza que amarra el actuador lineal con la barra de soporte (barra de sustentación), una barra roscada y una base para el montaje del modelo. Este mecanismo no solo usa menos componentes que el Mecanismo No.1, sino también da estabilidad en el ángulo deseado. El actuador lineal L16-P se seleccionó debido a su peso tan liviano de solamente 72g. El peso es importante debido a que el actuador lineal, estaría colocado en una balanza de fuerzas (mecanismo para medir fuerza de sustentación y arrastre), haciendo que mucho peso en la misma, causara un gran momento en la barra de sustentación. Para más información acerca de la balanza de fuerza y cuanto momento causa el peso del actuador lineal utilizado, consultar el trabajo de graduación, *Instrumentación Electrónica y Metodología de Obtención de Fuerzas para el Cálculo de los Coeficientes de Arrastre y Sustentación en Túnel de Viento*, así también se eligió por su facilidad de manejo; es decir el mismo tiene una retroalimentación para saber la posición en la que se encuentra, sirviendo esta característica para extender o reducir el actuador en la posición deseada. Las ventajas se reflejan en las Tablas 5 y 6 e Ilustración 22.

La base para el montaje del modelo de experimentación se diseñó de manera liviana y que el aire le afectara lo menos posible. El aire lo afecta lo menos posible debido a la forma de su sección transversal. La

forma de la sección transversal de la base del modelo de experimentación es de una cruz, con paredes delgadas. Las paredes delgadas hacen que el área de contacto de la base con el aire sea mínimo. Causado así una fuerza de arrastre de 0.21813N en dirección de X positiva según Ilustración 27. Este resultado se comprobó con el resultado obtenido en un software de simulación de objetos en túneles de viento. El resultado de la simulación fue de 0.209 N, el mismo se puede observar en la Ilustración 66. Se observa que existe una diferencia entre el resultado de la simulación y el resultado calculado de 0.009 N (4.12%), siendo un porcentaje aceptable para ingeniería. Este valor de fuerza de arrastre se utilizó para la calibración de demás componentes de los demás módulos del proyecto.

La base del modelo de experimentación, se diseñó con un agujero de corredera debido a la falta de distancia entre el pivote y el punto en donde se ejerce la fuerza como se muestra en la Ilustración 16. Simulando la base del modelo como la hipotenusa de un triángulo, y la parte extrema del actuador lineal como el cateto opuesto de un triángulo rectángulo como se muestra en la Ilustración 18. Se puede observar a simple vista que si la base del modelo de experimentación mide 60.70 mm (hipotenusa), el actuador lineal (opuesto), no podrá ser más grande que la hipotenusa por regla trigonométrica, ya que el lado más largo de un triángulo rectángulo es la hipotenusa, causando así que el mecanismo se trabe y no pueda rotar los ángulos necesarios para la experimentación el esquema para entender esta explicación se observa en la Ilustración 18. El mayor ángulo que podría rotar el mecanismo sin agujero de corredera sería 90 grados, lo cual es imposible para el tipo de mecanismo.

Se escogió un actuador lineal y no un servomotor debido al diseño del mecanismo, el mecanismo no solo debía de lograr rotar el ángulo de ataque de la base del modelo de experimentación sino también debía de ser lo suficientemente largo (15cm de largo) como se muestra en la Ilustración 17, para colocar el modelo de experimentación en el medio del área transversal de la recámara de experimentación que es en donde se encuentra la presión promedio. Ahora bien la selección del actuador lineal L16-P, se hizo debido a su relación de engranes de 150:1, esto quiere decir que por cada 150 vueltas del piñón da una vuelta el engranaje, esta relación le da más torque al actuador. Se seleccionó el actuador lineal con esta relación de engranes para dejar un rango relativamente grande del peso del modelo de experimentación al fabricar un modelo nuevo.

La precisión requerida para el movimiento de la base del modelo de experimentación, era de ángulo en ángulo, es decir que se moviera en un rango de 30 a -31 grados uno por uno, esta precisión no se logró ya que como se puede observar en la Tabla 17 de resultados, los datos de valor digital están constituidos por rangos, mientras que los datos de ángulo están en valores individuales, eso es debido al agujero de corredera. Este orificio tuvo ventajas y desventajas. Una desventaja, es que en todo el rango de movimiento del agujero los ángulos no son lineales respecto al valor digital del potenciómetro del actuador lineal, dicha característica se puede observar en la Ilustración 62 de los resultados. La no linealidad representa, un movimiento falso en el ángulo de rotación del modelo, un movimiento falso quiere decir, que si el usuario quiere colocar el

modelo a un ángulo de 20 grados, el actuador lineal se podrá mover entre el rango de valores digitales en los que el actuador lineal es 20 grados, en este caso el rango es de 134-137, generando así datos falsos y errores al envío del ángulo. En la segunda toma de datos, ocurrió el mismo problema que en la primera toma de datos, como se puede observar en la Tabla 18 e Ilustración 63, los resultados no son lineales. Considerando este problema del agujero de corredera, se optó por realizar una toma de datos en medio del mismo, punto en el cual hubo menos interferencia; es decir, en el cual los datos no estuvieran por rangos, sino que fueran lo más lineales posible. Dichos datos se pueden observar en la Tabla 19 e Ilustración 64, con una correlación lineal R^2 de 0.9927. En la Tabla 20 se observa una modificación de los datos en la segunda columna. La modificación que se realizó fue convertir los ángulos negativos a un rango de valores positivos para su envío al microcontrolador maestro por I2C, Enviando así un Byte. Se observó que el ángulo menor al que el modelo podía girar linealmente era -20 grados y el ángulo máximo era de 24 grados, entonces se optó por sumarle a dicho número un valor de 100, convirtiendo así -20 a 80 y 24 a 124 decimal, siendo $80 = 0101-0000$ y $124 = 0111-1100$ binario (Byte).

El actuador lineal consume una corriente de 1A con carga, por lo que se utilizó el Chip L298N que es un puente H de hasta 4 A. Otro factor muy importante por lo que se utilizó dicho componente, es que se encuentra disponible en el mercado guatemalteco.

El movimiento del actuador lineal se obtuvo mediante la implementación del microcontrolador ATMEGA328p-pu. La selección de este microcontrolador fue debido a que este trabajo de graduación está hecho para que estudiantes de las diferentes ramas de ingeniería de cualquier año, puedan tener un conocimiento claro y sencillo de lo que el túnel de viento hace y que hace que funcionen sus componentes. La programación, en varias ramas de la ingeniería no es el fuerte, es por eso que se implementó el mismo. Dicho chip es sencillo de utilizar, al igual que sencillo de programar, mientras que con el PIC se requiere un conocimiento más avanzado en lo que respecta a la programación. La sencillez de programación del ATMEGA328p-pu, brinda también la facilidad de posibles reparaciones, reemplazos y modificaciones del mecanismo de rotación del modelo, y del sensor de presión, por parte de estudiantes de cualquier rama de la ingeniería en un futuro.

Otra razón fue la de la implementación de componentes electrónicos externos para su buen funcionamiento. El Atmega328p-pu viene integrado a una placa impresa llamada Arduino UNO, en la cual vienen contenidos todos los componentes necesarios para su buen funcionamiento, dicha placa se puede conseguir fácilmente en el mercado guatemalteco a un precio razonable. Mientras que la placa del PIC se consigue nada más bajo pedido y a un precio un poco más elevado.

Otra de las características importantes por las que se utilizó el microcontrolador ATMEGA328p-pu fue la compatibilidad que tiene la plataforma de programación (ARDUINO) con diferentes sistemas operativos,

como lo son Windows, Macintosh OSX y Linux. La mayoría de plataformas para otros microcontroladores están limitados solo para Windows y la plataforma Arduino es Open-Source.

B. Sensor de presión:

Los sensores para medir la presión en la cámara de experimentación, tres fueron los propuestos. El sensor SDP600/610, con comunicación I2C incorporada, el sensor SDP1000 y el sensor DH-008. El sensor SDP600/610 no se utilizó debido a que el rango de medición era inferior a la máxima presión del túnel de viento. El rango de presión de los sensores es de -500 a 500 Pascales, y la presión máxima en la cámara de experimentación del túnel de viento es de 0.07 – 0.09 Psi que equivale a 482.63 – 621.97 Pascales respectivamente. La presión en el túnel de viento variaba de 0.07 a 0.09 psi debido a los agujeros que la recámara de experimentación tenía a la toma de los datos. Dichos agujeros fueron debido a los diferentes equipos electrónicos que se estaban instalando en el momento. El sensor SDP1000 no se utilizó debido al mismo problema que el sensor mencionado anteriormente. Dichos sensores tienen el mismo rango de medición. Otra desventaja que se observó fue que los mismos solo tenían una salida para la toma de datos, haciendo que los mismos no fueran versátiles.

El sensor escogido DH-008, fue escogido por varias razones, la primera, fue que el sensor de presión diferencial Dwyer tiene serie de sensores con diferentes rangos de presión. La segunda razón, fue que tiene dos formas de comunicación; es decir dos salidas para la toma de datos, las mismas son salida analógica de 4-20mA y Modbus RTU. La tercera razón, fue que el rango de medición es mucho más elevado que los otros dos sensores mencionados anteriormente. El rango es de 0 a 25inWc que equivale a 0.903 Psi (6225 Pa) y tiene una resolución de 16 bits, mientras que los otros dos tienen una resolución de 12 bits.

Los datos de la Tabla 21, muestran la salida analógica de corriente del sensor, como se puede observar en la Ilustración 67, el comportamiento es lineal con una correlación lineal R^2 de 0.9999. Como segundo punto se obtuvieron los datos de la salida del circuito convertidor de corriente a voltaje, los mismos se pueden observar en la Tabla 22. Dichos datos demuestran que el comportamiento del sensor sigue siendo lineal teniendo una correlación lineal R^2 de 0.9998. En la Tabla 23, se muestran los datos del ADC (valor digital) respecto al valor de la presión. Como se puede observar en dicha tabla, el valor digital de la presión, cuando la misma es de 0.0029 Psi para abajo, no tiene un cambio, haciendo que la precisión de la medición sea muy baja. Explicando de forma más básica lo dicho anteriormente, para el microcontrolador no hay diferencia si la presión es de 0.0029 Psi o es de 0 Psi. La imprecisión se debe al cambio tan bajo de corriente de salida del sensor, habiendo una diferencia máxima de corriente de 1.66mA. El sensor en si es impreciso para la presión máxima que se está midiendo en el túnel de viento, sin embargo, es más preciso que las otras dos opciones de sensores; es decir, el sensor puede medir 10 veces más de lo que se está midiendo actualmente. La regresión lineal de la presión Vs. el valor digital, tuvo una correlación lineal R^2 de 0.9927, lo cual hizo que

los datos en un rango de 0.0944 Psi a 0.077 Psi fueran datos reales; es decir los datos enviados a la computadora eran exactamente los mismos que se imprimían en el display del sensor. Después del rango de 0.077psi para abajo los datos de presión se empezaban a desfasar. El desfase empezaba a darse en un 74% del valor de presión, luego disminuía al 37%. La solución a dicho problema fue la utilización de Modbus RTU, con éste no se tuvo que tomar datos para realizar una regresión lineal en sí, sino que como se explicó anteriormente, dicho protocolo de comunicación serial, lee el registro del sensor directamente.

En la Tabla 24, se muestran los datos de velocidades del viento en las diferentes partes de la recámara de experimentación. El sensor debía de ir en una posición en la cual no afectara los demás componentes electrónicos y que midiera una velocidad promedio. La velocidad promedio se encuentra en medio de la recámara de experimentación, como se puede ver en la Ilustración 56, pero el sensor no se pudo colocar en dicha parte de la recámara de experimentación, debido a que dicha parte estaba siendo utilizada por otros componentes electrónicos. Otro factor por el que no se pudo colocar el sensor en dicha parte, es porque la velocidad del viento no se iba a comportar como se muestra en la Ilustración 56, debido a que dicho comportamiento es para tuberías y ductos rectangulares vacíos por dentro, mientras que la recámara de experimentación del túnel de viento, es un ducto rectangular pero con componentes dentro de él. Aparte, el comportamiento de la velocidad que se muestra en la Ilustración 56, es una idealización ya que el flujo es turbulento y no laminar, por lo que las velocidades se comportan en la parte de entrada del viento de 20m/s y en la parte de atrás de 27m/s, teniendo una diferencia de velocidad de 7m/s, mapeando dichos valores a presión 20m/s equivale a una presión de 262 Pascales (0.0379 Psi) y 27m/s equivale a una presión de 477.5 Pascales (0.07Psi).

El lugar idóneo para su colocación era, antes de la recámara de experimentación, pero no pudo colocarse en dicho lugar, por haber instrumentos de medición de otros módulos y hubiesen sido afectados severamente, por lo que se prefirió colocar el sensor en la parte que se muestra en la Ilustración 55. En dicha parte, la velocidad que se medía era la mayor en la cámara de experimentación, debido a que el flujo en ductos rectangulares se comporta como se muestra en la Ilustración 56. No obstante se obtuvo un factor de corrección para la medición en el lugar en donde se colocó, dicho factor de corrección, divide el valor de presión, obteniendo así el valor del lugar idóneo. Los datos para la obtención del factor de corrección, se muestran en la Tabla 25.

VIII. CONCLUSIONES

- Se cumplieron todos los objetivos, ya que se logró medir la presión en la recámara, así también se logró mover la base del modelo de experimentación con un intervalo de 2 en 2 grados debido a la precisión que el agujero de corredera en la base de experimentación causa.
- La comunicación Modbus RTU, simplifica el envío de los datos desde el sensor DH-008 a la computadora. Lo simplifica en el sentido que no se deben de tomar datos, para hacer una regresión lineal, Debido a que el protocolo Modbus RTU puede hacer la lectura directa de los registros contenedores de información del sensor.
- La comparación de comunicación serial Modbus RTU y salida analógica de 4-20mA, da lugar a dejar de última opción la utilización de la señal analógica de 4-20mA, Debido a que se tiene que realizar una aproximación lineal de la toma de datos de la misma, causando dicha aproximación porcentajes de error de un máximo de 74% y un mínimo de 37%. Esto es debido a que la presión máxima del túnel de viento es de 0.09 psi y el sensor puede medir de 0 – 25” de agua, equivalente a 0-0.9 psi. Es decir el sensor está sobredimensionado.
- El lugar en el cual se colocó el sensor de presión, requiere de un factor de corrección de 1.425, para que la medición sea la idónea. Debido a que como se mencionó en la discusión la parte idónea en la que se debería de colocar el sensor de presión es en medio del área transversal de la recámara de experimentación, antes de cualquier otro componente.
- El sensor de presión no se colocó en el lugar ideal de la recámara de experimentación debido a que si se colocaba en dicho lugar, los componentes para la medición de fuerzas de sustentación y arrastre y presión en el modelo serían afectados, debido a la interferencia que el sensor de presión diferencial causaría.
- En los cálculos de la base del modelo de experimentación, se obtuvo una fuerza de arrastre de 0.218 N, y en la simulación en software de 0.209N, teniendo así una diferencia de 4.12%, siendo un porcentaje aceptable en la ingeniería.
- Los resultados, de los ángulos vs Valores digitales, en la primera y segunda toma de datos, se obtuvieron en rangos, debido al agujero de corredera. Cuando el actuador lineal se movía para hacer rotar los grados necesarios la base del modelo de experimentación, había un deslizamiento en el movimiento y luego empezaba a rotar. El problema se solucionó colocando el pin que une al

actuador lineal y la base del modelo de experimentación en un punto del agujero de corredera en el cual no había deslizamiento, al igual que ensanchándolo 2mm.

