

2019

Edgar Osvaldo  
Ramos Camarillo.



## TITULACIÓN

# PROTOTIPO DIDÁCTICO PARA MEDICIÓN DE CARGAS DE LA MATERIA DE MECÁNICA DE MATERIALES

**Nombre del asesor externo:** M.C. Julio Acevedo Martínez.

**Nombre del asesor interno:** Ing. Fernando García Vargas.

**Nombre de la Empresa:** Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga.

07 de junio de 2019

Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México.

## **2. Agradecimientos.**

Agradezco a Dios por darme la vida, así como las habilidades para poder desarrollar mis estudios con plenitud y fuerza, la capacidad de razonar y pensar para resolver cada uno de los problemas cursantes en el trayecto de mi vida y hoy en día poder realizar cada actividad para poder salir adelante, la paciencia y sabiduría para cada reto y así obtener un avance más en los logros del estudio y la vida.

Agradezco a mis padres por apoyarme encada instante de mi vida personal y de estudios, económicamente, por educarme adecuadamente y llevarme por una vida buena y sana, por no dejarme en aquellos momentos de frustración y sus sabias palabras para poder salir adelante en aquellos momentos difíciles, así como darme la vida con su sencillez y humildad.

Agradezco al Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga por darme una oportunidad de seguir con mis estudios en esta etapa de mi vida, así como darme la capacidad de obtener nuevos conocimientos en cada una de las materias cursadas en el trayecto de la cerrera en Mecatrónica, así como sus instalaciones que me dieron el acojo para poder estudiar plenamente.

Agradezco a los profesores por darme nuevos retos al momento de impartir sus materias, así como darme las nuevas herramientas y habilidades para poder enfrentarme afuera de la escuela plenamente con sus ejemplos desarrollados en la vida industrial, así como sus enseñanzas y experiencias propias, por su paciencia para poder impartir correctamente la materia, aunque a veces no fuera sencillo el tema para el razonamiento del estudiante.

### **3. Resumen.**

El presente documentó trata de manera general de cómo se desarrolló un sistema de medición didáctico que se utilizará para la materia mecánica de materiales, su importancia para la comprensión de los alumnos en la materia antes mencionada ya que puede hacer más fácil la comprensión de algunos temas solo establecidos en la teoría, utilizando como herramienta la electrónica y la programación para su funcionamiento.

Contenido:

- Descripción de componentes utilizados.
- Sistema electrónico.
- Sistema mecánico.
- Ejemplos desarrollados.
- Desarrollo del diseño.
- Problemas implicados en el desarrollo así como sus soluciones.
- Resultados.
- Conclusión.

#### 4. Índice.

| <b>CAPÍTULO</b>                   |  | <b>Pág.</b> |
|-----------------------------------|--|-------------|
| <b>Preliminares</b>               | 1. Portada.....  | 1           |
|                                   | 2. Agradecimientos.....  | 2           |
|                                   | 3. Resumen.....  | 3           |
|                                   | 4. Índice.....   | 4           |
| <b>Generalidades del proyecto</b> | 4.1. Lista de Tablas.....  | 6           |
|                                   | 4.1. Lista de Figuras.....   | 7           |
|                                   | 5. Introducción.....   | 12          |
|                                   | 6. Descripción de la empresa u organización y del puesto o área del trabajo el estudiante.....   | 13          |
|                                   | 7. Problemas a resolver, priorizándolos.....   | 16          |
|                                   | 8. Objetivos (General y Específicos).....  | 17          |
|                                   | 9. Justificación.....  | 18          |
| <b>Marco teórico</b>              | 10. Marco Teórico (fundamentos teóricos).....  | 19          |
|                                   | 10.1. Deflexión.....   | 27          |
|                                   | 10.2. Estática.....  | 30          |
|                                   | 10.3. Equilibrio de un cuerpo rígido en dos dimensiones....                                      | 32          |
|                                   | 10.4. Equilibrio de un cuerpo rígido en tres dimensiones....                                     | 35          |
| <b>Desarrollo</b>                 | 11. Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.....                               | 37          |
| <b>Resultados</b>                 | 12. Resultados.....  | 79          |
| <b>Conclusiones</b>               | 13. Conclusiones del Proyecto, recomendaciones y experiencia personal profesional adquirida..... | 81          |
| <b>Competencias desarrolladas</b> | 14. Competencias desarrolladas y/o aplicadas.....  | 82          |
| <b>Fuentes de información</b>     | 15. Fuentes de información.....  | 83          |
| <b>Anexos</b>                     | 16. Anexos.....  | 84          |
|                                   | 16.1. Programación del sensor para calibración.....  | 84          |
|                                   | 16.2. Programación del sistema.....  | 86          |
|                                   | 16.3. Diagrama de conexión física electrónicas.....  | 89          |

|  |    |
|--|----|
| 16.4. Pasos para solución de caso viga (2D)..... | 91 |
|--|----|

#### 4.1. Lista de Tablas

|  | Pág. |
|--|------|
| Tabla 7.1. Problemas a resolver.....                         | 16   |
| Tabla 10.1. Componentes utilizados.....                      | 26   |
| Tabla 11.1. Elementos seleccionados.....                     | 40   |
| Tabla 11.2. Comparación de resultados.....                   | 56   |
| Tabla 11.3. Comparación de resultados al centro.....         | 75   |
| Tabla 11.4. Comparación de resultados.....                   | 77   |
| Tabla 12.1. Objetivos propuestos y resultados esperados..... | 80   |
| Tabla 16.1. Conexiones de Arduino a HX711.....               | 91   |
| Tabla 16.2. Conexiones de celda de carga.....                | 91   |

## 4.2. Lista de Figuras

|   | Pág. |
|---|------|
| Figura 6.1. Logo, Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga..... | 13   |
| Figura 6.2. Logo TECNM.....   | 13   |
| Figura 10.1. Sistemas.....  | 19   |
| Figura 10.2. Conversor HX711.....                                   | 19   |
| Figura 10.3. Celda de carga.....                                    | 20   |
| Figura 10.4. Arduino mega.....                                      | 20   |
| Figura 10.5. Display LCD.....                                       | 20   |
| Figura 10.6. Fuente de poder.....                                   | 20   |
| Figura 10.7. Cable de datos.....                                    | 21   |
| Figura 10.8. Pesas.....   | 21   |
| Figura 10.9. Estructura.....  | 21   |
| Figura 10.10. Sujeciones.....                                       | 21   |
| Figura 10.11. Pines de conexión hembra / macho.....                 | 22   |
| Figura 10.12. Tablilla fenólica perforada .....                     | 22   |
| Figura 10.13. Nivel de burbuja.....                                 | 23   |
| Figura 10.14. Regla graduada .....                                  | 23   |
| Figura 10.15. Cables de conexión o puentes.....                     | 23   |
| Figura 10.16. Microcontrolador.....                                 | 24   |
| Figura 10.17. Acrílico.....   | 24   |
| Figura 10.18. Nivelador.....  | 25   |
| Figura 10.19. Logo Arduino.....                                     | 25   |
| Figura 10.20. Logo Fritzing.....                                    | 26   |
| Figura 10.21. Logo Solid Works.....                                 | 26   |
| Figura 10.22. Logo MD Solids.....                                   | 26   |
| Figura 10.23. Tipo de deflexión.....                                | 27   |
| Figura 10.24. Momento y curva elástica de viga.....                 | 28   |
| Figura 10.25. Momento y corbatera de viga.....                      | 28   |
| Figura 10.26. Diagrama cuerpo libre de viga.....                    | 29   |