- El microcontrolador Atmega328P-Pu, cumplió con todos los requerimientos para el trabajo de graduación, el mismo no solo cumplió con los objetivos sino también da la versatilidad, de hacerle modificaciones por cualquier persona sin conocimientos avanzados de programación.

IX. RECOMENDACIONES

- Se recomienda, colocar el sensor de presión antes de la recámara de experimentación. En la mitad del área transversal de la misma debido a que en esa parte de la recámara de experimentación es donde se encuentra la presión real a la que se encuentra el modelo.
- Se recomienda, extender el agujero de entrada del modelo en la recámara de experimentación, para evitar hacer agujero de corredera en la base del modelo de experimentación, y así no tener problemas al momento de rotar de ángulo de ataque el modelo.

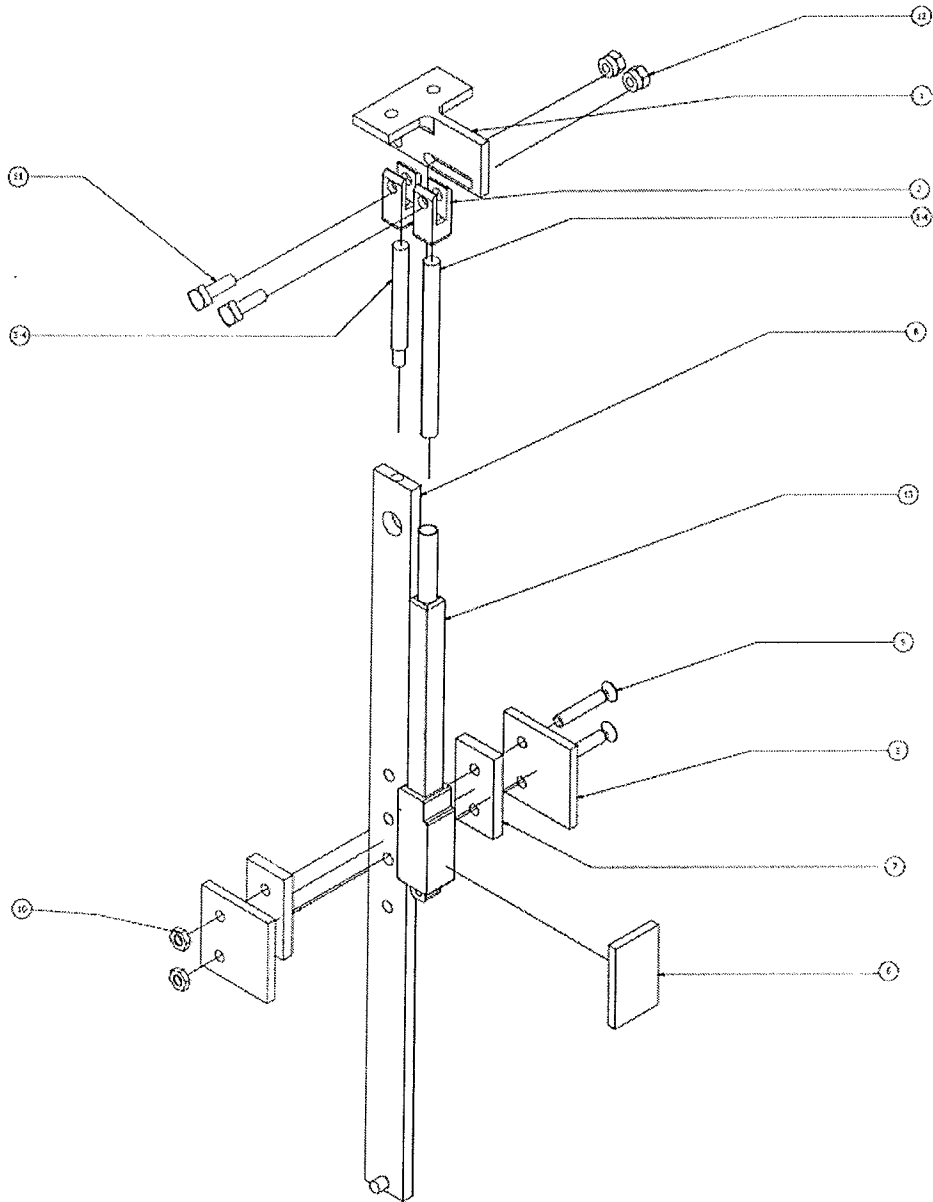
X. BIBLIOGRAFÍA

- ABC Electronica, Puente H L298N. <http://www.abcelectronica.net/productos/circuitos-integrados/dm2/>
- Barlow, Jewel; Rae, William y Pope, Alan. 1999. *Low-Speed Wind Tunnel Testing*. United States of America: John Wiley & Sons. 713 págs.
- Beckwith, Thomas; Marangoni, Roy y Lienhard, John. 1993. *Mechanical Measurements*, Quinta edición. United States of America: Addison-Wesley Publishing Company. 876 págs.
- Benson, Tom, *Wind Tunnel*, <http://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/tunnel1.html> [1/01/2013-1/10/2013]
- Cengel, Yunus. 2010. *Fluid Mechanics*. United States of America: McGraw-Hill. 994 págs.
- Dwyer Instruments, INC, *Sensores de presión diferencial*. http://www.dwyer-inst.com/index_sp.cfm
- EEHERALD, I2C Bus Interface. <http://www.eeherald.com/section/design-guide/esmod11.html>
- Engineering Laboratory Desing INC. *Wind Tunnels*, United States of America. 27 págs.
- Firgelli Technologies inc, Linear Actuators. <http://www.firgelli.com/>
- Mehta R; Bradshaw P. 1979. *Technical Notes, Desing rules for small low speed wind tunnel*. Aeronautical Society. 8 págs.
- Microchip, PIC 16f887. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41291G.pdf>
- Microchip, PIC 16f84a. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/35007C.pdf>
- Atmel, Atmega328p-pu. http://www.atmel.com/Images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Summary.pdf
- Modicon. 1996. *Modbus Protocol*. Reference Guide. 121 págs.

- Northrop, Robert. 2005. *Instrumentation and Measurements*, segunda edición. Florida: Tylor and Francis Group. 743 págs.
- Jin, D. Lin, S. 2012. *Advances in Mechanical and Electronic Engineering*. China: Springer. 692 págs.
- Sensirion, Differential Pressure Sensor. <http://www.sensirion.com/en/home/>
- Streeter, Victor; Wylie, Benjamin y Bedford, Keith. 2000. *Mecánica de Fluidos*, Novena Edición. Bogota: McGraw-Hill. 739 págs.
- Thompson, L. 2008. *Industrial Data Communications*. United States: ISA. 268 págs.

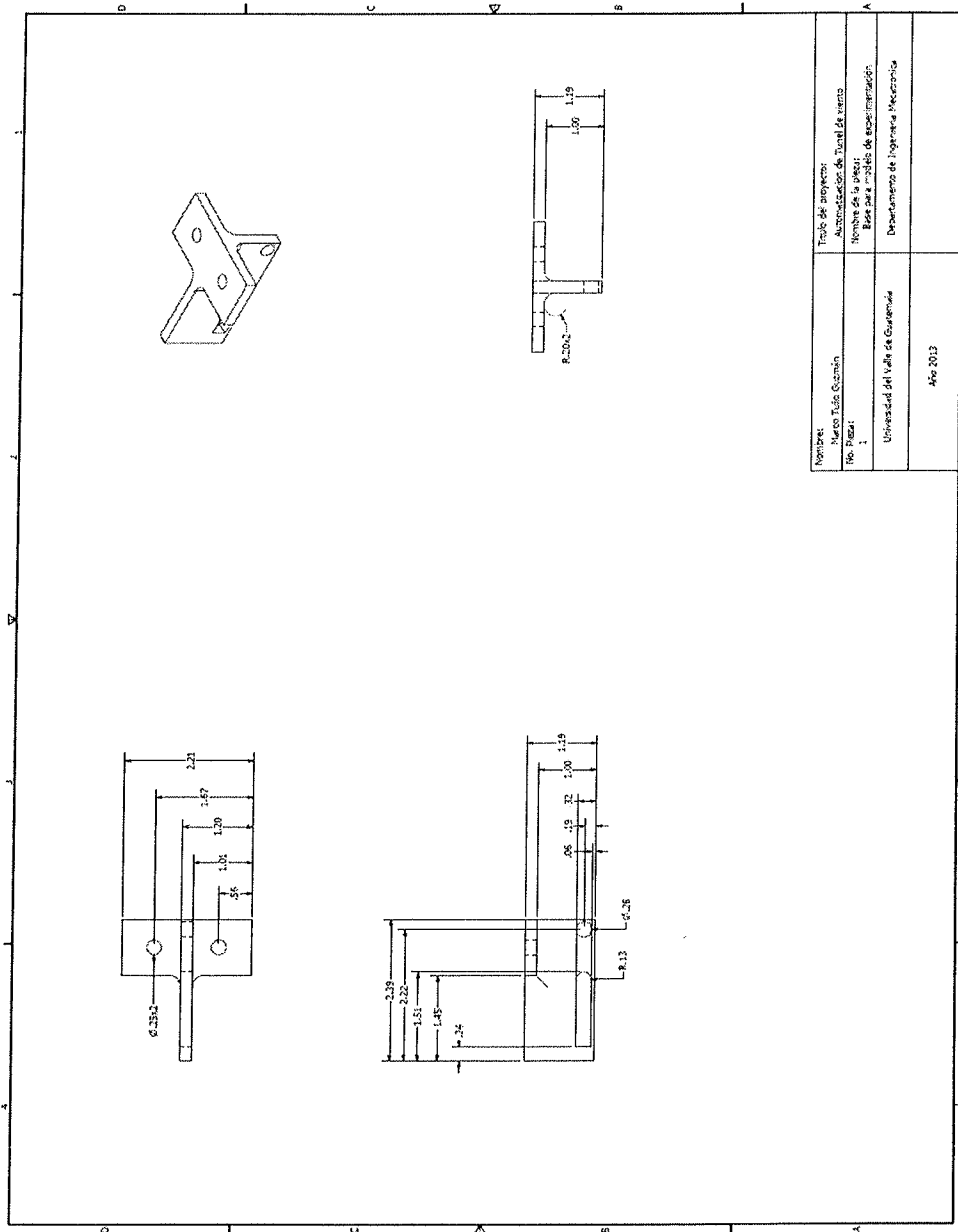
XI. ANEXOS

A. DISEÑO DEL MECANISMO NO.2:



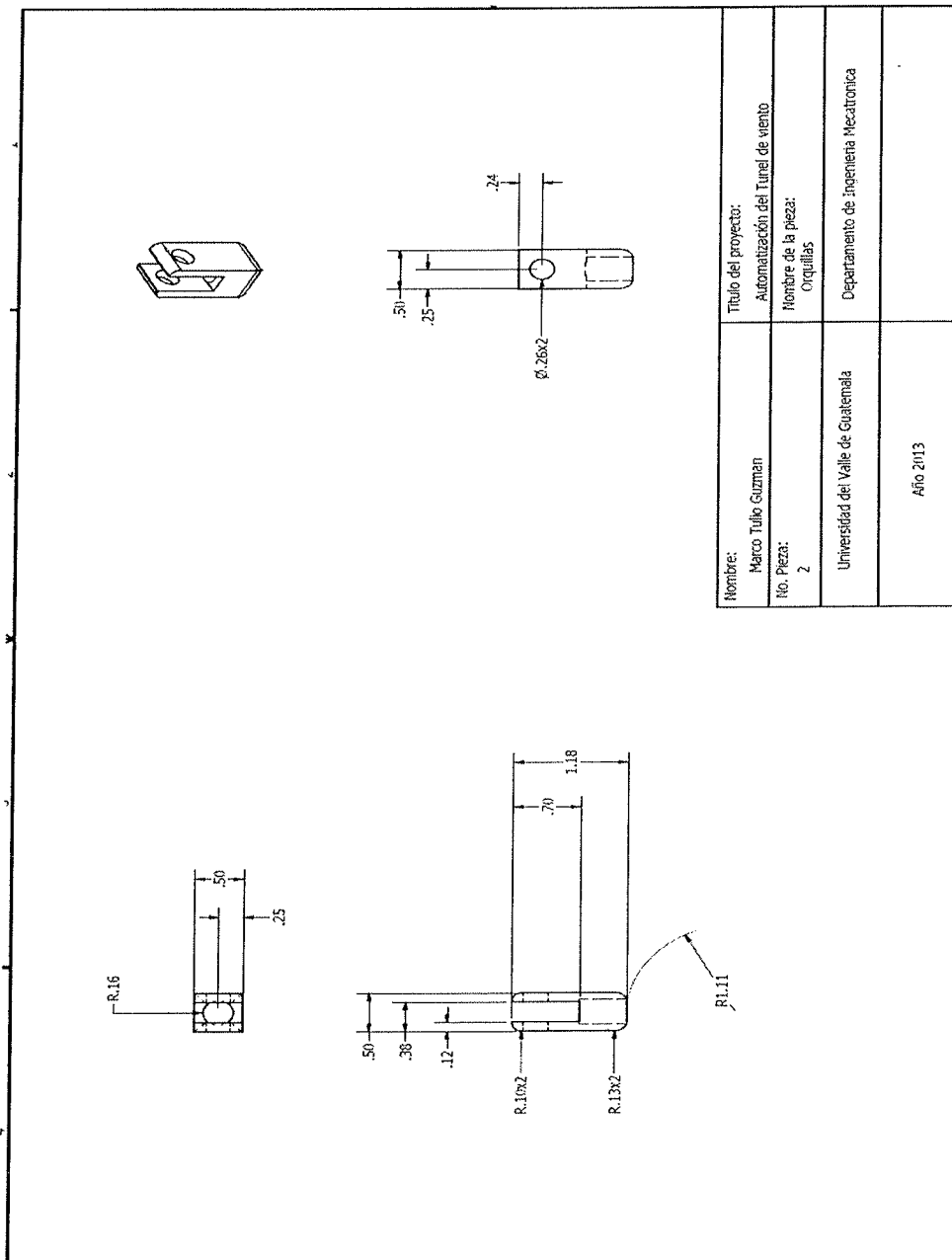
| LISTA DE PARTES | | | |
|-----------------|----------|--|---|
| ÍTEM | CANTIDAD | NOMBRE DE LA PARTE | DESCRIPCIÓN |
| 1 | 1 | Base para el modelo de experimentación | Hecho con plástico industrial |
| 2 | 2 | Horquillas | |
| 3-4 | 2 | Barras roscadas | |
| 5 | 2 | Pared lateral del agarrador del actuador lineal | |
| 6 | 1 | Pared frontal del agarrador del actuador lineal | |
| 7 | 2 | Rellenador del agarrador del actuador lineal | |
| 8 | 1 | Barra base (consultar Trabajo de graduación, <i>Instrumentación Electrónica y Metodología de Obtención de Fuerzas para el Cálculo de los Coeficientes de Arrastre y Sustentación en Túnel de Viento.</i>) | |
| 9 | 2 | AS 1427 -M6 x35 | Phillips ISO machine screws |
| 10 | 2 | BS 4183 - M6 | Machine Screws and machine screw nuts Metric series |
| 11 | 2 | IS 2585 - M6x20 | Specification for Black square Bolts and Nuts (Diameter Range 6 to 39mm) and Black Square Screws (Diameter Range 6 to 24mm) |
| 12 | 2 | CNS 4313-M6 | Hex Nut |
| 13 | 1 | Actuador Lineal | |

1. Base para el modelo de experimentación (componente No. 1 del mecanismo).
Medidas en Pulgadas.

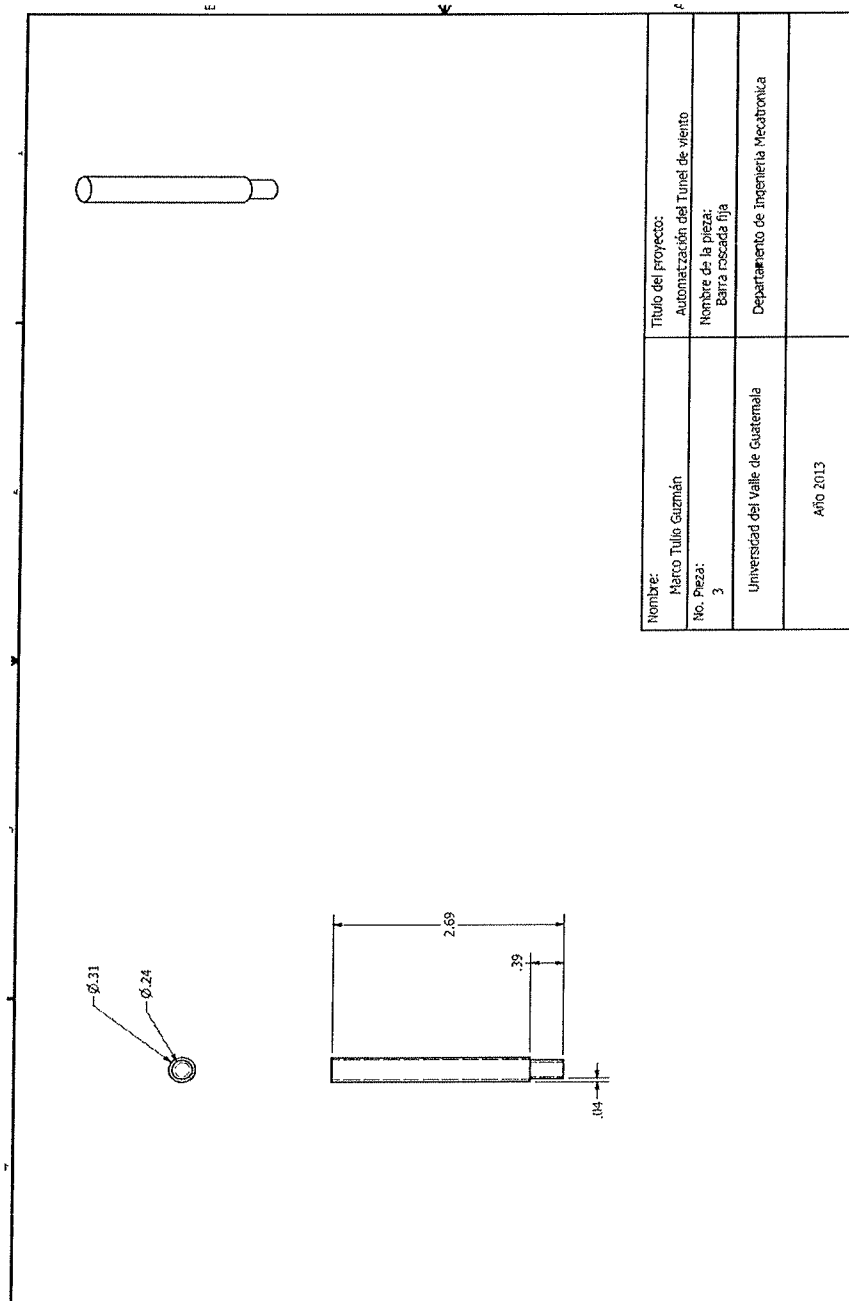


| | |
|------------------------------------|---|
| Nombre: Marco José Guzmán | Título del proyecto: Administración de Tercer Etapa |
| No. Práctic: 1 | Nombre de la práctica: Diseño de un sistema de experimentación |
| Universidad del Valle de Guatemala | Departamento de Ingeniería Mecánica |
| Año: 2013 | |

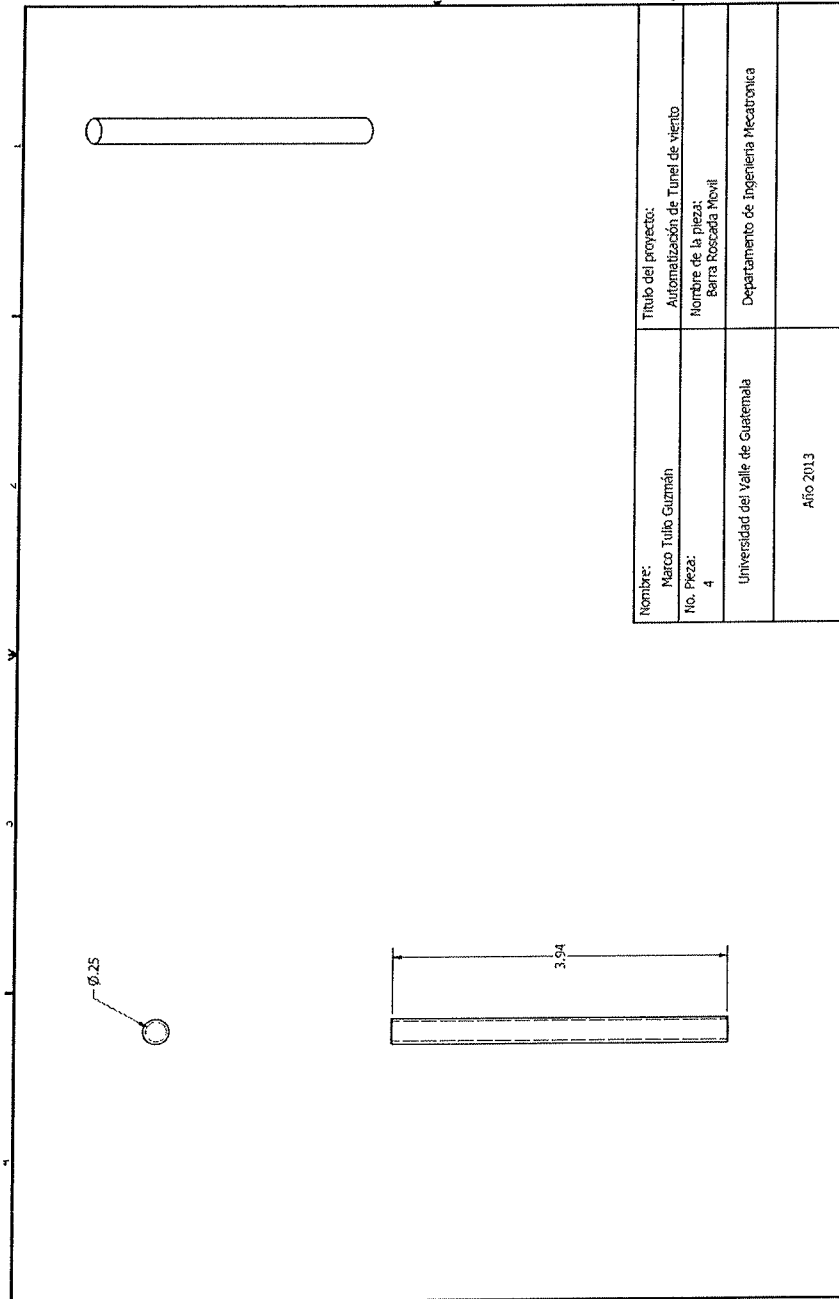
2. Horquillas (Componente No. 2 del mecanismo). Medidas en Pulgadas.



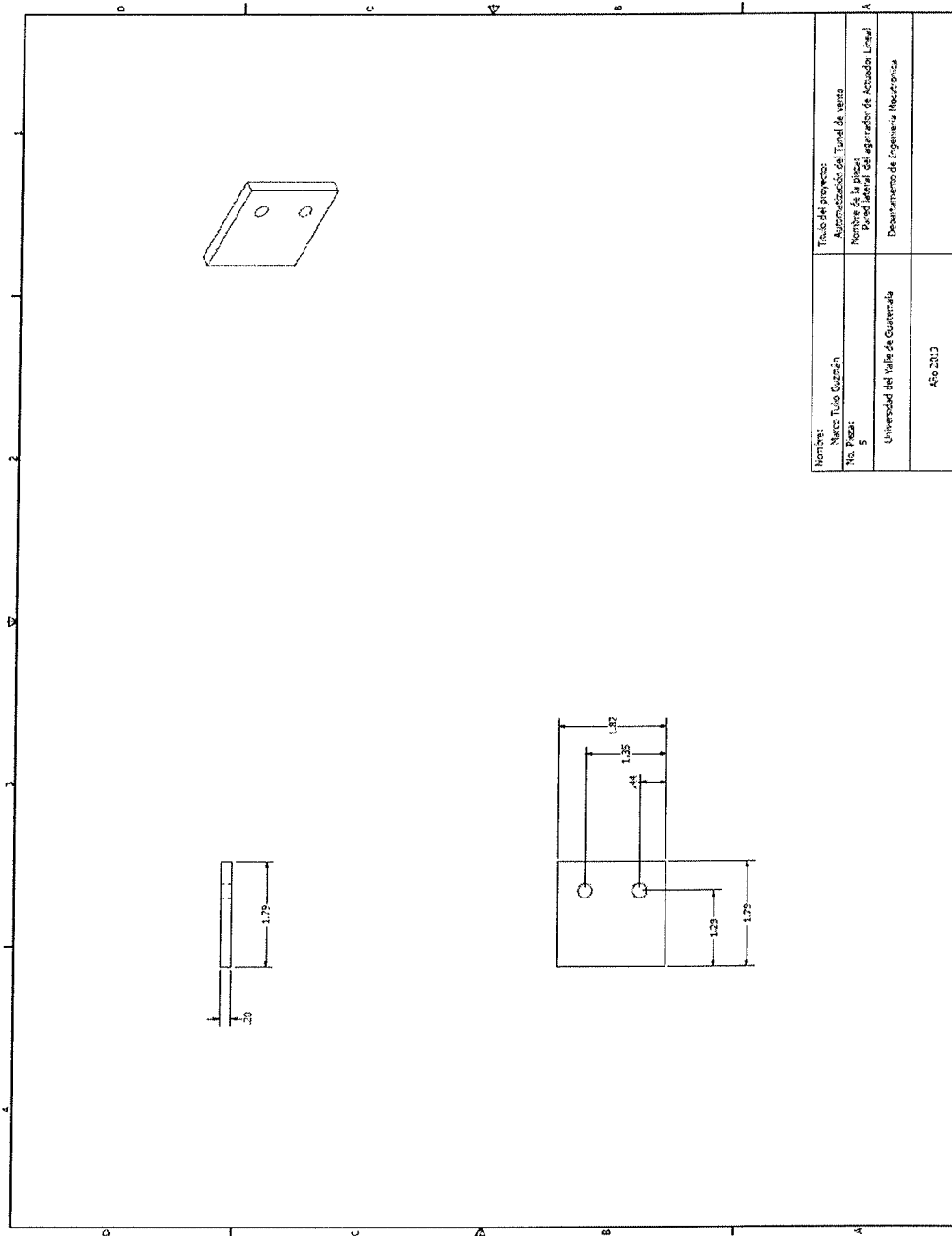
3. Barra roscada fija (Componente No. 3 del mecanismo). Medidas en Pulgadas.



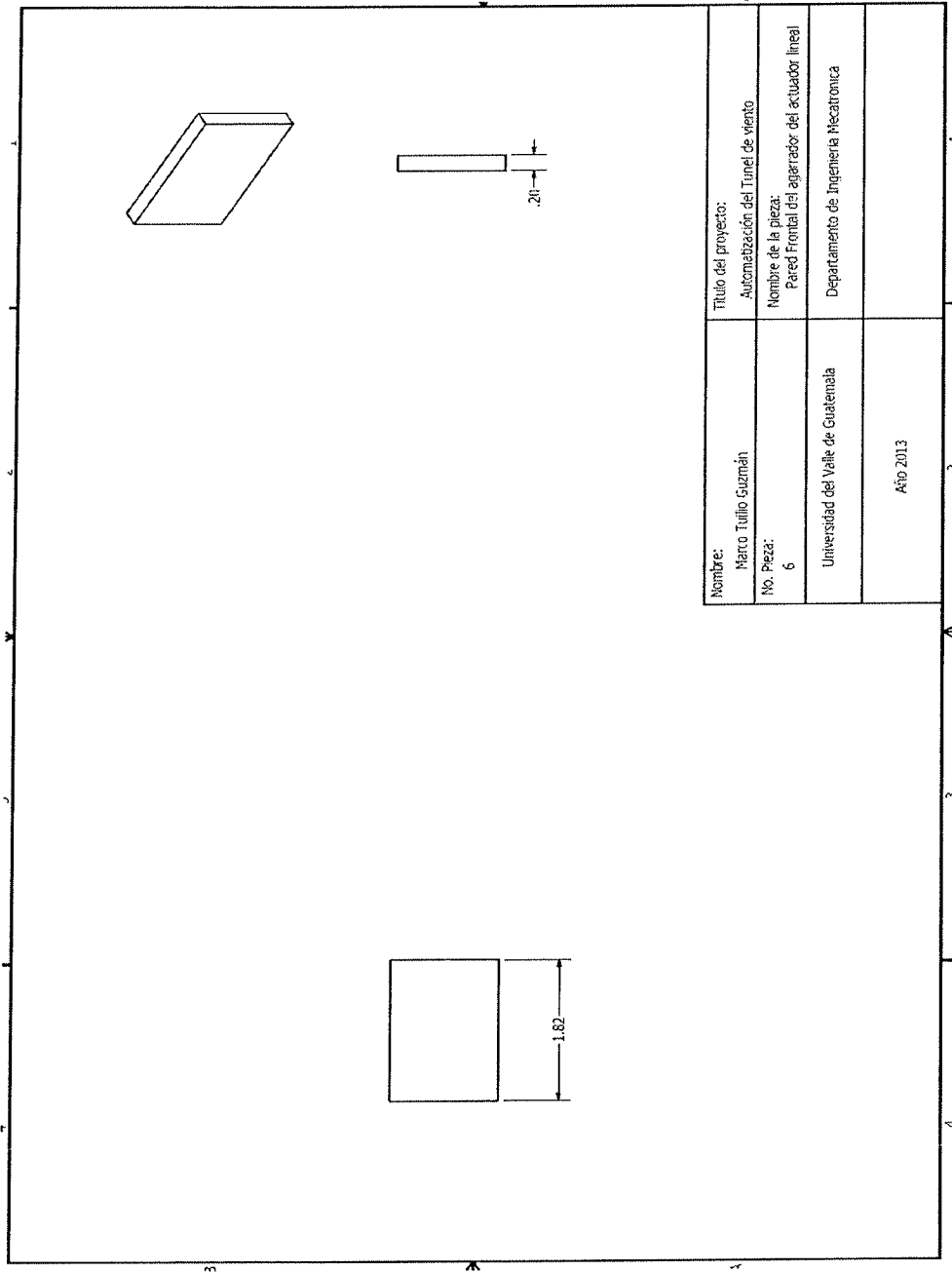
4. Barra roscada móvil (Componente No.4 del mecanismo). Medidas en Pulgadas.