|   |    |
|---|----|
| Figura 10.27. Sistemas de fuerzas.....  | 29 |
| Figura 10.28. Tipo de uniones y fuerzas.....  | 35 |
| Figura 10.29. Tipo de uniones y fuerzas.....  | 36 |
| Figura 11.1. Estructura de puente con indicadores de deformación.....                       | 37 |
| Figura 11.2. Indicadores de carátula de deformación.....                                    | 37 |
| Figura 11.3. Marco para dinamómetros con diferentes puntos de fuerzas.....                  | 38 |
| Figura 11.4 regleta con fuerzas en distintos punto del marco para<br>dinamómetros.....      | 38 |
| Figura 11.5. Estructura con dinamómetros para sumatoria de fuerzas.....                     | 39 |
| Figura 11.6. HX711.....   | 40 |
| Figura 11.7. Celda de carga.....  | 40 |
| Figura 11.8. Componentes soldados con respectivos pines de conexión.....                    | 41 |
| Figura 11.9. Madera para estructura de báscula y taladro para barrenos de<br>tornillos..... | 41 |
| Figura 11.10. Circuito conectado.....   | 42 |
| Figura 11.11. Montaje de celda de carga, circuito y estructura.....                         | 42 |
| Figura 11.12. Programación de sensor de peso.....   | 43 |
| Figura 11.13. Primeras pruebas de sensado.....  | 43 |
| Figura 11.14. Circuito con LCD.....   | 44 |
| Figura 11.15. corte de polín de madera.....   | 45 |
| Figura 11.16. Taladrado de barreno.....   | 45 |
| Figura 11.17. Atornillado de pijas.....   | 46 |
| Figura 11.19. Primer estructura.....  | 46 |
| Figura 11.20. Sensado con pesa graduada en Newton.....                                      | 47 |
| Figura 11.21. Primer prueba de sensado.....   | 47 |
| Figura 11.22. Despliegue datos en LCD.....  | 48 |
| Figura 11.23. Conexión de dos sensores al mismo tiempo.....                                 | 48 |
| Figura 11.24. Despliegue de datos digitalmente.....   | 49 |
| Figura 11.25. Primer prueba del caso viga.....  | 49 |
| Figura 11.26. Despliegue datos digital mente.....   | 49 |
| Figura 11.27. Sugerencia para un modelo futuro.....   | 50 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 11.28. corte de polín de madera.....                           | 50 |
| Figura 11.29. Barrenado para pijas.....                               | 51 |
| Figura 11.30. Atornillado de pija para sujeción de estructura.....    | 51 |
| Figura 11.31. Programación de sensores.....                           | 52 |
| Figura 11.32. Display LCD (16x2).....                                 | 52 |
| Figura 11.33. Display LCD (20x4).....                                 | 52 |
| Figura 11.34. Sujeción de sensores en estructura.....                 | 53 |
| Figura 11.35. Primera prueba con estructura nueva.....                | 53 |
| Figura 11.36. Prueba con distancia a 5cm con una fuerza de 2N.....    | 54 |
| Figura 11.37. Resultados emitidos por MD Solids.....                  | 55 |
| Figura 11.38. Resultados desplegados por la LCD con los sensores..... | 55 |
| Figura 11.39. Prueba usando cuatro sensores usando 2N de fuerza.....  | 56 |
| Figura 11.40. Resultados obtenidos digital mente por LCD.....         | 57 |
| Figura 11.41. Colocación de pines.....                                | 57 |
| Figura 11.42. Graduación de tablillas.....                            | 58 |
| Figura 11.43. Localización de sensores en estructura.....             | 58 |
| Figura 11.44. Soldado de pines en tablilla fenólica.....              | 59 |
| Figura 11.45. Localización de conexiones.....                         | 59 |
| Figura 11.46. Circuito soldado.....                                   | 60 |
| Figura 11.47. Barrenado de acrílico.....                              | 60 |
| Figura 11.48. Respectivas conexiones y montado en acrílico.....       | 61 |
| Figura 11.49. Ángulos hechos de acrílico.....                         | 61 |
| Figura 11.50. Principio de estructura de acrílico del circuito.....   | 62 |
| Figura 11.51. Acrílicos pegados para hacer caja de acrílico.....      | 62 |
| Figura 11.52. Caja de acrílico del circuito.....                      | 63 |
| Figura 11.53. Desbaste de conexión de PVC para manguera.....          | 64 |
| Figura 11.53. Colocación de tornillo, tuerca y rondana.....           | 64 |
| Figura 11.54. Apriete de turca y tornillo para obtén nivelador.....   | 65 |
| Figura 11.55. Barrenando de estructura para tuercas tino.....         | 65 |
| Figura 11.56. Colocación de tuerca tino.....                          | 66 |
| Figura 11.57. Niveladores colocados en la estructura.....             | 66 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 11.58. Barrenado de escalímetro y estructura.....                        | 67 |
| Figura 11.59. Atornillado de escalímetro con la estructura.....                 | 67 |
| Figura 11.60. Estructura con escalímetros.....                                  | 68 |
| Figura 11.61. Ángulos hechos de acrílico para nivel de burbuja.....             | 68 |
| Figura 11.62. Barrenado de estructura para niveles de burbuja.....              | 69 |
| Figura 11.63. Nivel de burbuja atornillado a la estructura.....                 | 69 |
| Figura 11.64. Estructura con los niveles y escalímetros.....                    | 70 |
| Figura 11.65. Grabado de numeración en la estructura para los sensores.....     | 70 |
| Figura 11.66. Pintado de estructura.....  | 71 |
| Figura 11.67. Estructura con todos los componentes colocados y pintada.....     | 71 |
| Figura 11.68 colocación de pines en la tablilla de montaje de pesas.....        | 72 |
| Figura 11.69. Graduación de tablilla de montaje de pesas.....                   | 72 |
| Figura 11.70. Prueba de funcionamiento.....                                     | 73 |
| Figura 11.71. Pegado de cuaja para pesas.....                                   | 73 |
| Figura 11.72. Caja para pesas.....  | 74 |
| Figura 11.73. Prueba al centro con una fuerza de 2N, para caso 3D.....          | 74 |
| Figura 11.74. Resultados emitidos por Solid Works.....                          | 75 |
| Figura 11.75. Resultados desplegados por la LCD con los sensores.....           | 75 |
| Figura 11.76. Prueba con una distancia de 8 cm y 4 cm con una fuerza de 2N..... | 76 |
| Figura 11.77. Resultados emitidos por Solid Works.....                          | 76 |
| Figura 11.78. Resultados desplegados por la LCD con los sensores.....           | 77 |
| Figura 16.1. Monitor serial de Arduino.....                                     | 85 |
| Figura 16.2. Diagrama de conexión.....  | 89 |
| Figura 16.3. Pines de conexión de Display LCD.....                              | 90 |
| Figura 16.4. Resolución de problema con MD Solids.....                          | 92 |
| Figura 16.5. Resolución de problema con MD Solids.....                          | 92 |
| Figura 16.6. Resolución de problema con MD Solids.....                          | 93 |
| Figura 16.7. Resolución de problema con MD Solids.....                          | 93 |
| Figura 16.8. Resolución de problema con MD Solids.....                          | 94 |
| Figura 16.9. Resolución de problema con MD Solids.....                          | 94 |

Figura 16.10. Resolución de problema con MD Solids..... 95

Figura 16.11. Resolución de problema con MD Solids..... 95

Figura 16.12. Resolución de problema con MD Solids..... 96

Figura 16.13. Resolución de problema con MD Solids..... 96

Figura 16.14. Resolución de problema con MD Solids..... 97

## GENERALIDADES DEL PROYECTO

### **5.- Introducción**

¿Te has puesto a pensar si la teoría vista en la materia mecánica de materiales es cierta en la vida real?

En este proyecto se desarrollará un sistema de medición para:

- Reacciones mediante un sensado de diferentes puntos y así mismo tener los resultados de las fuerzas equivalentes vistas en la teoría.
- Pruebas de vigas en sistema 2d, obteniendo sus resultantes y comprobación con la teoría.
- Se abarca el cálculo para los casos de sistemas 3d que son más complejos de entender y por sus cálculos facilitando la comprensión para los alumnos.
- También se introducirán las especificaciones de cada uno de los componentes, así como su ensamble y armado de circuito electrónico mediante un diagrama de conexiones.
- Considerando los respectivos problemas detectados al momento de hacer pruebas, y por último los resultados obtenidos.

**6. Descripción de la empresa u organización y del puesto o área del trabajo del estudiante.**

**Perfil de la empresa:**



Figura 6.1. Logo, Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga.



Figura 6.2. Logo TECNМ.

El Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga es el más joven de los Tecnológicos en el Estado. Se localiza en el municipio de Pabellón de Arteaga, en la parte central de Aguascalientes, a treinta kilómetros de la capital.

Las acciones realizadas por nuestra Institución están orientadas a contribuir con los objetivos establecidos en el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, el Programa Sectorial de Educación 2013-2018 y Plan Sexenal de Gobierno del Estado 2010-2016, y dan muestra del compromiso que nuestra institución asume con el desarrollo de las comunidades de su zona de influencia, del estado y del país.

**Dirección:**

Carretera a la Estación de Rincón KM 1, C.P. 20670  
Pabellón de Arteaga, Ags.

**Teléfono:**

01(465) 958-24-82, 01 (465) 958-27-30

**Sitio web:**

<http://www.itpabellon.edu.mx/2016/>

**Características de la empresa:**

- **MISIÓN**

Brindar un servicio de educación superior de calidad comprometido con la generación, difusión y conservación del conocimiento científico, tecnológico y humanista, a través de programas educativos que permitan un desarrollo sustentable, conservando los principios universales en beneficio de la humanidad.