5. Pared lateral del agarrador del actuador lineal (Componente No.5 del mecanismo). Medidas en Pulgadas.

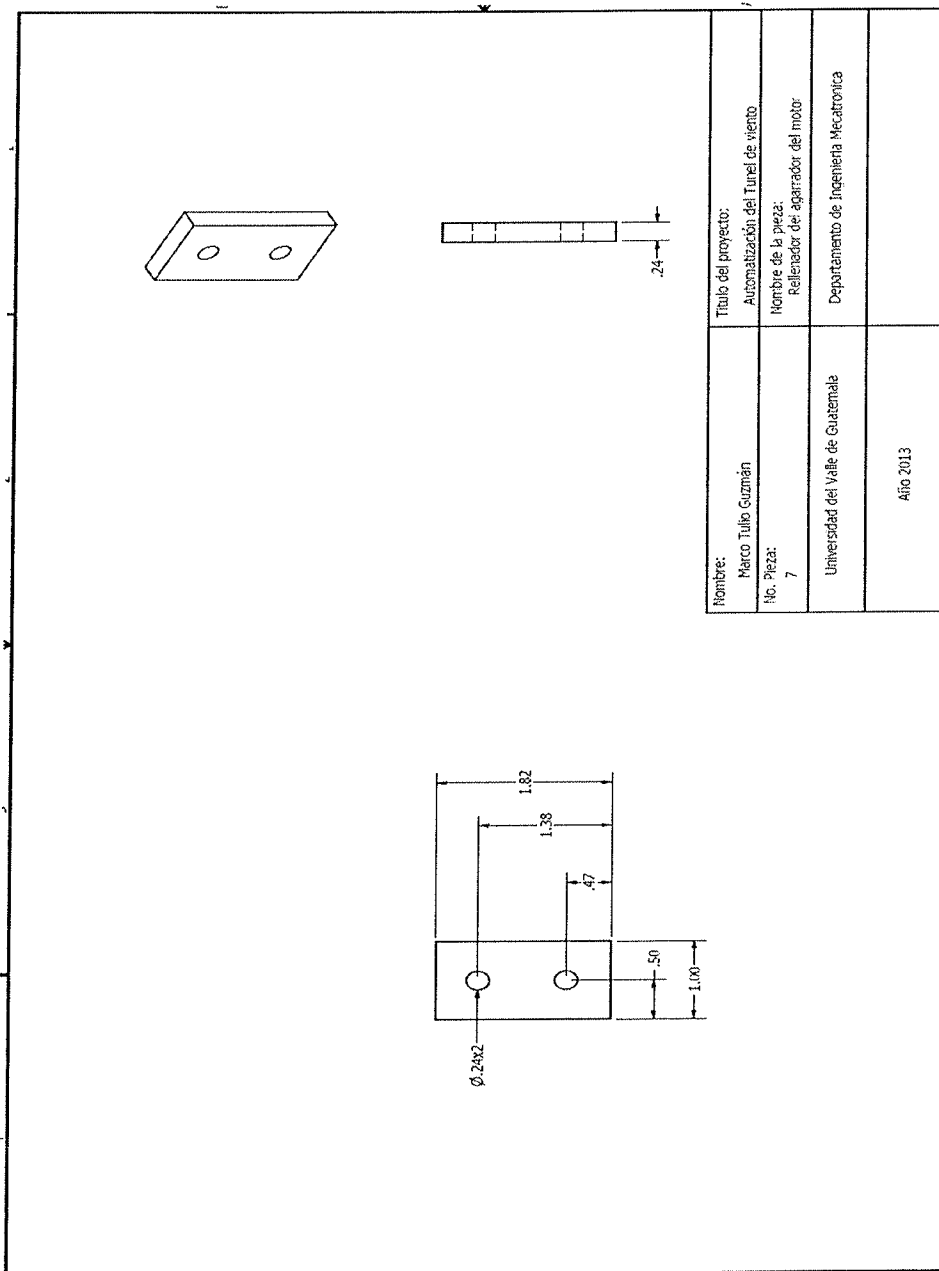


6. Pared frontal del agarrador del actuador lineal (componente No.6 del mecanismo). Medidas en Pulgadas.

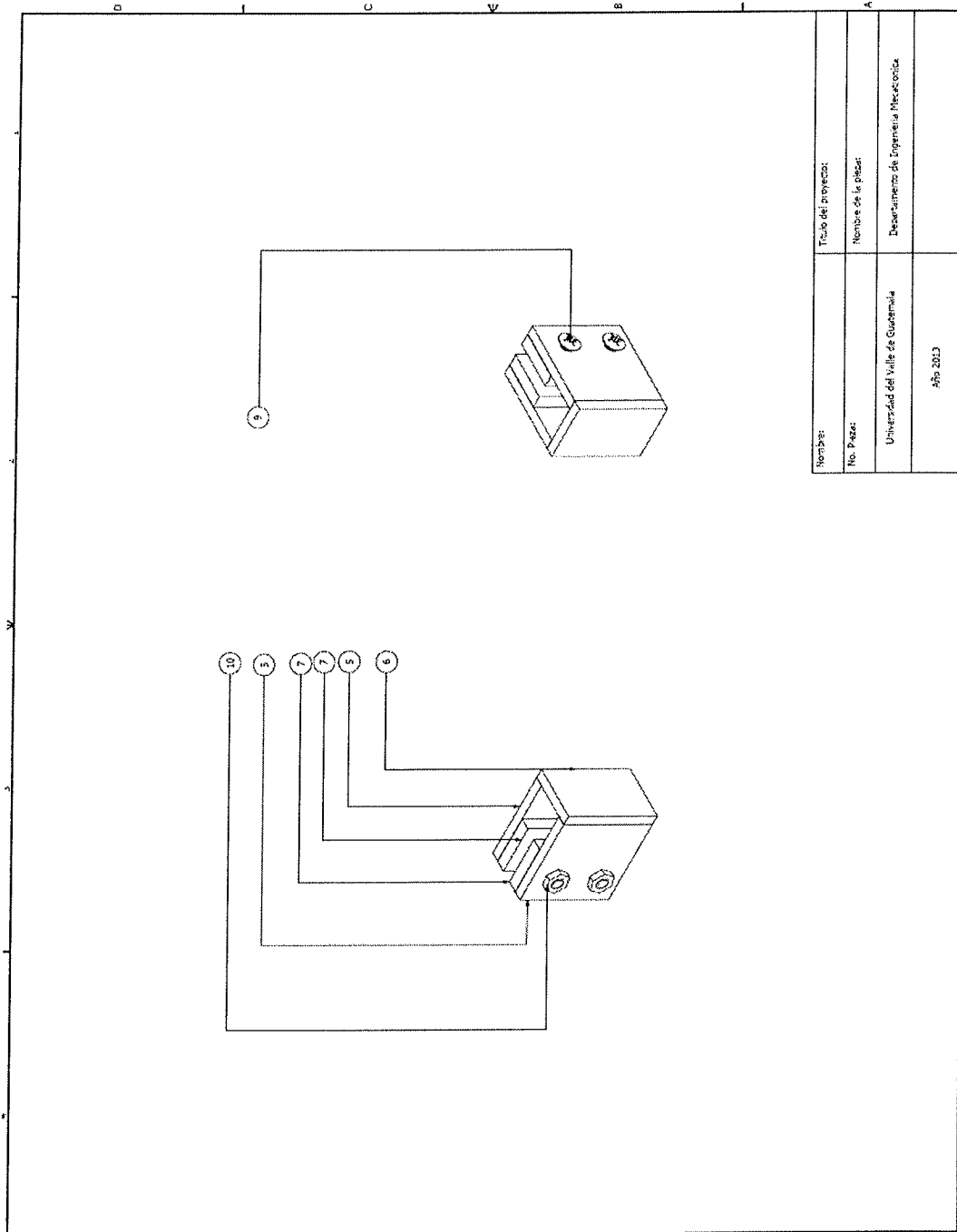


| | | | |
|------------|------------------------------------|----------------------|---|
| Nombre: | Marco Tulio Guzmán | Título del proyecto: | Automatización del Túnel de viento |
| No. Pieza: | 6 | Nombre de la pieza: | Pared Frontal del agarrador del actuador lineal |
| | Universidad del Valle de Guatemala | | Departamento de Ingeniería Mecatronica |
| | | | ASD 2013 |

7. Rellenador del agarrador del actuador lineal (componente No. 7 del mecanismo), Medidas en Pulgadas.



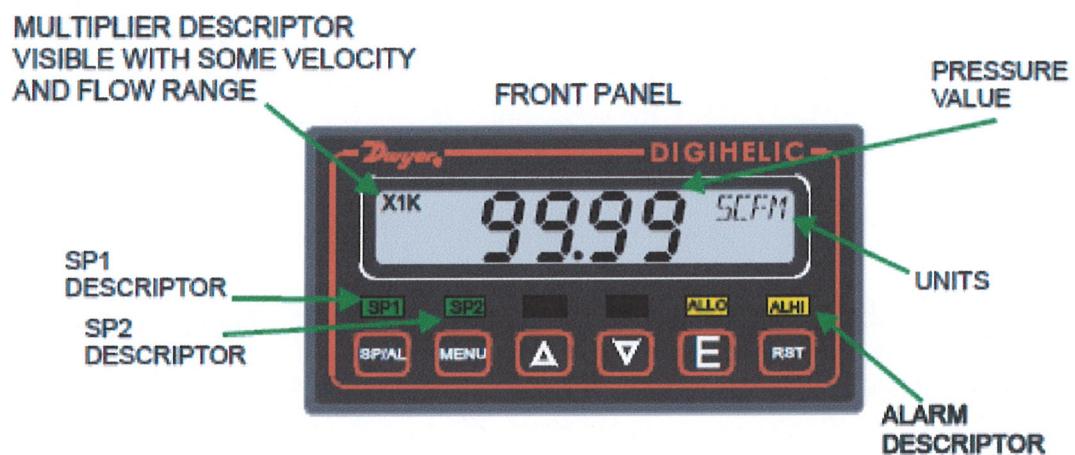
8. Forma finalizada del agarrador del actuador lineal.



| | |
|------------------------------------|--|
| Nombre: | Título del proyecto: |
| No. Páez: | Nombre de la obra: |
| Universidad del Valle de Guatemala | Departamento de Ingeniería Mecatrónica |
| Año 2013 | |

B. INFORMACIÓN TÉCNICA PARA UTILIZACION DE LOS SUBMENUS DE INTERÉS.







En la parte frontal del sensor, se muestran, el valor de presión, las unidades de medición, un botón de alarma, botón SP1, botón SP2 y descriptor de flujo.



En la siguiente tabla se muestran las funciones clave del sensor.

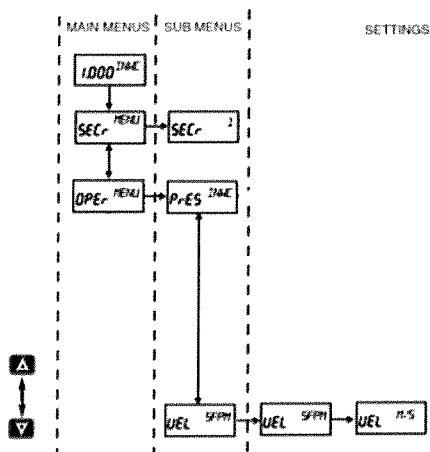
| | FUNCIÓN DE POSICIÓN DE INICIO | FUNCIÓN PRINCIPAL | FUNCIÓN DE SUB MENÚ |
|--------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------|
| SP/AL | El display va a la función SET POINT y a la configuración de alarma | retorna al inicio | retorna al inicio |
| Menú | acceso al menú | retorna al inicio | retorna al menú anterior |
| Flecha para arriba | | permite el movimiento entre los menús | Incrementa el valor |
| Flecha para abajo | | permite el movimiento entre los menús | decrementa el valor |
| Enter | imprime toda la escala de unidades | entra a los submenús | selecciona las opciones |
| Reset | limpia la alarma | | Resetea componentes del submenú |

En la siguiente Ilustración se muestra se muestran las funciones sin traducir de los botones principales.

| | HOME POSITION FUNCTION | MAIN MENU FUNCTION | SUB MENU FUNCTION |
|--|--|-------------------------|--|
|  SPAL | Sequences the display through SET POINT and ALARM settings | Return to home position | Return to home position |
|  MENU | Allows access to the menus | Return to home position | Return to previous menu |
|  UP ARROW | | Sequences through menus | Increments a value |
|  DOWN ARROW | | Sequences through menus | Decrements a value |
|  ENTER | Displays full scale range of unit | Enter into SUB MENU | Changes a value or setting. Press ENTER and display will blink. Adjust with UP or DOWN arrows. Press ENTER to store. Display will stop blinking. |
|  RSET | Clears or resets an Alarm (alarm set for manual reset) | | Peak/Valley SUB MENU resets display to present value. |

a. **Submenú presión.** Para ingresar al submenú de presión lo primero que se debe de hacer es presionar el botón MENU, luego de presionar dicho botón aparecerá una lista de menús, el primer menú a mostrar es el menú SECr, presionando la FLECHA PARA ABAJO, el segundo menú será OPER, cuando aparezca en la pantalla OPER, se debe de presionar el botón que dice E (ENTER), luego en el menú OPER, el primer submenú que aparecerá será PrES, luego con las FLECHAS se puede seleccionar la dimensional requerida, entre las dimensionales que el sensor incluye son:

- INWC (pulgadas columna de agua).
- FTWC (pies columna de agua).
- MMWC (milímetros columna de agua).
- CMWC (centímetros columna de agua).
- PSI (libras por pulgada cuadrada).
- INHG (pulgadas de mercurio).
- MMHG (milímetros de mercurio).
- MBAR (mega bar).
- PA (pascales).
- KPA (kilo pascales).
- HPA (Hectopascales).



c. **Submenú CAL.** Para ingresar al submenú CAL se presiona el botón MENU, como primer menú que aparecerá es SECr, luego se presiona el botón de FLECHA PARA ABAJO, y como quinto menú aparecerá el menú ADV, cuando se llega al menú ADV se presiona el botón E (ENTER), como primer submenú aparecerá "0", se debe de presionar el botón FLECHA PARA ABAJO, luego el séptimo submenú a aparecer es CAL (ZERO), se presiona E(ENTER), y luego el carácter (ZERO), empezara a parpadear, el usuario cuando quiera calibrar su cero, presiona el botón E (ENTER), y así el cero del sensor quedara calibrado.

La calibración que se le da al sensor es una calibración de campo es decir, se calibra en donde se va a colocar (área de trabajo en la que estará el sensor montado).

C. HOJA DE DATOS DEL SENSOR DWYER DH-008.

Bulletin B-32



Series DH Digihelic® Differential Pressure Controller
Specifications - Installation and Operating Instructions

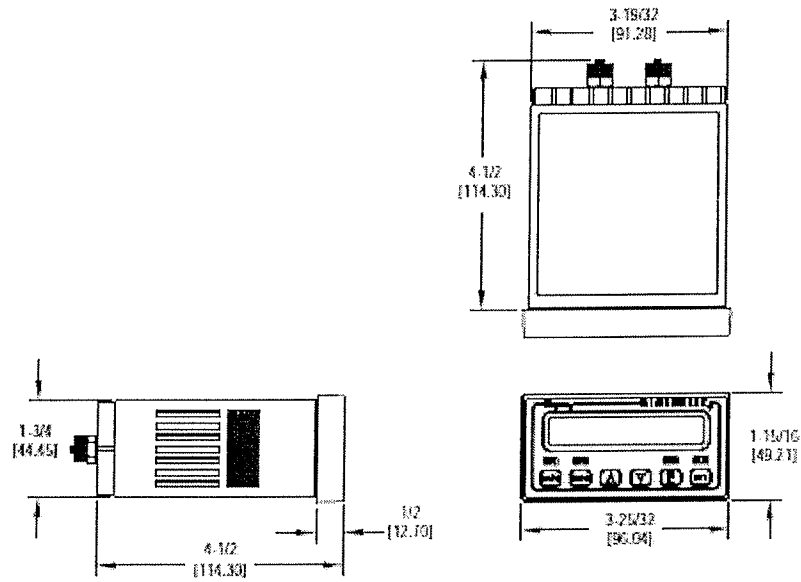


DWYER INSTRUMENTS, INC.
P.O. BOX 373 • MICHIGAN CITY, IN 46361, U.S.A.

Phone: 219/879-8000
Fax: 219/872-9057

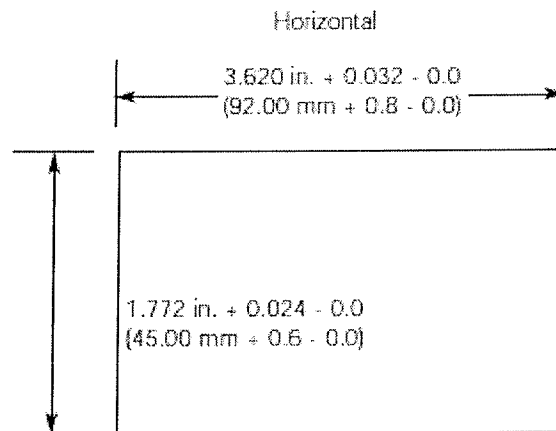
www.dwyer-inst.com
e-mail: info@dwyer-inst.com

DIMENSIONS



Face Designed to Meet NEMA 4X (IP66)

PANEL CUT OUTS



SPECIFICATIONS

Service: Air and non-combustible, compatible gases.

Wetted Materials: Consult factory.

Housing Material: ABS plastic, UL approved 94-V-0.

Accuracy: $\pm 0.5\%$ at 77°F (25°C) including hysteresis and repeatability (after 1 hour warm-up).

Stability: $< \pm 1\%$ per year.

Pressure Limits: Ranges ≥ 2.5 in. w.c. – 2 psi
5": 5 psi; 10": 5 psi; 25": 5 psi; 50": 5 psi; 100": 9 psi.

Temperature Limits: 32 to 140°F (0 to 60°C).

Compensated Temperature Limits: 32 to 140°F (0 to 60°C).

Thermal Effects: 0.020%/°F (0.036%/°C) from 77°F (25°C).

Power Requirements:

High Voltage Power – 100 to 240 VAC, 50 to 400 Hz or 132 to 240 VDC.

Low Voltage Power – 24 VDC $\pm 20\%$.

Power Consumption:

Low Voltage Power – 24 VDC - 130 mA max.

High Voltage Power – 100 to 240 VAC, 132 to 240 VDC - 7VA max.

Output Signal: 4-20 mA DC into 900 ohms max.

Zero & Span Adjustments: Accessible via menus.

Response Time: 250 ms (dampening set to 1).

Display: 4 digit LCD 0.4" height LED indicators for set point and alarm status.

Electrical Connections: Screw terminals.

Process Connections: Compression fitting for use with 1/8" ID tubing x 1/4" OD tubing (3.175 mm ID x 6.35 mm OD).

Enclosure Rating: Face designed to meet NEMA 4X (IP66).

Mounting Orientation: Mount unit in horizontal plane.

Size: 1/8 DIN. Panel Cutout: 1.772 x 3.620 in (45 x 92 mm).

Weight: 14.4 oz (408 g).

Serial Communications: Modbus® Protocol RTU, RS485, 9600 Baud.

Agency Approvals: UL Listed, CUL Listed File No. E83725

CE EMC and Low Voltage Directives:

EN61000-4-2

EN61000-4-3*

EN61000-4-4

EN61000-4-5

EN61000-4-6

EN61000-4-11

EN55011

EN601010

* Models DH-001 through DH-004, DH-011 through DH-014 pass criteria B. All others pass criteria A.

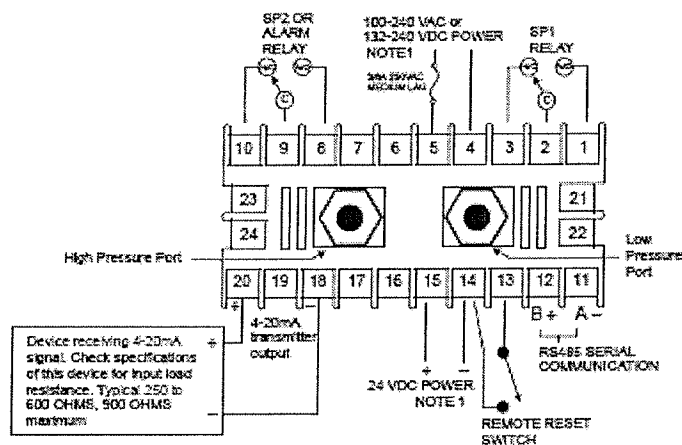
Switch SPECIFICATIONS

Switch Type: 2 SPDT relays.

Electrical Rating: 8 Amps at 240 VAC resistive.

Set Point Adjustment: Adjustable via keypad on face.

WIRING



WARNING

If Dighelec[®] is powered by 24 VDC, the device receiving the 4-20 mA transmitter output **MUST NOT** share a common ground with the 24 VDC supply or damage to the Dighelec[®] will result.

NOTES:

1. The instrument may be powered from the AC line or 24 VDC. Do not wire AC line terminals 4-5 and 24 VDC terminals 14-15 at the same time or damage to the unit will result.
2. For supply connections, wire in accordance with an equivalent national standard or code. Use copper conductors only rated for at least 75°C.
3. Terminals 11-15, 18 and 20 are rated CLASS 2.
4. **ISOLATION:**
 Relays - 1500 VAC to all other inputs and outputs.
 AC Line Power (terminals 4-5) - 1500 VAC to all other inputs and outputs.
 RS485 output - 500 VAC to all other CLASS 2 wiring.
 The 24 VDC Power, 4-20 mA transmitter, and Remote Reset Switch share a common ground.
5. The Remote Reset Switch must be a dry contact switch.
6. Shielded cable is required for RS485 wiring.



It is not necessary to remove the control chassis from the housing for installation. If the control chassis is removed from the housing, you must follow industry standard practice for control and protection against Electro-Static Discharge (ESD). Failure to exercise good ESD practices may cause damage to the control.



Wiring to housing terminals while chassis is removed may cause distortion of the internal connector and possible damage to the connector when the chassis is reinstalled. It is strongly recommended that the control housing be wired with the chassis installed.

INSTALLATION

Mount the instrument in a location that will not be subject to excessive temperature, shock or vibration. All models are designed for mounting in an enclosed panel.

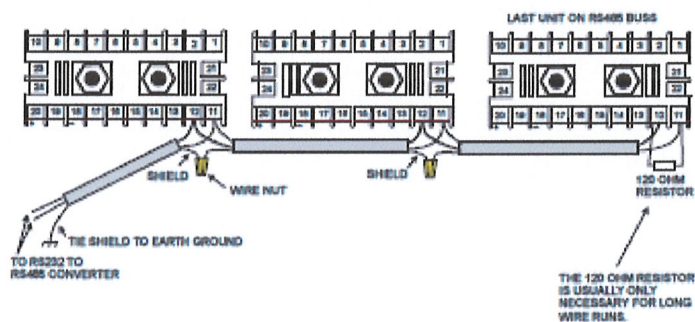
Select the position desired for the instrument on the panel. Prepare the panel by cutting and deburring the required opening.

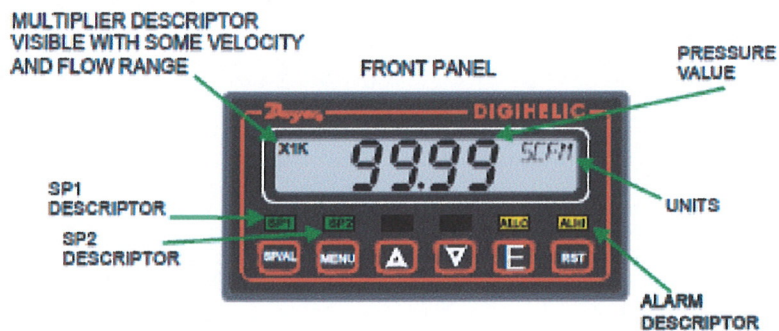
From the front of the panel, slide the instrument through the cut out. The housing gasket should be against the housing flange before installing.

From the rear of the panel slide the mounting collar over the housing. Hold the housing with one hand and using the other hand, push the collar evenly against the panel until the springs are compressed. The ratchets will hold the mounting collar and housing in place.

DIGIHELIC® CONTROLLER RS485 WIRING

- RS485 WIRING TO DAISY CHAIN INSTRUMENTS ON THE RS485 BUSS
UP TO 128 UNITS MAY BE DAISY CHAINED



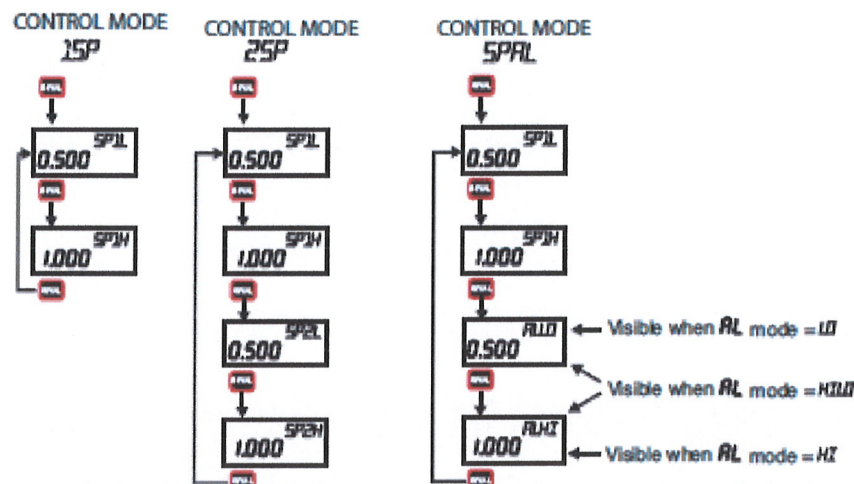


KEY FUNCTIONS

| | HOME POSITION FUNCTION | MAIN MENU FUNCTION | SUB MENU FUNCTION |
|--------------|--|-------------------------|--|
| SPVAL | Sequences the display through SET POINT and ALARM settings | Return to home position | Return to home position |
| MENU | Allows access to the menus | Return to home position | Return to previous menu |
| UP ARROW | | Sequences through menus | Increments a value |
| DOWN ARROW | | Sequences through menus | Decrements a value |
| ENTER | Displays full scale range of unit | Enter into SUB MENU | Changes a value or setting. Press ENTER and display will blink. Adjust with UP or DOWN arrows. Press ENTER to store. Display will stop blinking. |
| RST RESET | Clears or resets an Alarm (alarm set for manual reset) | | Peak/Valley SUB MENU resets display to present value. |

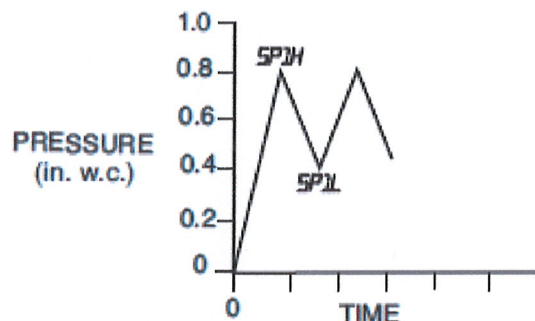
SETTING SET POINTS AND ALARMS

The **SPAL** hot key provides direct access to the Set Point and Alarm MENU. The Set Point and Alarm MENUS that are displayed are based upon the Control (Ctrl) SUB MENU.