- **VISIÓN**

Ser una institución de educación superior reconocida a nivel nacional e internacional, líder en la formación integral de profesionistas de calidad y excelencia, que promueve el desarrollo armónico del entorno.

- **Valores**

A fin de guiar y orientar las acciones cotidianas de todo su personal, el Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga define los siguientes valores institucionales:

- 1) COMPROMISO**

Lograr propósitos comunes mediante el trabajo responsable y en equipo, mejorando permanentemente el ser, hacer y tener mediante la participación activa y el liderazgo compartido.

- 2) RESPONSABILIDAD**

Decidir y actuar conforme al análisis previo de las consecuencias inmediatas o mediatas de las acciones.

- 3) RESPETO**

Actitud personal y colectiva hacia la conservación, mejoramiento y protección de las diversas formas de vida, además de la aceptación de la diversidad propia de lo humano.

- 4) COOPERACIÓN**

Facilitar condiciones que allanen el trabajo de los demás, y capacitar a toda la gente para propiciar su desarrollo personal y profesional dentro y fuera de la institución.

**5) HONESTIDAD**

Liderazgo que toma decisiones con base en una información completa, retroalimentando directamente con resultados e impacto mutuo, dando transparencia a cada una de las acciones personales e institucionales.

**6) EQUIDAD**

Crear un ambiente que permita establecer un sistema de reconocimiento al esfuerzo individual y de grupo en la institución.

### **7. Problemas a resolver, priorizándolos.**

| No: | Problema.   | Efecto.  |
|-----|---|--|
| 1   | Clases teóricas.  | Apatía del alumno.   |
| 2   | Ejercicios en 3D Complejidad en la demostración.                          | Rendimiento bajo del alumno.                                   |
| 3   | Equipos importados se limitan a prácticas en 2D.                          | No hay visualización física del problema por parte del alumno. |
| 4   | En promedio se imparten clases tradicionales y se evalúan conocimientos.  | Memorización del alumno a corto plazo.                         |
| 5   | Los instrumentos de evaluación tienen un sesgo de error muy grande.       | Los resultados de aprendizaje en México son muy bajos.         |
| 6   | El sistema de evaluación requiere mucho tiempo por parte del instructor.  | La revisión procedimental es extenuante para el docente.       |
| 7   | Los equipos existentes en el mercado se limitan a un número de conceptos. | Se pueden llevar a cabo muy pocas prácticas.                   |
| 8   | Equipos importados.   | Alto costo.  |
| 9   | Visualización de resultados a simple vista.                               | Toma de datos erróneos o no precisos.                          |
| 10  | Equipos con sistemas de medición mecánicos.                               | Reducción de vida del equipo o su rendimiento.                 |

Tabla 7.1. Problemas a resolver.

## **8. Objetivos (General y Específicos)**

### **8.1. Objetivo General**

Desarrollar un sistema Mecatrónica que ayude a evaluar habilidades que conlleven a mejorar el aprendizaje del alumno.

### **8.2. Objetivos Específicos**

1. Desarrollar un equipo didáctico para presentar digitalmente las reacciones de una estructura establecida con cargas asignadas; este dispositivo deberá costar menos de 5000 pesos.
  
2. El sistema deberá cumplir los siguientes requerimientos:
  1. Emitir los valores digitalmente en sistema Internacional.
  2. La precisión de los resultados deberá de ser del 99%.
  3. El equipo deberá de ser escalable.

## **9. Justificación**

A continuación se presentan los beneficios que justifican este proyecto:

- Fomentar Interés en el alumno.
- Menor costo de adquisición de equipos.
- Mayor Comprensión del tema por parte del alumno.
- Mejora de interface usuario en los equipos.
- Aumento en la precisión de resultados en las prácticas.
- El nivel del aprendizaje aumentará ya que el sistema de evaluación mejorará en su efectividad.
- El docente contará con una herramienta que le permitirá evaluar en forma efectiva.
- Las clases se impartirán por competencias.

## MARCO TEÓRICO

### 10. Marco Teórico (fundamentos teóricos).

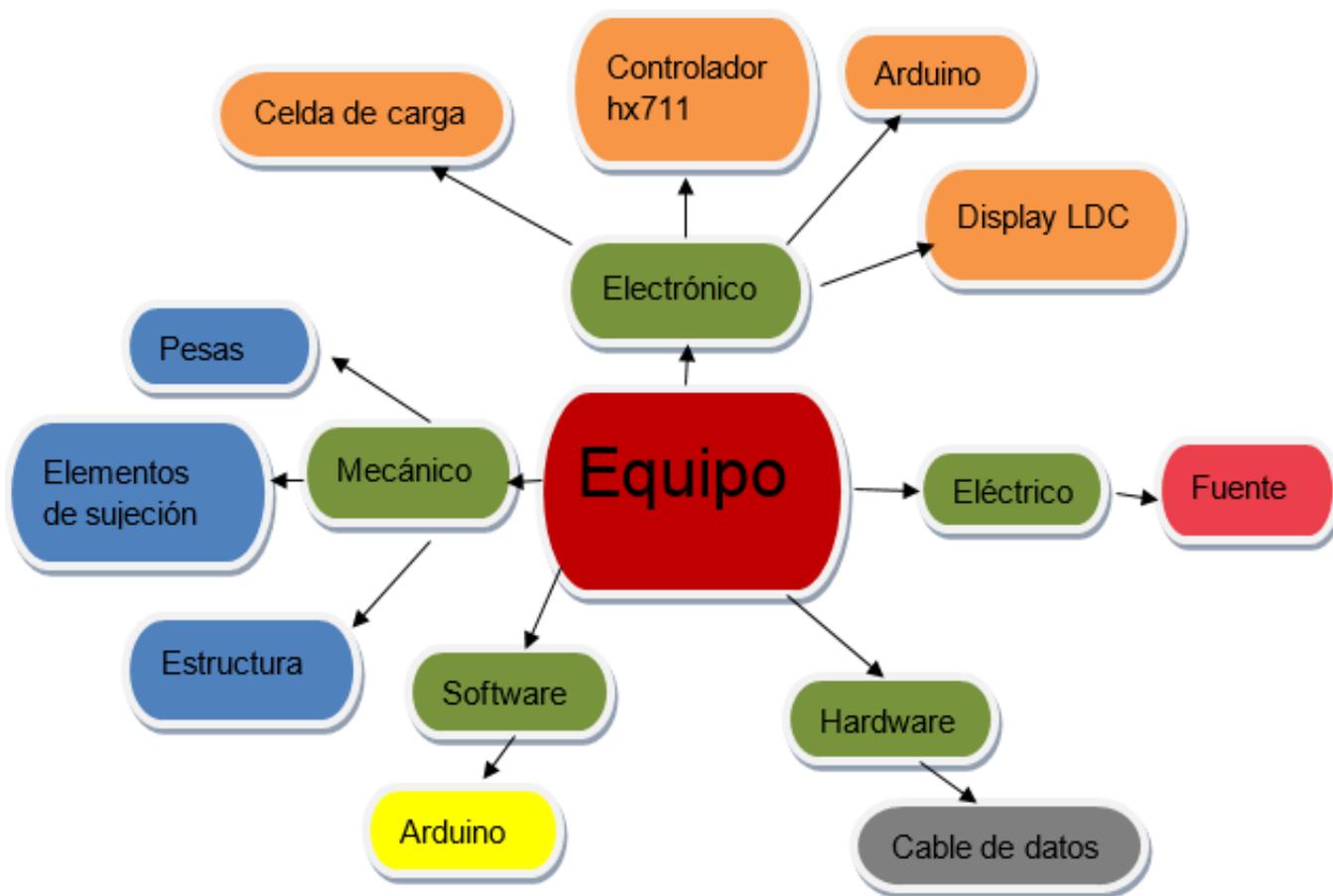
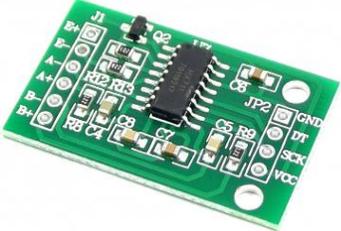
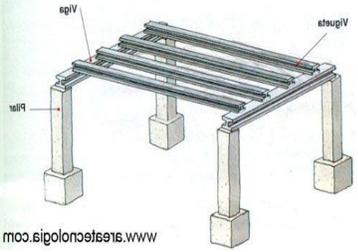
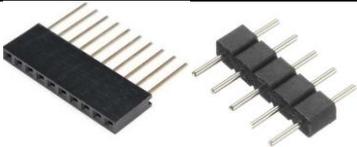
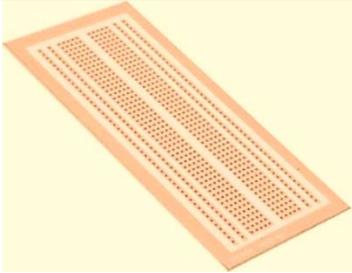