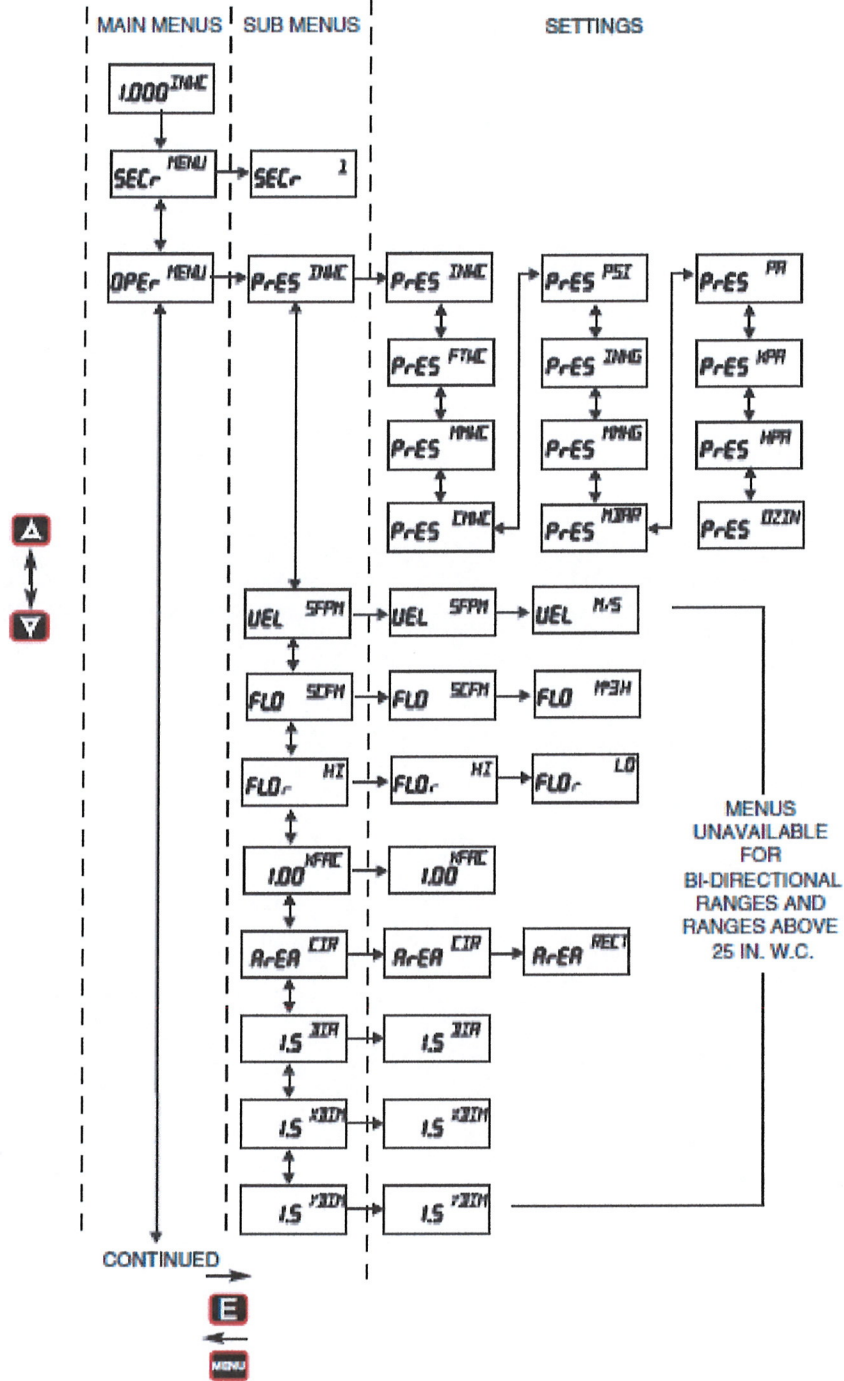
SET POINT ADJUSTMENT

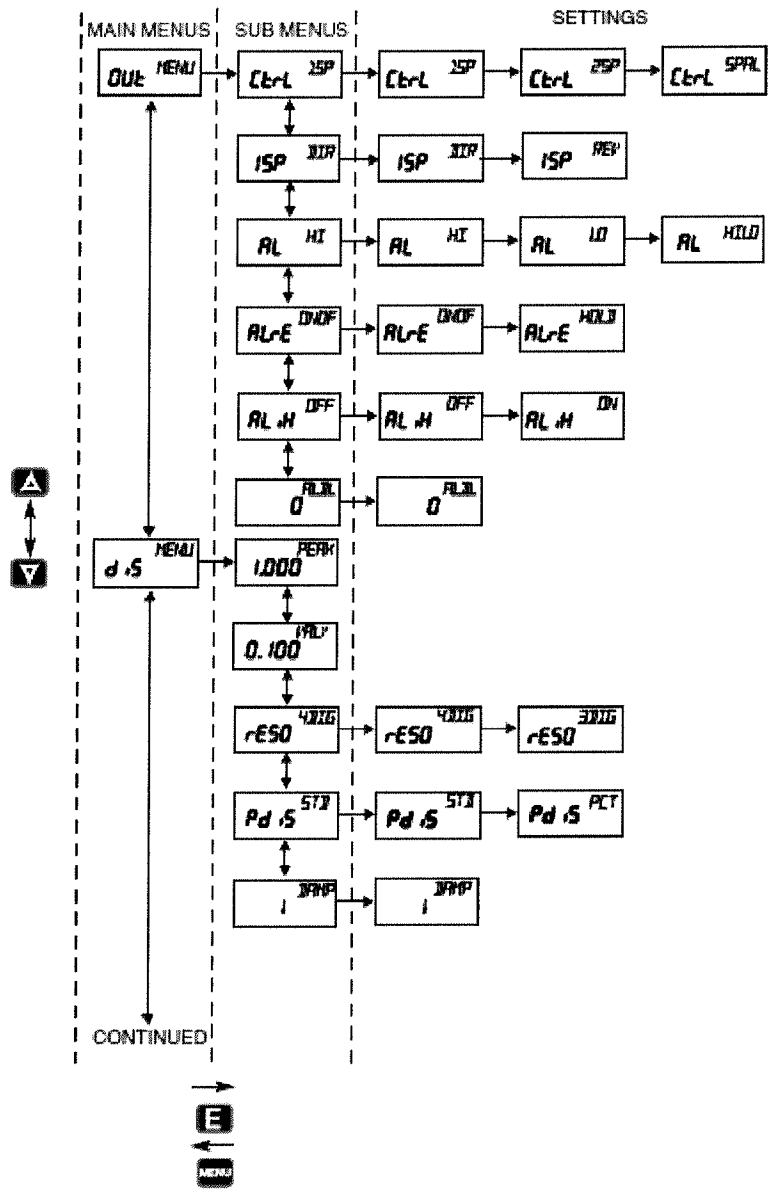
Adjusting the Digihelic® Controller Set Points is quick and simple. Instead of setting a set point and deadband, simply adjust *SP1H* or *SP2H* for the desired relay turn on point, and then adjust *SP1L* or *SP2L* for the desired relay turn off point.



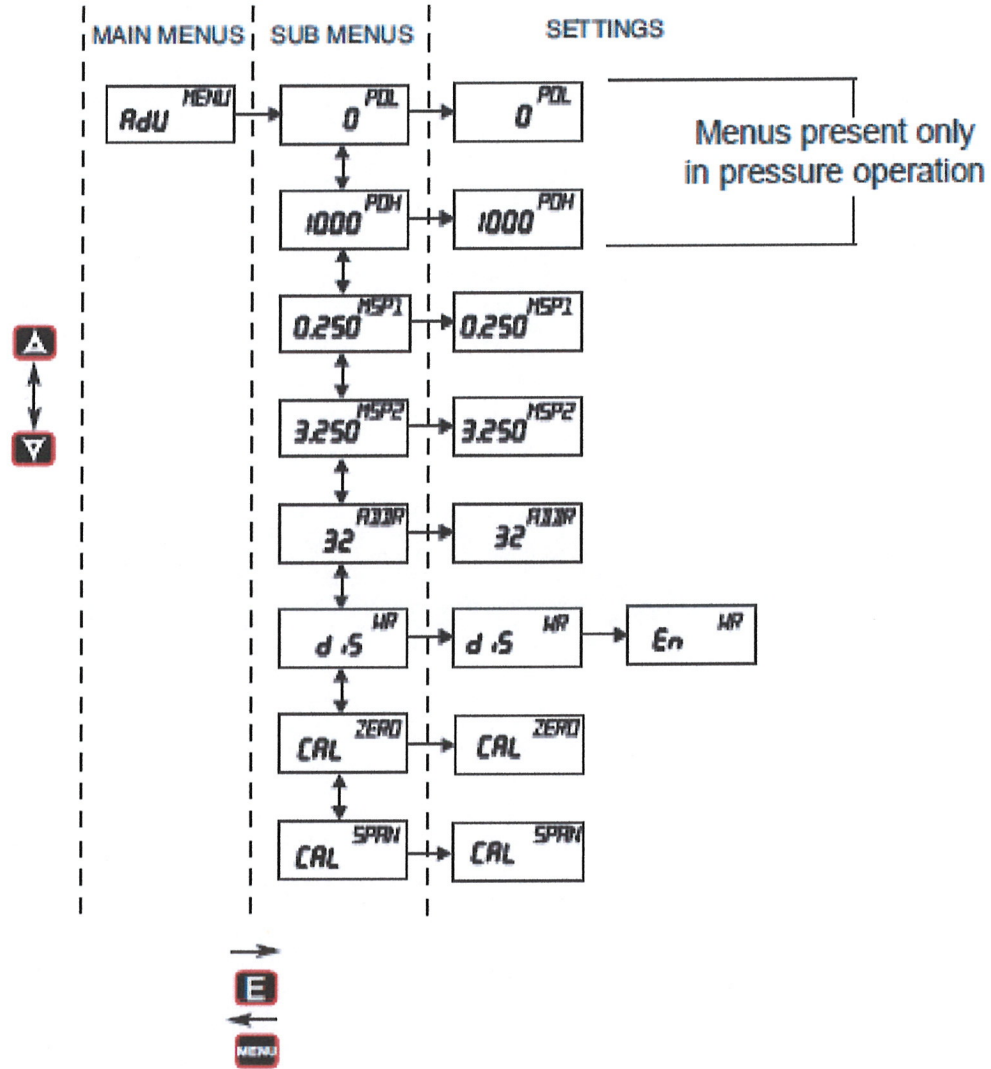
In the above graph, an instrument with a 1.0" range would have the SP1 relay turn on at 0.8" and off at 0.4". *SP1H* sets the relay turn on point, and *SP1L* sets the relay turn off point. The relays outputs normally function in the direct acting mode, which means the relays turn on with an increase in pressure. SP1 may be configured to act as a reverse acting relay (refer to the 1SP SUB MENU setting, page 15). When set for reverse acting, *SP1H* sets the relay turn OFF point, and *SP1L* sets the relay turn ON point. SP2 is always direct acting.

MENU MAP





CONTINUED



Main Menu Selections (Upper Right Display Reads *MENU*)

- SEC* Security - Lock out access to Set Point and Alarm settings, or lock out access to all settings.
- OPER* Operation - Selection of Pressure, Velocity or Flow and corresponding engineering units.
- OUT* Output - Select a Single Set Point, 2 Set Points, or a Set Point and an Alarm mode of operation.
- DIS* Display - Monitor and adjust display related settings: Peak, Valley, display resolution, % output and dampening.
- ADV* Advanced functions - Modify advanced function parameters, transmitter output scaling, Modbus® Protocol communication settings, Maintenance Set Point settings and calibration.

MAIN MENUS and SUB MENUS

SEC (Security) MAIN MENU

SEC is the only SUB MENU in the security MENU. When the security SUB MENU is selected, the present security level is displayed in the upper right hand display. To change the security level, adjust the number displayed to the number shown in the following table for the desired security level.

| Security Level Displayed | Access | Password Value to Enter |
|--------------------------|------------------------------|-------------------------|
| 1 | All menus access | 10 |
| 2 | Menu Access SP/AL Locked | 70 |
| 3 | SP/AL Access Menus Locked | 90 |
| 4 | All settings locked | 111 |

The password values shown in the table cannot be altered, so retain a copy of these pages for future reference.

OPE (Operation) MAIN MENU

The *OPE* MENU selects the measurement type of the instrument.

The SUB MENUS are:

| | | |
|------------------------|------------------------|---------------------------|
| <i>PrES</i> - Pressure | <i>KFAC</i> - K Factor | <i>XDIM</i> - X Dimension |
| <i>VEL</i> - Velocity | <i>R-ER</i> - Area | <i>SDIM</i> - Y Dimension |
| <i>FLO</i> - Flow | <i>DIR</i> - Diameter | |

If the instrument is set for Velocity, the *OPE* MENU will have an additional *KFAC* SUB MENU. If the instrument is set for Flow, the *OPE* MENU will have additional *KFAC* and *R-ER* SUB MENUS. These will be discussed under Velocity and Flow. When scrolling through the *OPE* SUB MENUS, the measurement type the unit is currently set for will show the units in the upper right display. The other measurement types will have a blank upper right display.



PRES (Pressure) SUB MENU

For pressure measurement, the following units are available:

| | |
|---|--------------------------------------|
| <i>INWC</i> - Inches of water column | <i>MMHG</i> - Millimeters of mercury |
| <i>FTWC</i> - Feet of water column | <i>MBAR</i> - Millibar |
| <i>MMWC</i> - Millimeters of water column | <i>PA</i> - Pascal |
| <i>CMWC</i> - Centimeters of water column | <i>KPA</i> - Kilopascals |
| <i>PSI</i> - Pounds per square inch | <i>HPA</i> - Hectopascals |
| <i>INHG</i> - Inches of mercury | <i>OZIN</i> - Ounce inches |

Table 1 Pressure Range vs. Available Units

| INWC | FTWC | MMWC | CMWC | PSI | INHG | MMHG | MBAR | PA | KPA | HPA | OZIN |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| .1000 | | 2.540 | .2540 | | | .1868 | .2491 | 24.91 | | .2491 | |
| .2500 | | 6.350 | .6350 | | | .4671 | .6227 | 62.27 | | .6227 | .1445 |
| .5000 | | 12.70 | 1.270 | | | .9342 | 1.245 | 124.5 | .1245 | 1.245 | .2890 |
| 1.000 | | 25.40 | 2.540 | | | 1.868 | 2.491 | 249.1 | .2491 | 2.491 | .5780 |
| 2.500 | .2083 | 63.50 | 6.350 | | .1839 | 4.671 | 6.227 | 622.7 | .6227 | 6.227 | 1.445 |
| 5.000 | .4167 | 127.0 | 12.70 | .1806 | .3678 | 9.342 | 12.45 | 1245 | 1.245 | 12.45 | 2.890 |
| 10.00 | .8333 | 254.0 | 25.40 | .3613 | .7356 | 18.68 | 24.91 | 2491 | 2.491 | 24.91 | 5.780 |
| 25.00 | 2.083 | 635.0 | 63.50 | .9032 | 1.839 | 46.71 | 62.27 | 6227 | 6.227 | 62.27 | 14.45 |
| 50.00 | 4.167 | 1270 | 127.0 | 1.806 | 3.678 | 93.42 | 124.5 | | 12.45 | 124.5 | 28.90 |
| 100.0 | 8.333 | 2540 | 254.0 | 3.613 | 7.356 | 186.8 | 249.1 | | 24.91 | 249.1 | 57.80 |

NOTE: *CMFL* (over flow) or *LMFL* (under flow) will appear when the ranges have been exceeded above or below full scale by 2%.

VEL (Velocity) SUB MENU

For velocity measurement, the following units are available:

| |
|--|
| <i>SFPM</i> - Standard feet per minute |
| <i>M/S</i> - Meters per second |

Table 2 Available Velocity Ranges

| INPUT RANGE INWC | SFPM RANGE | M/S RANGE |
|------------------|----------------|-----------|
| 0 - 0.1 | 0 - 1266 | 0 - 6.431 |
| 0 - 0.25 | 0 - 2002 | 0 - 10.17 |
| 0 - 0.5 | 0 - 2832 | 0 - 14.39 |
| 0 - 1 | 0 - 4004 | 0 - 20.36 |
| 0 - 2.5 | 0 - 6332 | 0 - 32.17 |
| 0 - 5 | 0 - 8954 | 0 - 45.48 |
| 0 - 10 | 0 - 12.66 x IK | 0 - 64.33 |
| 0 - 25 | 0 - 20.02 x IK | 0 - 101.7 |

NOTE: Air velocity and flow readings are based upon standard dry air conditions with an ambient temperature of 70°F and a barometric pressure of 29.92 INHG.

FLO (Flow) SUB MENU

For flow measurements the following units are available:

SCFM - Standard cubic feet per minute

M³/H - Cubic meters per hour

FLO_r (Flow Range) SUB MENU

LO - 99.99 x 1K flow range

H - 999.9 x 1K flow range

Tables 3 -6 show the flow ranges available, and the maximum duct size that can be set for each input range.

Table 3

FLO_r = LO Maximum Duct Size (English)

| RANGE IN WC | SCFM RANGE | MAX. DUCT SIZE, SQ. FT. |
|----------------|---------------|----------------------------|
| 0.1 | 99.99 x 1K | 78.9 |
| 0.25 | 99.99 x 1K | 49.9 |
| 0.5 | 99.99 x 1K | 35.3 |
| 1 | 99.99 x 1K | 24.9 |
| 2.5 | 99.99 x 1K | 15.7 |
| 5 | 99.99 x 1K | 11.1 |
| 10 | 99.99 x 1K | 7.8 |
| 25 | 99.99 x 1K | 4.9 |

Table 4

FLO_r = H Maximum Duct Size (English)

| RANGE IN WC | SCFM RANGE | MAX. DUCT SIZE, SQ. FT. |
|----------------|---------------|----------------------------|
| 0.1 | 999.9 x 1K | 789.8 |
| 0.25 | 999.9 x 1K | 499.5 |
| 0.5 | 999.9 x 1K | 353.1 |
| 1 | 999.9 x 1K | 249.7 |
| 2.5 | 999.9 x 1K | 157.9 |
| 5 | 999.9 x 1K | 111.7 |
| 10 | 999.9 x 1K | 78.9 |
| 25 | 999.9 x 1K | 49.9 |

Table 5

FLO_r = LO Maximum Duct Size (Metric)

| RANGE IN WC | M ³ /Hr RANGE | MAX. DUCT SIZE M ² |
|----------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 0.1 | 99.99 x 1K | 4.32 |
| 0.25 | 99.99 x 1K | 2.73 |
| 0.5 | 99.99 x 1K | 1.93 |
| 1 | 99.99 x 1K | 1.37 |
| 2.5 | 99.99 x 1K | 0.86 |
| 5 | 99.99 x 1K | 0.61 |
| 10 | 99.99 x 1K | 0.43 |
| 25 | 99.99 x 1K | 0.27 |

Table 6

FLO_r = H Maximum Duct Size (Metric)

| RANGE IN WC | M ³ /Hr Range | MAX. DUCT SIZE, M ² |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 0.1 | 999.9 x 1K | 43.19 |
| 0.25 | 999.9 x 1K | 27.31 |
| 0.5 | 999.9 x 1K | 19.3 |
| 1 | 999.9 x 1K | 13.64 |
| 2.5 | 999.9 x 1K | 8.63 |
| 5 | 999.9 x 1K | 6.10 |
| 10 | 999.9 x 1K | 4.31 |
| 25 | 999.9 x 1K | 2.73 |

KFAK SUB MENU

KFAK K Factor - becomes accessible if the instrument is set for Velocity or Flow.

When the Digihelic[®] Controller is used with a pitot tube, the manufacturer may specify a K Factor. The adjustment range is 0.01 to 2.00. The factory setting is 1.

AREA, DIA, XDIM and YDIM SUB MENUS

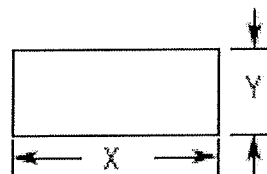
These SUB MENUS become accessible if the instrument is set for flow. When measuring flow, the area of the duct must be specified. Tables 3 and 4 show the input range vs maximum flow and duct size. For a rectangular duct the maximum size is specified in square feet or meters. For a circular duct the maximum size is specified as the diameter. X, Y and circular dimensions are entered in feet with 0.01 foot resolution for $ALQ = LB$ and 0.1 foot resolution for $ALQ = H$, or entered in millimeters with 1 millimeter resolution.

AREA - Area, select *CIR* for a circular duct or *RECT* for a rectangular duct. If a circular duct is selected, the *DIA* SUB MENU will be activated. If a rectangular duct is selected, the *XDIM* and *YDIM* SUB MENUS will be activated.

DIA - Diameter, enter the diameter of a duct

XDIM - Enter the "X" dimension of a duct

YDIM - Enter the "Y" dimension of a duct



OUT (Output) MAIN MENU

The *OUT* MENU selects the output type of the instrument. The SUB MENUS are:

CTRL - Control type

ISP - SP1 reverse or direct acting

AL - Alarm type

ALR - Alarm reset, manual or auto

ALH - Alarm inhibit

ALDL - Alarm delay

CTL (Control) SUB MENU

ISP - Single set point

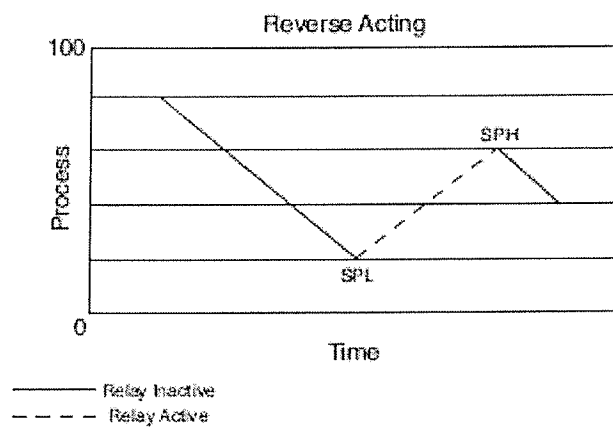
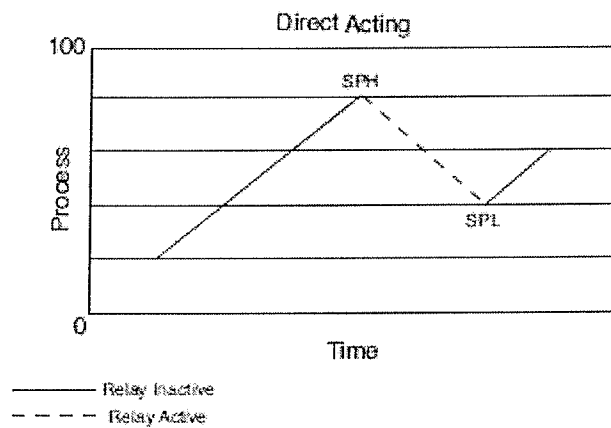
ZSP - Two fully independent set points

SPAL - Single set point and alarm

ISP (SP1 Reverse or Direct Acting) SUB MENU

DR - Direct. Relay turns on with increasing pressure

REV - Reverse. Relay turns on with decreasing pressure



The following alarm function SUB MENUS are activated when *Ctrl* is set to *SPFL*:

AL (Alarm Type) SUB MENU

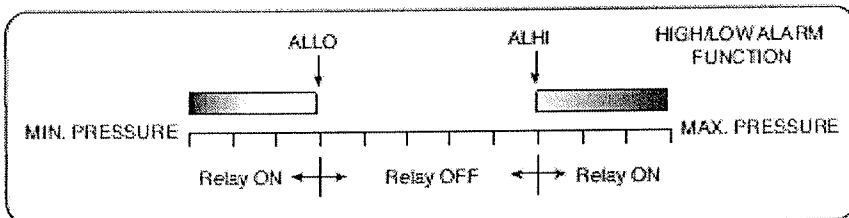
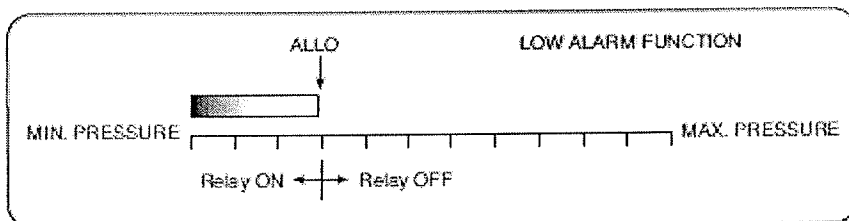
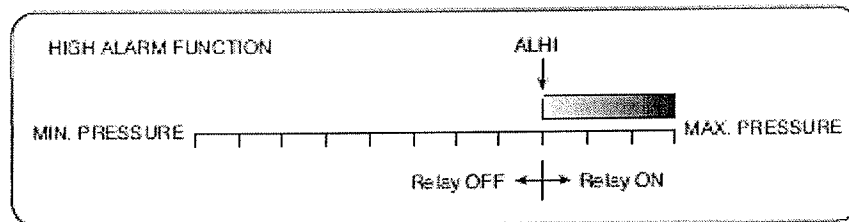
HI - High alarm

LO - Low alarm

HLD - For a high/low guardband type alarm

ALARM ADJUSTMENT

Alarm settings are dependent upon the selected alarm mode. The Digihelic® Controller alarm may be configured as a High Alarm, Low Alarm, or High/Low Alarm. Alarm settings are all absolute and may be set to anywhere within the range of the instrument. The dead bands of the alarms are fixed at 1% of full scale.



ALR-E (Alarm Reset) SUB MENU

ONOF - Automatic reset

HOLD - Manual reset. An alarm is reset by the RESET key on the front panel, or an external reset switch.

ALH (Low Alarm Inhibit) SUB MENU

ON - Alarm inhibit is on

OFF - Alarm inhibit is off

If *ALH* is selected ON, a low alarm condition is suspended upon power up until the process value passes through the alarm set point once.

ALD (Alarm Delay) SUB MENU

Sets the amount of time an alarm condition must be continuously met before the alarm condition is recognized. The alarm delay is adjustable from 0-3600 seconds.

dS (Display) MAIN MENU

PEAK - Peak value

RESO - Resolution

VALY - Valley value

PdS - Process display

ZERO - Zero

DAMP - Dampening level

PEAK (Peak) SUB MENU

The Peak feature stores the highest pressure reading the instrument has measured since the last reset or power up. At power up *PEAK* is reset to the present pressure reading. To manually reset the *PEAK* value, press the RESET key while in the *PEAK* SUB MENU.

VALY (Valley) SUB MENU

The valley feature stores the lowest pressure reading the instrument has measured since the last reset or power up. At power up *VALY* is reset to the present pressure reading. To manually reset the *VALY* value, press the RESET key while in the *VALY* SUB MENU.

PRES (Resolution) SUB MENU

The Digihelic® Controller is capable of displaying four digits of resolution. However, at very low pressures the instability of the pressure may cause fluctuations in the least significant digit causing the least significant digit to be of little value. Three digit resolution (*3DIG*) can only be active when there is at least one digit to the right of a decimal.

3DIG - Set display for 3 digit resolution

4DIG - Set display for 4 digit resolution

PDIS (Process Display) SUB MENU

STD - Display reads pressure, velocity, or flow values

PCT - Display reads % of full scale value

When the display is reading percent, *PCT* is displayed in the upper right of the display. The percent display is only available in pressure operation.

DAMP (Dampening) SUB MENU

Adjust from 1-16

Dampening stabilizes the display from instabilities due to things such as vibration and excessive pressure fluctuations. The dampening setting adjusts the amount of readings that are averaged for each display update. Adjust the dampening value until the display reads a stable value for the application.

ADV (Advanced) MAIN MENU

POL - Process output low

ADDR - Modbus® Protocol address

POH - Process output high

WR - Modbus® Protocol write enable/disable

MSPI - Maintenance set point 1

ZERO - Zero calibration

MSPI2 - Maintenance set point 2

SPAN - Span calibration

POL and POH (Process Output Low and High) SUB MENUS

This feature is used in pressure operation only.

Process output low and high are used to scale the 4-20 mA output. Set *POL* to the desired display reading for 4mA output, and set *POH* to the desired display reading for 20 mA output. *POH* must be higher than *POL*. *POL* may be adjusted 2% BELOW minimum scale up to *POH*. *POH* may be adjusted from *POL* to 2% ABOVE maximum scale.

MSP1 and MSP2 (Maintenance Set Point 1 & 2) SUB MENU

Adjust for the desired maintenance set points when the unit is placed in the maintenance mode. The deadband is fixed at 2% of full scale. To enter or leave the maintenance mode, press and hold the **IPAL** for 8 seconds.

ADDR (Modbus® Protocol Address) SUB MENU

Modbus® communication instrument address. Set from 1 to 247. This number must match the address number used by the host computer. To obtain the Digihelic® Controller Modbus® register list please visit www.dwyer-inst.com
See page 4 for wiring diagram.

WR (Modbus® Write Protect) SUB MENU

dS - Disables write commands from Modbus®. Protocol can only read information from the instrument.

En - Enable write commands from Modbus® Protocol. Modbus® can read information from and write information to the instrument.

ZERO and SPAN (Calibration of Zero and Span) SUB MENUS

The lower display reads *CAL* in this mode.

ZERO Calibration

NOTE: For accurate calibration, DO NOT apply any pressure when performing this function.

With the display reading *ZERO*, press the ENTER key. The upper display will blink. Press ENTER again to complete the zeroing of the instrument or press the *MENU* key to cancel.

SPAN Calibration

With the display set to *SPAN*, apply full scale pressure to the unit. Press the ENTER key. The upper display will blink. Press ENTER again to complete the calibration or press the *MENU* key to cancel.

Modbus® is a registered trademark of Schneider Automation and Company.

©Copyright 2009 Dwyer Instruments, Inc.

Printed in U.S.A. 7/09

FR# 443246-00 Rev. 4

DWYER INSTRUMENTS, INC.
P.O. BOX 373 • MICHIGAN CITY, IN 46361, U.S.A.

Phone: 219/878-8000

Fax: 219/872-9057

www.dwyer-inst.com

e-mail: info@dwyer-inst.com

D. ACTUADOR LINEAL FIRGELLI L16-P.



Applications

- Robotics
- Consumer appliances
- Toys
- RC vehicles
- Automotive
- Industrial Automation

Miniature Linear Motion Series · L16

Firgelli Technologies' unique line of Miniature Linear Actuators enables a new generation of motion-enabled product designs, with capabilities that have never before been combined in a device of this size. These linear actuators are a superior alternative to designing your own push/pull mechanisms.

The L16 actuators are complete, self contained linear motion devices with position feedback for sophisticated position control capabilities, or end of stroke limit switches for simple two position automation. Driving them couldn't be easier, simply apply a DC voltage to extend the actuator, and reverse the polarity to retract it. Several gear ratio's are available to give you varied speed/force configurations.

L16 Specifications

| Gearing Option | 35:1 | 63:1 | 150:1 |
|--------------------------|--------------------------------|-------------|-------------|
| Peak Power Point | 50N @16mm/s | 75N @10mm/s | 175N @4mm/s |
| Peak Efficiency Point | 24N @24mm/s | 38N @15mm/s | 75N @7mm/s |
| Max Speed (no load) | 32mm/s | 20mm/s | 8mm/s |
| Max Force (lifted) | 50N | 100N | 200N |
| Back Drive Force | 31N | 46N | 102N |
| Stroke Option | 50mm | 100mm | 140mm |
| Mass | 56g | 74g | 84g |
| Positional Accuracy | 0.3mm | 0.4mm | 0.5mm |
| Max Side Load (extended) | 40N | 30N | 20N |
| Feedback Potentiometer | 9kΩ±30% | 18kΩ±30% | 25kΩ±30% |
| Electrical Stroke | 48mm | 98mm | 138mm |
| Input Voltage | 0-15 VDC. Rated at 12VDC. | | |
| Stall Current | 650mA @ 12V | | |
| Operating Temperature | -10°C to +50°C | | |
| Lifetime @ Peak eff. Pt. | 20,000 strokes, 20% Duty Cycle | | |
| Audible Noise | 57dB @ 45cm | | |
| Ingress Protection | IP-54 | | |
| Mechanical Backlash | 0.2mm | | |
| Limit Switches | Max. Current Leakage: 8uA | | |

Basis of Operation

The L16 is designed to push or pull a load along its full stroke length. The speed of travel is determined by the load applied. (See the Load Curves). When power is removed the actuator will hold its position, unless the applied load exceeds the backdrive force. Stalling the actuator for short periods will not cause damage, however repeated stalling will shorten the life of the actuator.

Ordering

Small quantity orders can be placed directly online at www.firgelli.com. Each actuator ships with two mounting brackets and #8-32 mounting hardware. The cable length is approximately 300mm and connector is a 0.1" pitch female socket connector.