Figura 10.1. Sistemas.

| No: | Nombre.  | Foto.   | Descripción.   |
|-----|--|---|--|
| 1   | <b>Módulo<br/>Convertor<br/>Analógico/Digital<br/>Con HX711.</b> | <br>Figura 10.2. Convertor<br>HX711. | El principio de funcionamiento es convertir los niveles de tensión medidos (variaciones) de la carga, a datos digitales. Este módulo se comunica con PC, Microcontroladores o Arduino a través de la interfaz de comunicación TTL 232. |

| No: | Nombre.                      | Foto.  | Descripción.   |
|-----|------------------------------|--|--|
| 2   | <b>Celda De Carga.</b>       |  <p data-bbox="613 575 927 667">Figura 10.3. Celda de carga.</p>      | <p data-bbox="982 254 1599 506">Una celda de carga es un transductor capaz de convertir una fuerza en una señal eléctrica, esto la hace a través uno o más galgas internas que posee, configuradas en un puente Wheatstone.</p>  |
| 3   | <b>Arduino Mega 2560 R3.</b> |  <p data-bbox="621 856 914 949">Figura 10.4. Arduino mega.</p>        | <p data-bbox="982 688 1599 1108">Arduino Mega es una tarjeta de desarrollo open-source construida con un microcontrolador modelo Atmega2560 que posee pines de entradas y salidas (E/S), analógicas y digitales. Esta tarjeta es programada en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje Processing/Wiring.</p>    |
| 4   | <b>Pantalla LCD.</b>         |  <p data-bbox="586 1304 950 1339">Figura 10.5. Display LCD.</p>     | <p data-bbox="982 1129 1599 1440">Una pantalla de cristal líquido o LCD (sigla del inglés Liquid Crystal Display) es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora.</p>  |
| 5   | <b>Fuente de poder.</b>      |  <p data-bbox="607 1780 927 1873">Figura 10.6. Fuente de poder.</p> | <p data-bbox="982 1457 1599 1822">Fuente de poder es un componente del computador que se encarga de transformar una corriente eléctrica alterna en una corriente eléctrica continua transmitiendo la corriente eléctrica imprescindible y necesaria a los ordenadores para el buen funcionamiento y protección de estos.</p> |

| No: | Nombre.   | Foto.   | Descripción.   |
|-----|---|---|--|
| 6   | <b>Cable de datos.</b>  |  <p data-bbox="613 556 928 640">Figura 10.7. Cable de datos.</p>   | <p data-bbox="982 254 1599 667">Los cables de datos son una parte importante de una computadora, ya que proporcionan una conexión entre varios componentes de hardware. Esto permite a la computadora comunicarse con sus diversas partes propias. Un cable de datos también permite a una computadora comunicarse con otras.</p>  |
| 7   | <b>Pesas.</b>   |  <p data-bbox="630 1003 906 1039">Figura 10.8. Pesas.</p>  | <p data-bbox="982 695 1599 1167">Como pesa se entiende a la pieza de metal de peso que permite determinar el valor o lo que pesa una cosa, ya que permite equilibrar la balanza. En este sentido, y para una mejor comprensión en un plato de la balanza se coloca el material que se quiere pesar, y en el otro las pesas para lograr que ambos brazos queden en el mismo nivel, y así equilibrar la balanza.</p> |
| 8   | <b>Estructura.</b>  |  <p data-bbox="600 1407 755 1438">www.sigolonocefsis.com</p> <p data-bbox="600 1459 933 1495">Figura 10.9. Estructura.</p> | <p data-bbox="982 1188 1599 1503">La estructura (del latín structūra) es la disposición y orden de las partes dentro de un todo. También puede entenderse como un sistema de conceptos coherentes enlazados, cuyo objetivo es precisar la esencia del objeto de estudio.</p>   |
| 9   | <b>Elementos de sujeción</b><br><b>(Tornillo ¼ x 1 ½,</b><br><b>5mm x 1 ½, pijas</b><br><b>de madera de 1</b><br><b>½).</b> |  <p data-bbox="584 1795 950 1831">Figura 10.10. Sujeciones.</p>  | <p data-bbox="982 1524 1599 1713">Los sujetadores constituyen un método para conectar o unir dos piezas. Los sujetadores se utilizan en la ingeniería de casi cualquier producto o estructura.</p>   |

| No: | Nombre.                                 | Foto.  | Descripción.  |
|-----|---|--|---|
| 10  | <b>Pines de conexión hembra/ macho.</b> |  <p data-bbox="581 415 959 506">Figura 10.11. Pines de conexión hembra / macho.</p> | <p data-bbox="982 254 1604 772">En electrónica, se denomina pin, palabra inglesa que significa «clavija, a la terminal o patilla de cada uno de los contactos metálicos de un conector o de un componente fabricado de un material conductor de la electricidad. Estos se utilizan para conectar componentes sin necesidad de soldar nada, de esta manera se logra transferir electricidad e información.</p>   |
| 11  | <b>Tablilla fenólica perforada.</b>     |  <p data-bbox="618 1087 922 1178">Figura 10.12. Tablilla fenólica perforada.</p>   | <p data-bbox="982 804 1604 1822">Placa fenólica perforada de baquelita con cobre. Esta tablilla tipo protoboard es ideal para armar prototipos con soldadura de circuitos integrados y realizar proyectos. Placa fenólica que te permite hacer un circuito impreso para un proyecto electrónico donde se hacen las líneas de conducción similares a los conductores eléctricos. Estas placas son por lo general de cobre, realmente se compone de dos caras, ya que la otra es un aislante para que al fundirla en ácido ferroso, el aislante separe las pistas de cobre. Este material aislante puede ser silicona, fibra de vidrio, y algunos otros. Al diseñar un proyecto o prototipo electrónico, primero se debe probar, armándose en una placa de pruebas o protoboard. Cuando funcione correctamente.</p> <p data-bbox="982 1843 1511 1875">Posteriormente se diseña y fabrica el</p> |

| No: | Nombre.                            | Foto.  | Descripción.   |
|-----|------------------------------------|--|--|
|     |                                    |  | circuito impreso (PCB) y para finalizar, se montan los componentes en esta placa o tarjeta, para finalmente colocarlo en un chasis o gabinete.   |
| 12  | <b>Nivel de burbuja.</b>           |  <p data-bbox="610 720 927 806">Figura 10.13. Nivel de burbuja.</p>                 | Un nivel es un instrumento de medición que se utiliza para determinar la horizontalidad o verticalidad de un elemento. Existen distintos tipos y son utilizados por agrimensores, carpinteros, albañiles, herreros, trabajadores del aluminio, Fotógrafos y otros. Un nivel es un instrumento muy útil para la construcción en general e incluso para colocar un cuadro, ya que la perspectiva genera errores. |
| 13  | <b>Regla graduada.</b>             |  <p data-bbox="626 1346 911 1432">Figura 10.14. Regla graduada.</p>               | La regla, también conocida como regla graduada, es un instrumento de medición con forma de plancha delgada y rectangular que incluye una escala de longitud graduada, por ejemplo, en centímetros o pulgadas; es útil para trazar segmentos con la ayuda de un bolígrafo o lápiz, y puede ser rígida, semirígida o muy flexible.   |
| 14  | <b>Cable de conexión o puente.</b> |  <p data-bbox="597 1682 943 1768">Figura 10.15. Cables de conexión o puentes.</p> | Un cable puente para prototipos (o simplemente puente para prototipos), es un cable con un conector en cada punta (o a veces sin ellos), que se usa normalmente para interconectar entre sí los componentes en una placa de pruebas.<br>P.E.: se utilizan de forma general para transferir señales eléctricas de cualquier   |

| No: | Nombre.                                      | Foto.  | Descripción.  |
|-----|--|--|---|
|     |  |  | parte de la placa de prototipos a los pines de entrada/salida de un microcontrolador.   |
| 15  | <b>Microcontrolador (Parte del Arduino).</b> |  <p data-bbox="646 499 894 590">Figura 10.16.<br/>Microcontrolador.</p> | Un microcontrolador (abreviado $\mu\text{C}$ , UC o MCU) es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida.                                    |
| 16  | <b>Acrílico.</b>                             |  <p data-bbox="613 1304 922 1339">Figura 10.17. Acrílico.</p>          | Acrílico es un concepto que, en el terreno de la química, se emplea como adjetivo para calificar a aquel material obtenido a través de la polimerización de un compuesto químico llamado ácido acrílico. Integrante del conjunto de los ácidos carboxílicos (que disponen de un grupo funcional denominado grupo carboxi o carboxilo, donde coinciden un grupo carbonilo y un grupo hidroxilo en el mismo carbono), el ácido acrílico cuenta con un enlace doble. |