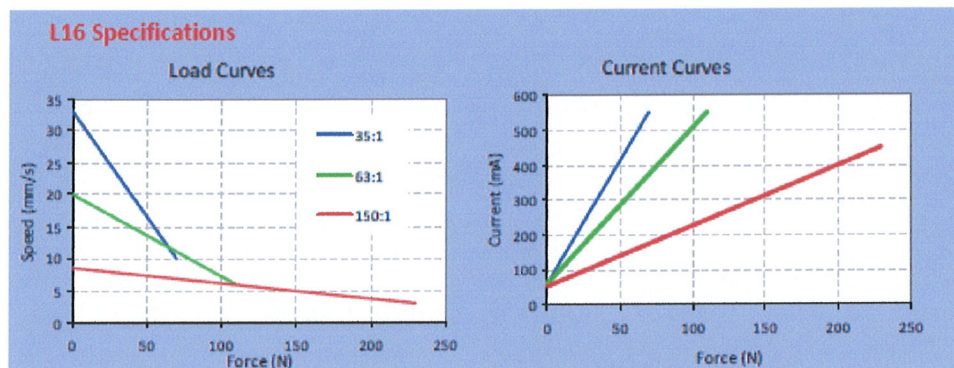


Firgelli Technologies Inc.

1550 Mileva Lane
 Victoria, BC V8N 2V5
 Canada

1 (206) 3479684 phone
 1 (888) 2259398 toll-free
 1 (206) 3479684 fax

sales@firgelli.com
 www.firgelli.com



Model Selection

The L16 has 3 configuration choices: Stroke, Gear Ratio and Controller. L16 options are identified according to the following model numbering scheme:

L16-SS-GG-VV-C

| feature | options |
|---|--|
| SS: Stroke | 50, 100, 140 (mm) |
| GG: Gear reduction ratio (refer to load curves above) | 35, 63, 150 (lower ratios are faster but push less force, and vice versa) |
| VV: voltage | 12 (DC volts) |
| C: Controller | P Potentiometer Feedback S Limit Switches |

L16 Controller Options

Option S – End of Stroke Limit Switches

WIRING: (see next page for pin numbering)

- 1 (red) - Actuator Motor Power
- 2 (black) - Actuator Motor Power

The -S actuators have limit switches that will turn off power to the motor when the actuator reaches within 1mm of the end of stroke. Internal diodes allow the actuator to reverse away from the limit switch. The limit switches cannot be moved. While voltage is applied to the motor power pins the actuator extends. Reverse the polarity and the actuator retracts. This can be accomplished manually with a DPDT switch or relay, or using an H-Bridge circuit. The -S model cannot be used with the CIB control board.

Option P – Potentiometer Position Feedback

WIRING: (see next page for pin numbering)

- 1 (orange) – Feedback Potentiometer negative reference rail
- 2 (purple) – Feedback Potentiometer wiper
- 3 (red) – Actuator Motor Power
- 4 (black) – Actuator Motor Power
- 5 (yellow) – Feedback Potentiometer positive reference rail

The -P actuators have no built in controller, but do provide an analog position feedback signal that can be input to an external controller. While voltage is applied to the motor power pins (3 & 4) the actuator extends. Reverse the polarity and the actuator retracts. This can be accomplished manually with a DPDT switch or relay, or using an H-Bridge circuit. Position of the actuator stroke can be monitored by providing any stable low and high reference voltage on pins 1 & 5, then reading the position signal on pin 2. The voltage on pin 2 will vary linearly between the two reference voltages in proportion to the position of the actuator stroke.

The L16 -P actuators can be used as a linear servo by connecting the actuator to a microcontroller such as the CIB control board offered by Firgelli. This control board reads the position signal from the L16, compares it with your input control signal then commands the actuator to move via an on-board H-bridge circuit. The CIB allows any one of the following control inputs: Analog 0-5V or 4-20mA, or Digital 0-5V PWM or 1-2ms standard RC. The RC input effectively transforms your L16 into a linear servo which is a direct replacement for any common hobby servo used in RC toys and robotics. Refer to the CIB datasheet for more details.

Special Notes:

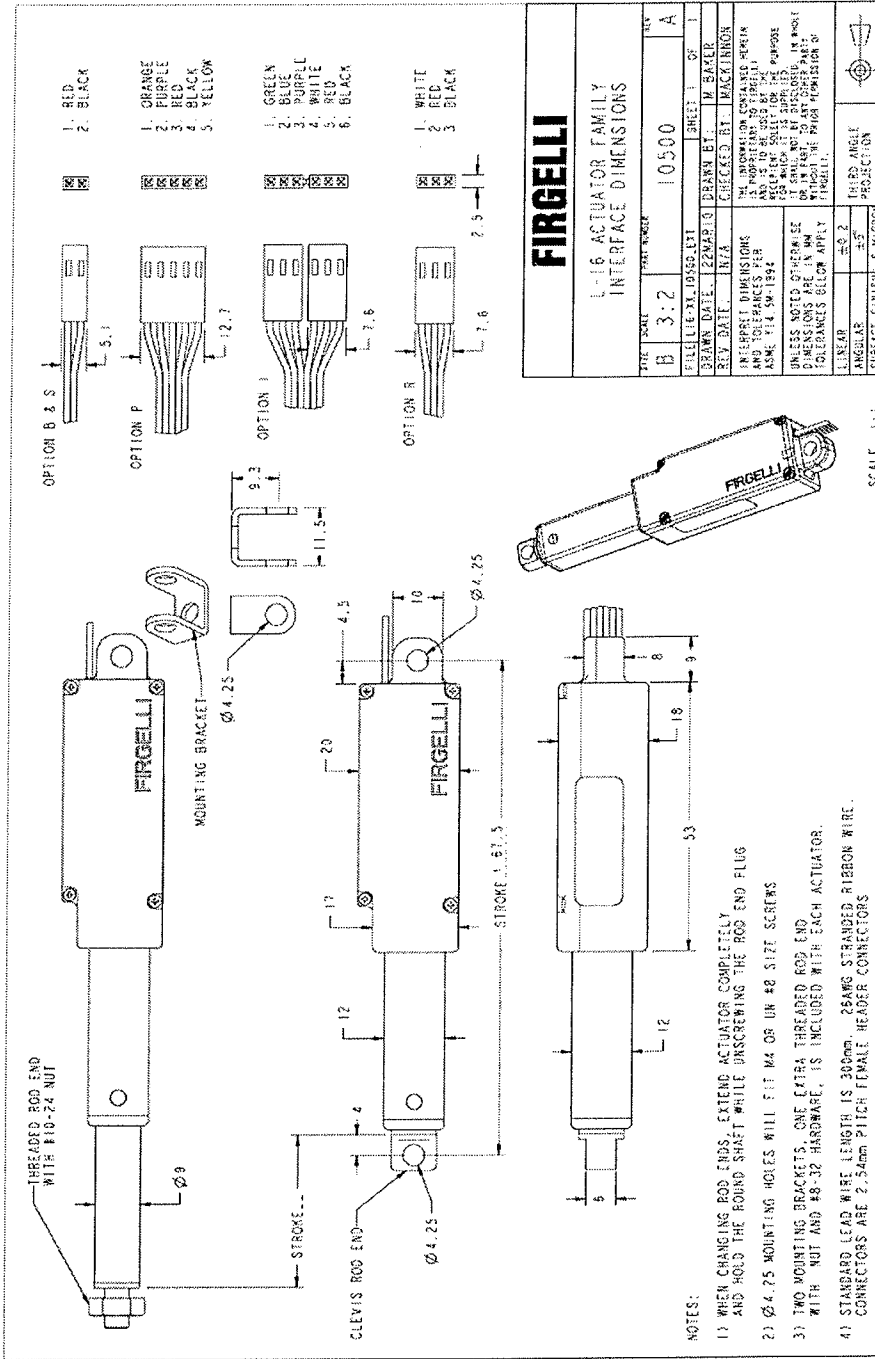
Currently in development are the RC versions of the L16.



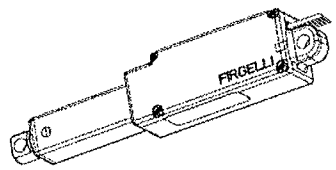
Firgelli Technologies Inc.

1550 Mileva Lane
Victoria, BC V8N 2V5
Canada

1 (206) 3479684 phone sales@firgelli.com
1 (888) 2259398 toll-free www.firgelli.com
1 (206) 3479684 fax



| | |
|--|-------------|
| FIRGELLI | |
| L16 ACTUATOR FAMILY INTERFACE DIMENSIONS | |
| FILE NO. | 10500 |
| REV. DATE. | 12/27/80 |
| DESIGNED BY | M. BAKER |
| CHECKED BY | M. KACKINON |
| ALL DIMENSIONS CONTAINED HEREIN ARE UNLESS OTHERWISE SPECIFIED IN PARAGRAPHS 1 THROUGH 4 AND TOLERANCES PER ASME Y14.5M-1994 | |
| UNLESS NOTED OTHERWISE DIMENSIONS ARE IN INCHES TOLERANCES BELOW APPLY FIRGELLI | |
| UNLESS SPECIFIED | ±0.2 |
| ANGLES | ±5° |
| SURFACE FINISH: B MINOR | |
| PROJECTION | |

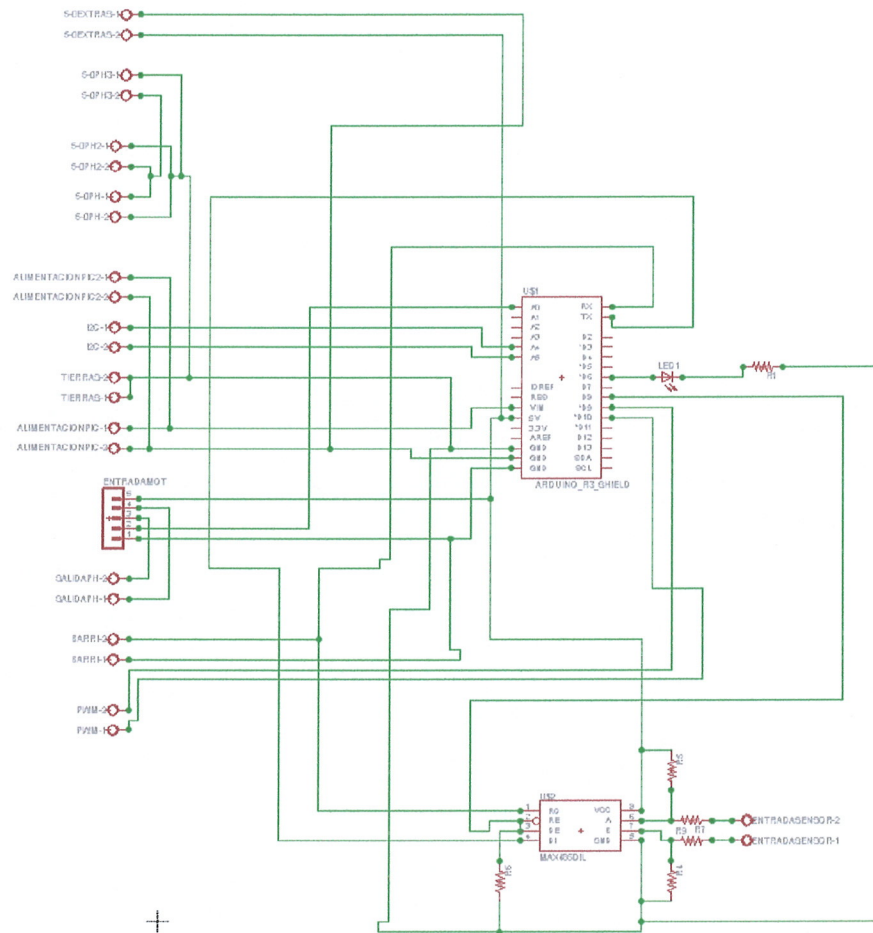


NOTES:

- 1) WHEN CHANGING ROD ENDS, EXTEND ACTUATOR COMPLETELY AND HOLD THE ROUND SHAFT WHILE UNSCREWING THE ROD END FLUG
- 2) Ø 4.75 MOUNTING HOLES WILL FIT M4 OR UN #8 SIZE SCREWS
- 3) TWO MOUNTING BRACKETS, ONE EXTRA THREADED ROD END WITH NUT AND #8-32 HARDWARE, IS INCLUDED WITH EACH ACTUATOR.
- 4) STANDARD LEAD WIRE LENGTH IS 300mm. 28AWG STRANDED RIBBON WIRE CONNECTORS ARE 2.54mm PITCH FEMALE HEADER CONNECTORS

SCALE: 1:1

E. PLANA UNIFICADORA DEL CIRCUITO



XII. GLOSARIO

- *Actuador Lineal*: Un actuador es un dispositivo inherentemente mecanismo cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: presión neumática, presión hidráulica y fuerza motriz eléctrica. Dependiendo de la fuerza del actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico”.
- *Arduino Shield*: son placas impresas las cuales contienen un microcontrolador Atmega 328p. al mismo tiempo son placas que pueden ser conectadas encima de la placa Arduino para extender sus capacidades.
- *Balanza mecánica*: Dispositivo empleado para medir la fuerza de sustentación y arrastre en el modelo de experimentación.
- *Barra roscada*: Barra relativamente larga de hierro, a la cual se le fabrica hacen hilos de rosca desde un extremo al otro.
- *Bit*: Es un dígito del sistema de numeración binario. Un bit es la unidad mínima de información empleada en informática, o en cualquier dispositivo digital. Con un bit se pueden representar dos valores “1” o “0”.
- *Byte*: Equivale a 8 bits.
- *Columna de agua*: Es una unidad de medida de presión que representa el peso de una columna de agua pura (densidad 1000 kg/m^3).
- *Display*: Visualizador, utilizado en dispositivos electricos o electrónicos. (pantalla).
- *Fluido*: Es un tipo de medio continuo formado por alguna sustancia cuyas moléculas hay una fuerza de atracción débil. *Moléculas*: parte más pequeña de una sustancia.

- *Humedad relativa*: Vapor de agua que se encuentra presente en la atmosfera.
- *I2C*: Es un bus de comunicación serial. Su nombre viene de Inter-Integrated Circuit.
- *Interfaz*: Conexión física entre dos sistemas o dispositivos, enviando o recibiendo datos.
- *Manómetro*: Instrumento que mide presión.
- *Mecanismo*: Se le llama así a una maquina simple de un conjunto.
- *Microcontrolador*: Es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Compuesto de bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica.
- *Modbus RTU*: Es un protocolo de comunicación serial. RTU es una representación compacta de los datos especialmente para monitoreo.
- *Modelo de experimentación*: objeto en el cual se toman datos y se le realizan pruebas.
- *Módulo L298N*: Puente H, Driver controlador del actuador lineal.
- *Número de Reynolds*: Número adimensional utilizado en fluidos para caracterizar el movimiento de un fluido.
- *Numero Mach*: Es una medida de velocidad relativa que se define como el cociente entre la velocidad de un objeto y la velocidad del sonido en el medio en que se mueve dicho objeto.
- *Opamp*: Es un circuito electrónico que tiene dos entradas y una salida. La salida es la diferencia de las dos entradas multiplicadas por un factor (ganancia).
- *PIC*: Peripheral Interface Controller, arquitectura RISC, fabricados por Microchip.
- *Recamara de experimentación*: Lugar en el túnel de viento en el cual se pueden realizar pruebas en el modelo de experimentación.

- *Registro*: Es un dispositivo lógico secuencial capaz de almacenar varios bits de información.
- *Resistencia*: Objeto que se opone al flujo de electrones.
- *Rollo de sedal*: Hilo de pescar.
- *Sensores*: Dispositivos capaces de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transfórmalas en variables eléctricas.
- *Servomotor*: Es un motor electrónico capaz de posicionarse en la posición dentro de un rango deseado.
- *Strain Gauge*: Es un dispositivo usado para medir una deformación de geometría en un objeto.