| No: | Nombre.             | Foto.   | Descripción.  |
|-----|---------------------|---|---|
| 17  | Niveladores.        |  <p data-bbox="597 632 938 663">Figura 10.18. Nivelador.</p>           | <p data-bbox="982 254 1602 611">Los niveladores son soportes resistentes para colocar y equilibrar objetos en superficies irregulares. Por lo general son utilizados en máquinas, muebles, exhibidores, herramientas, bastidores, electrodomésticos, aparatos electrónicos, bancos, tripiés, etc.</p> <p data-bbox="982 632 1602 1052">Son fabricados en diferentes materiales como metal, plástico, madera, entre otros. Existen diferentes tipos como niveladores rígidos, niveladores giratorios, niveladores con rótula, niveladores con fijación al piso, niveladores con base antideslizante, niveladores con fieltro, niveladores combinados, entre otros.</p> |
| 18  | Arduino (software). |  <p data-bbox="610 1241 930 1325">Figura 10.19. Logo de Arduino.</p> | <p data-bbox="982 1077 1602 1822">El software de Arduino es un IDE, entorno de desarrollo integrado (siglas en inglés de Integrated Development Environment). Es un programa informático compuesto por un conjunto de herramientas de programación. El IDE de Arduino es un entorno de programación que ha sido empaquetado como un programa de aplicación; es decir, consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI). Además, incorpora las herramientas para cargar el programa ya compilado en la memoria flash del hardware.</p>  |

| No: | Nombre.                       | Foto.  | Descripción.  |
|-----|-------------------------------|--|---|
| 19  | <b>Fritzing (software).</b>   |  <p data-bbox="613 428 922 520">Figura 10.20. Logo Fritzing.</p>      | Fritzing es un programa libre de automatización de diseño electrónico que busca ayudar a diseñadores y artistas para que puedan pasar de prototipos (usando, por ejemplo, placas de pruebas) a productos finales.   |
| 20  | <b>SolidWorks (software).</b> |  <p data-bbox="613 831 922 915">Figura 10.21. logo Solid Works.</p>   | Solid Works es un software CAD (diseño asistido por computadora) para modelado mecánico en 3D de licenciamientos open source.<br>Solid Works es tan sencillo como potente y permite que cualquier empresa pueda hacer sus ideas y hacerse con mercados globales.  |
| 21  | <b>MD Solids (software).</b>  |  <p data-bbox="613 1188 922 1272">Figura 10.22. Logo MD Solids.</p> | MD Solids es software educativo diseñado para asistir a estudiantes de la ingeniería en los mecánicos introductorios del curso de los materiales. MD Solids explica y soluciona una variedad amplia de problemas de la ingeniería encontrados comúnmente en los mecánicos del curso de los materiales.<br>MD Solids es también muy útil al ingeniero practicante que es necesidades una herramienta rápida, fácil de utilizar para los cálculos básicos de la ingeniería. |

Tabla 10.1. Componentes utilizados.

A continuación se presenta la teoría y cálculos de las materias involucradas para poder tener una mejor idea de cómo se realiza y lo que se desea obtener:

## 10.1. DEFLEXIÓN

Se entiende por deflexión aquella deformación que sufre un elemento por el efecto de las flexiones internas.

Para determinar la deflexión se aplican las leyes que relacionan las fuerzas y desplazamientos utilizando dos tipos de métodos de cálculo: los geométricos y los de energía.

- **Métodos geométricos:** aplicación directa de ecuaciones de equilibrio, ecuaciones de compatibilidad y leyes constitutivas del material (elástico-lineal).
- **Métodos de energía:** en estos métodos las ecuaciones de equilibrio o de compatibilidad se reemplazan por un principio de energía y se combinan con las leyes constitutivas del material.

Aunque en vigas y marcos las deformaciones se presentan principalmente por flexión, las deformaciones por esfuerzos axiales en columnas de marcos y las deformaciones por cortante, sobre todo en elementos altos o profundos no dejan de ser importantes.

En cerchas y armaduras las deflexiones se presentan por la combinación de las deformaciones por carga axial en cada uno de los elementos que la componen.

### Trazado tentativo de la curva elástica

Se denomina por curva elástica, la curva que representa la deformada del elemento en su línea centroidal.

En vigas y marcos se puede hacer un trazado tentativo de la curva elástica considerando las curvaturas que se producen por flexión y las restricciones de los apoyos. Antes de trazar un diagrama de momentos se debe definir una convención de momentos positivos o negativos según la concavidad que estos produzcan en el elemento. En elementos horizontales se puede asumir la siguiente convención, que coincide con dibujar los momentos para el lado que producen tracción.

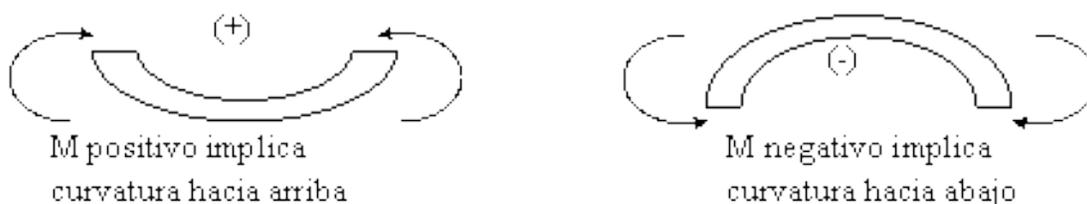


Figura10.23. Tipo de deflexión.

## Vigas

Debido a la continuidad de la viga en los apoyos, la rotación por ambos lados debe ser la misma:

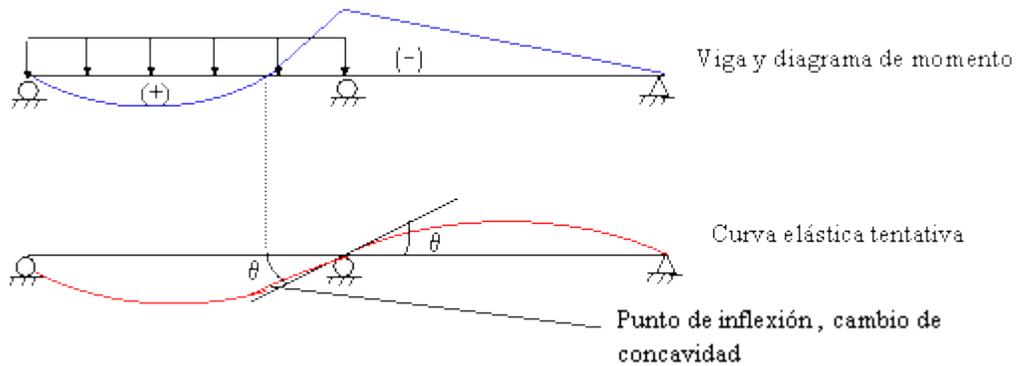


Figura 10.24. Momento y curva elástica de viga.

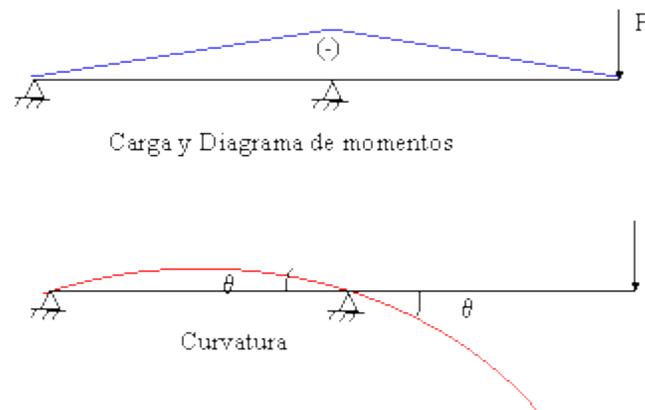


Figura 10.25. Momento y corbatera de viga.

Articulación interna: En este caso las pendientes a la salida de la articulación pueden ser diferentes ya que no hay rigidez en la unión y un elemento puede rotar con respecto al otro.

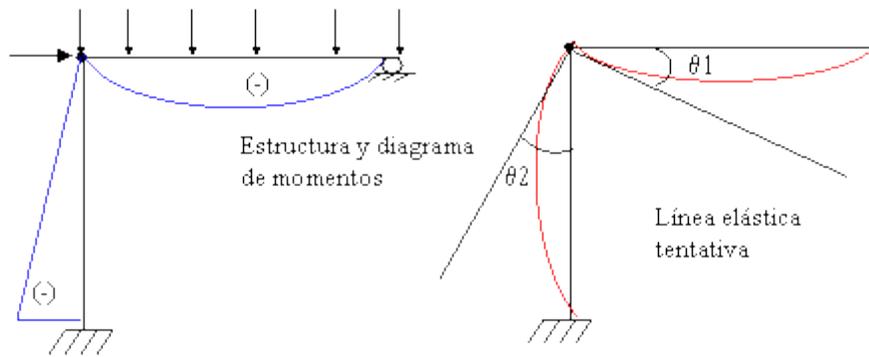


Figura 10.26. Diagrama cuerpo libre de viga.

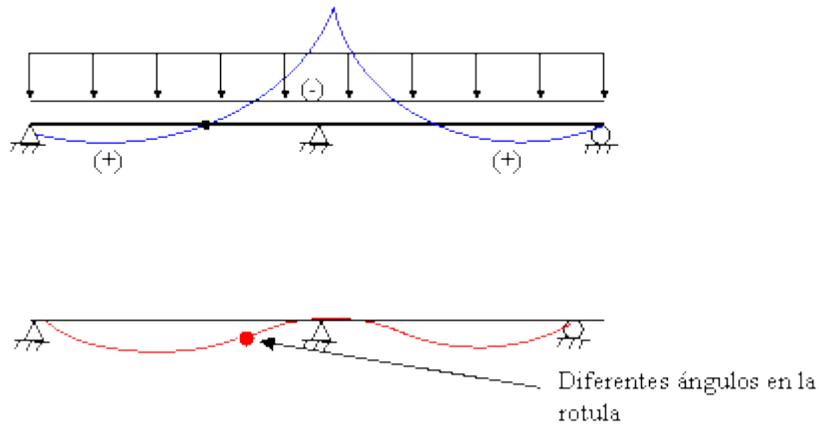


Figura 10.27. Sistemas de fuerzas.

### Teoría de la flexión en vigas

Se fundamenta en los conceptos de equilibrio, compatibilidad y leyes constitutivas.

- Equilibrio:  $\sum F = 0$   $\sum M = 0$
- Compatibilidad:  $\Delta 1 = \Delta 2$  En puntos de contacto.  
 $\theta 1 = \theta 2$  En uniones rígidas.  
 $\theta = 0$  En empotramientos.
- Leyes constitutivas:  $F = K \Delta$  Donde K: rigidez lineal.  
 $M = K \cdot \theta$  K: rigidez a flexión.

## 10.2. ESTÁTICA

La Estática es la parte de la mecánica que estudia los cuerpos en estado de equilibrio sometidos a la acción de fuerzas.

La fuerza es la acción que uno ejerce sobre algo, bien sea al tirar o al empujar. Las más usadas son:

- **Peso:** la Tierra atrae a las cosas y es la causante de que las cosas caigan.
- **Tensión:** fuerza que ejerce una cuerda o hilo para compensar al peso del objeto.

La estática analiza las cargas (fuerza, par / momento) y estudia el equilibrio de fuerzas en los sistemas físicos en equilibrio estático, es decir, en un estado en el que las posiciones relativas de los subsistemas no varían con el tiempo.

La primera ley de Newton implica que la red de la fuerza y el par neto (también conocido como momento de la fuerza) de cada organismo en el sistema es igual a cero. De esta limitación pueden derivarse cantidades como la carga o la presión. La red de fuerzas de igual a cero se conoce como la primera condición de equilibrio, y el par neto igual a cero se conoce como la segunda condición de equilibrio.

**Fuerzas concurrentes, coplanares y/o paralelas:** son aquellas fuerzas que actúan sobre un mismo cuerpo y pasan por un mismo punto. En el caso de que las fuerzas no pasen por el mismo lugar se dicen que son no-concurrentes. Si las fuerzas están contenidas en un mismo plano se denominan fuerzas coplanares y las fuerzas que tienen igual dirección (aunque pueden tener sentido diferente) a un vector unitario se denominan fuerzas paralelas.

**Suma de fuerzas- resultante:** Es el resultado de sumar todas las demás fuerzas. Hay dos maneras de calcular la resultante de un sistema de fuerzas:

- **Gráficamente:** solamente se usa cuando tenemos dos fuerzas cuya fuerza resultante es la formada por la diagonal del paralelogramo.

- **Analíticamente:** se calcula la resultante de manera matemática.

**Fuerzas de acción- reacción:** Cuando suspendemos un cuerpo de un hilo, éste se pone tenso por la acción del cuerpo. Cuando un muelle es comprimido o estirado, existe una acción que provoca ese fenómeno. Un cuerpo colocado sobre una mesa ejerce también una determinada acción.

En todos los casos esas acciones son equilibradas por alguna otra fuerza que suministran el hilo, el muelle o la mesa, respectivamente. Esa fuerza se denomina reacción.

La fuerza reacción es la opuesta a la fuerza acción, de igual intensidad pero de sentido contrario.

#### Formulario resumen:

Ley de Hooke

(F = Fuerza deformadora; k = constante elástica;  $\Delta l$  = deformación producida).

$$F = k \cdot \Delta l$$

Resultante de dos fuerzas recurrentes ( $\alpha$  = ángulo que forman F1 y F2).

$$R = \sqrt{(F_1^2 + F_2^2 + F_1 \cdot F_2 \cdot \cos \alpha)}$$

Momento de una fuerza respecto a un punto ( $M_o$  = Momento; F = Fuerza; r = vector de posición con respecto a dicho punto).

$$\vec{M}_o = \vec{r} \wedge \vec{F}$$

Condiciones de equilibrio de un sólido.

$$\sum \vec{F}_i = 0 \quad ; \quad \sum \vec{M}_i = 0$$

Coordenadas del centro de gravedad de un objeto.

$$\vec{r}_0 = \frac{\sum P_i \cdot \vec{r}_i}{\sum P_i} \quad ; \quad X_0 = \frac{\sum P_i \cdot X_i}{\sum P_i}$$

$$Y_0 = \frac{\sum P_i \cdot Y_i}{\sum P_i} \quad ; \quad Z_0 = \frac{\sum P_i \cdot Z_i}{\sum P_i}$$

### 10.3. EQUILIBRIO DE UN CUERPO RÍGIDO EN DOS DIMENSIONES.

Las fuerzas externas que actúan sobre un cuerpo rígido pueden reducirse a un sistema fuerza-par en un punto arbitrario  $O$ . Cuando la fuerza y el par son iguales a cero, las fuerzas externas forman un sistema equivalente a cero y se dice que el cuerpo rígido se encuentra en equilibrio.

- Las condiciones necesarias y suficientes para el equilibrio de un cuerpo rígido se pueden obtener igualando a cero a  $\sum F = 0$  y a  $\sum M_o = 0$ .
- Cuando el cuerpo está sometido a un sistema de fuerzas, las cuales se encuentran en el plano  $x - y$ , las fuerzas pueden ser resueltas en sus componentes  $x$  y  $y$ . En consecuencia, las condiciones de equilibrio en dos dimensiones son:

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum M_o = 0$$

Aquí  $\sum F_x$  y  $\sum F_y$  representan, respectivamente, las sumas algebraicas de las componentes  $x$  y  $y$  de todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo, y  $\sum M_o$  representa la suma algebraica de los momentos de par y los momentos de todas las componentes de fuerza con respecto a un eje perpendicular al plano  $x$ -  $y$  y que pasa por el punto arbitrario  $O$ , el cual puede encontrarse sobre o fuera del cuerpo.

### Procedimiento de análisis.

Los problemas de equilibrio de fuerzas coplanares para un cuerpo rígido pueden ser resueltos usando el siguiente procedimiento.

- Diagrama de cuerpo libre.
- Establezca los ejes coordenados  $x$ ,  $y$  en cualquier orientación adecuada.
- Trace el contorno del cuerpo.
- Muestre todas las fuerzas y los momentos de par que actúan sobre el cuerpo.
- Rotule todas las cargas y especifique sus direcciones relativas a los ejes  $x$ ,  $y$ . El sentido de una fuerza o momento de par que tenga una magnitud desconocida, pero de línea de acción conocida, puede ser supuesto.
- Indique las dimensiones del cuerpo necesarias para calcular los momentos de las fuerzas.

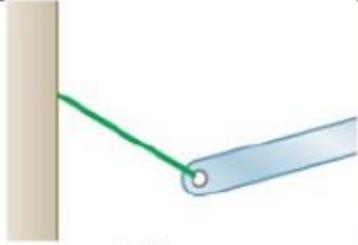
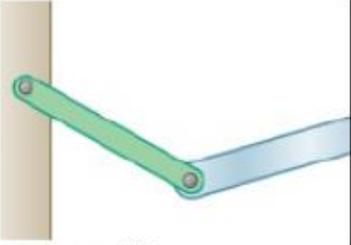
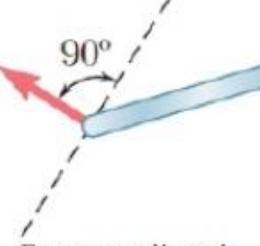
### Ecuaciones de equilibrio.

- Al aplicar las ecuaciones de equilibrio mediante fuerzas,  $\sum F_x = 0$  y  $\sum F_y = 0$ , oriente los ejes  $x$  y  $y$  a lo largo de líneas que proporcionen la resolución más simple de las fuerzas en sus componentes  $x$  y  $y$ .
- Si la solución de las ecuaciones de equilibrio da un escalar negativo para una magnitud de fuerza o de momento de par, esto indica que el sentido es contrario al que fue supuesto en el diagrama de cuerpo libre.

- Aplique la ecuación de equilibrio por momentos,  $\sum M_o = 0$ , con respecto a un punto **O** que se encuentre en la intersección de las líneas de acción de dos fuerzas desconocidas. De este modo, los momentos de esas incógnitas son cero con respecto a **O**, y una solución directa para la tercera incógnita puede ser determinada.

### Reacciones.

El primer paso para la solución de cualquier problema relacionado con el equilibrio de un cuerpo rígido es la construcción de un diagrama de cuerpo libre apropiado. Como parte de este proceso es necesario mostrar en el diagrama las reacciones a través de las cuales el suelo y otros cuerpos se oponen al posible movimiento del cuerpo. En las figuras siguientes se resumen las posibles reacciones ejercidas en cuerpos bidimensionales.

|  |  |   |   |
|--|--|---|---|
|  <p>Cable corto</p>                           |  <p>Eslabón corto</p>                         |  <p>Fuerza con línea de acción conocida</p> | <p>Una incógnita. La reacción es una fuerza que actúa a lo largo del eje de la cuerda o el eslabón.</p> |
|  <p>Collarín sobre una barra sin fricción</p> |  <p>Perno sin fricción en una ranura lisa</p> |  <p>Fuerza con línea de acción conocida</p> | <p>Una incógnita. La reacción es una fuerza que actúa perpendicularmente a la barra.</p>                |

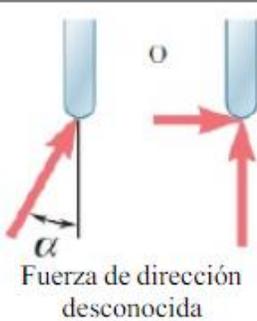
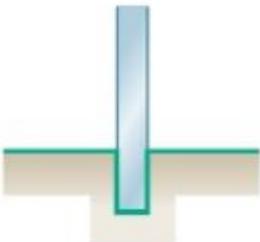
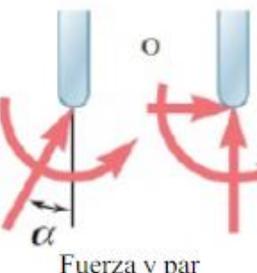
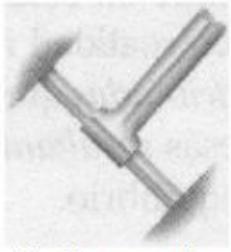
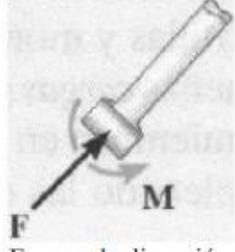
|  |   |  |
|--|---|--|
|  <p>Perno sin fricción, articulación lisa, pasador o bisagra</p> <p>Superficie de contacto rugosa</p> |  <p>Fuerza de dirección desconocida</p>     | <p>Dos incógnitas. Las reacciones son dos componentes de fuerza, o la magnitud y dirección de la fuerza resultante.</p>  |
|  <p>Apoyo (soporte) fijo o empotrado</p>  |  <p>Fuerza y par</p>                        | <p>Tres incógnitas. Las reacciones son el momento de par y las dos componentes de fuerza, o el momento de par y la magnitud y dirección de la fuerza resultante.</p> |
|  <p>Miembro con conexión fija a un collar sobre una barra lisa</p>                                   |  <p>Fuerza de dirección conocida y par</p> | <p>Dos incógnitas. Las reacciones son el momento de par y la fuerza que actúa perpendicularmente a la barra.</p>   |

Figura 10.28. Tipo de uniones y fuerzas.

#### 10.4. EQUILIBRIO DE UN CUERPO RÍGIDO EN TRES DIMENSIONES.

Cuando un elemento se encuentra sometido a varias fuerzas que hacen que el cuerpo este en reposo o en movimiento con velocidad continua, entonces se dice que se encuentra en estado de equilibrio.

Si en un cuerpo sus dimensiones son considerables respecto a sus posibles trayectorias, entonces se dice que se trata de un cuerpo rígido y que si esta en equilibrio se cumple que:

$$\sum F(x) = 0; \quad \sum F(y) = 0; \quad \sum F(z) = 0$$

$$\sum M(x) = 0; \quad \sum M(y) = 0; \quad \sum M(z) = 0$$

Las anteriores ecuaciones se plantean para solucionar problemas en los cuales las fuerzas y elementos pueden ser analizados en el espacio, las anteriores ecuaciones permiten solucionar problemas hasta con seis incógnitas por tanto el primer paso para solucionar un problema es establecer las reacciones en los apoyos.

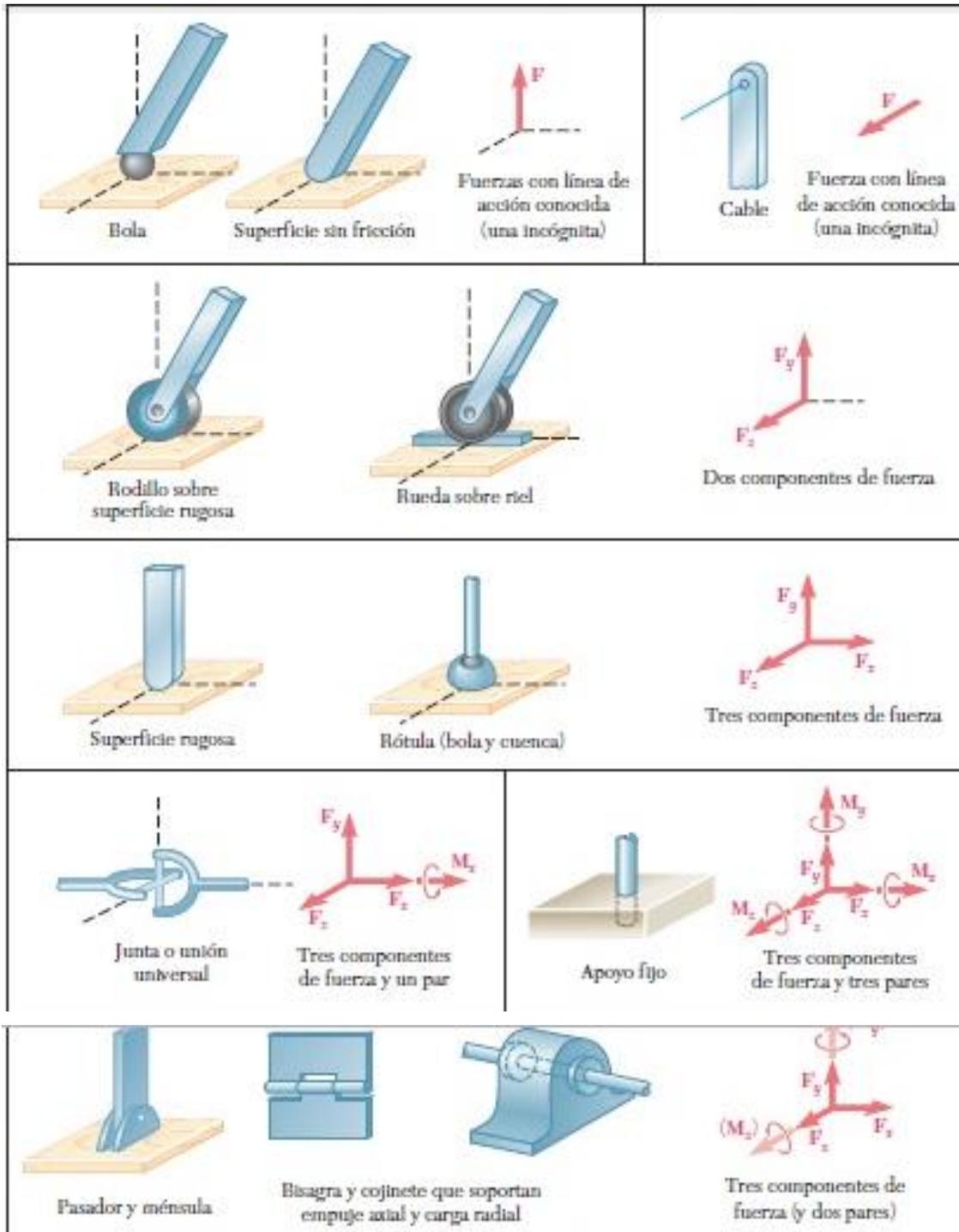


Figura 10.29. Tipo de uniones y fuerzas.

## DESARROLLO

### **11. Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.**

Al iniciar el desarrollo del prototipo de medición se inició una búsqueda de sensores de fuerza y peso, así como tipos de tarjetas programables y el cómo desplegar la información digital.

Después se optó por revisar diferentes tipos de estructuras y funcionamientos didácticos ya existentes análogos, los cuales funcionan con dinamómetros e indicadores de carátula de deformación.

- Estructura de puente con indicadores de carátula de deformación.



Figura 11.1. Estructura de puente con indicadores de deformación.



Figura 11.2. Indicadores de carátula de deformación.

- Estructura de marco con regleta para poner diferentes fuerzas a distancias, a su vez incluyendo dinamómetros para observar las fuerzas de reacción.



Figura 11.3. Marco para dinamómetros con diferentes puntos de fuerzas.



Figura 11.4. Regleta con fuerzas en distintos punto del marco para dinamómetros.

- Estructura con dinamómetros en la cual se pueden representar ejemplos con mayor dificultad en diferentes puntos obteniendo sumatoria de fuerzas.



Figura 11.5. Estructura con dinamómetros para sumatoria de fuerzas.

Se hizo una búsqueda por internet del funcionamiento de los sensores, obteniendo como resultado proyectos similares que en realidad estos consisten en ser basculas y no realizan ninguna otra función, tomando esto en cuenta, se tomó como guía los ejemplos encontrados en el internet, tratando de hacer mejoras y comenzando con esto.

| Elemento seleccionados. | Característica.                                       | Precio. | Otros Elementos.       | Característica.                                       | Precio.  |
|-------------------------|---|---------|------------------------|---|----------|
| Arduino mega.           | Fácil manejo de programación, menor costo, accesible. | \$399.  | PLC.                   | mayor costo y limitaciones de programación            | \$3,019. |
|                         |   |         | Microcontrolador.      | se requieren mayor componentes para su funcionamiento | \$80.    |
| Celda de carga.         | Mayor capacidad de medida.                            | \$135.  | Galga extensiométrica. | Menor capacidad de medida.                            | \$100.   |

Tabla 11.1. Elementos seleccionados.

Para después comprar los materiales a utilizar, una vez tomada la decisión de que tipos de sensores se deberían de utilizar como lo fueron las celdas de carga y galga extensiométrica, y tomando en cuenta lo encontrado en internet.



Figura 11.6. HX711.

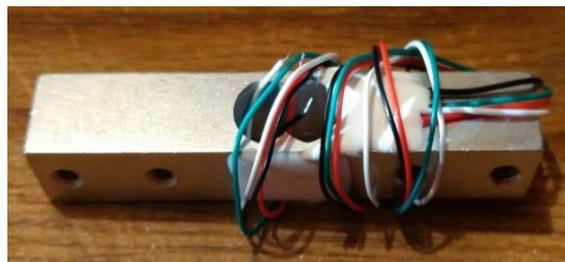


Figura 11.7. Celda de carga.

Después de adquirir los componentes se soldaron las tarjetas de circuitos con los respectivos pines de conexión, así como la LCD y la celda de carga de los materiales a utilizar.



Figura 11.8. Componentes soldados con respectivos pines de conexión.

Para después realizar una estructura tipo báscula para poder montar el primer sensor con tornillos en la madera.



Figura 11.9. Madera para estructura de báscula y taladro para barrenos de tornillos.

Después de realizar la estructura, se montó la circuitería con sus respectivas conexiones con la celda de carga.

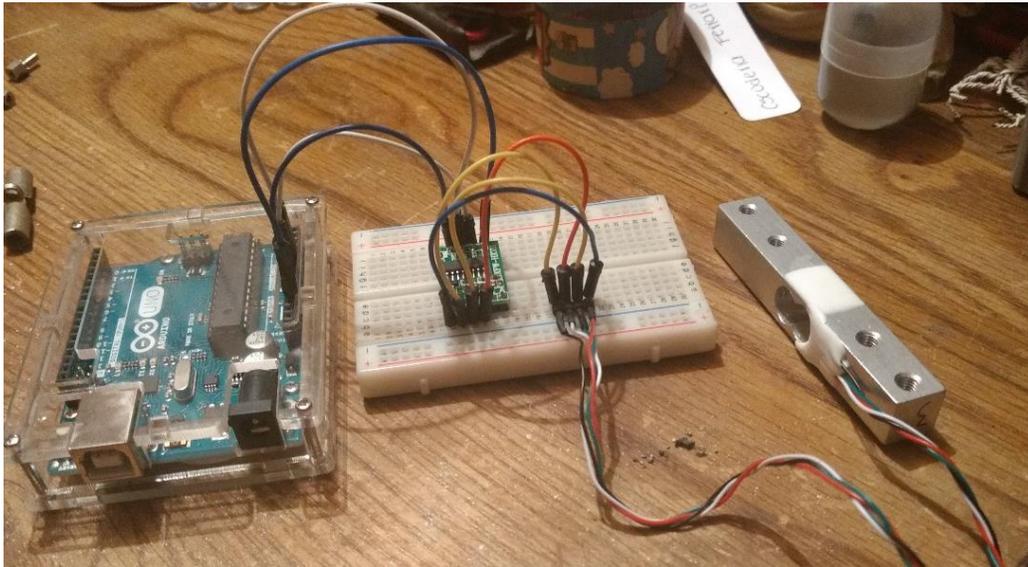


Figura 11.10. Circuito conectado.

Una vez realizado lo anterior se procedió con el montaje de la estructura de la báscula con el circuito y la celda de carga.



Figura 11.11. Montaje de celda de carga, circuito y estructura.



Para después proceder con él despliegue de los datos deseados de manera digital con un Display LCD.

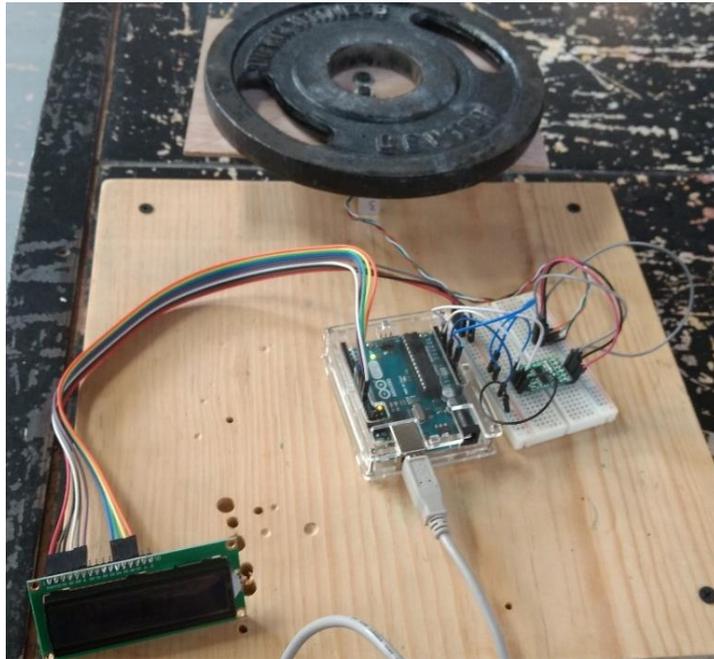


Figura 11.14. Circuito con LCD.

Después de hacer las primeras pruebas con los sensores y verificar sus rangos de medición se optó por utilizar las celdas de carga por su mayor capacidad de medición a comparación de la galga extensiométrica, la cual tenía una menor capacidad, además que su funcionamiento y programación es más compleja.

Se comenzó con el primer prototipo de medición para el caso de las vigas, cortando polines de madera.



Figura11.15. Corte de polín de madera.

Para después realizar barrenos para sus respectivas sujeciones con cada componente de la estructura, las culés fueron sujetas con pijas.

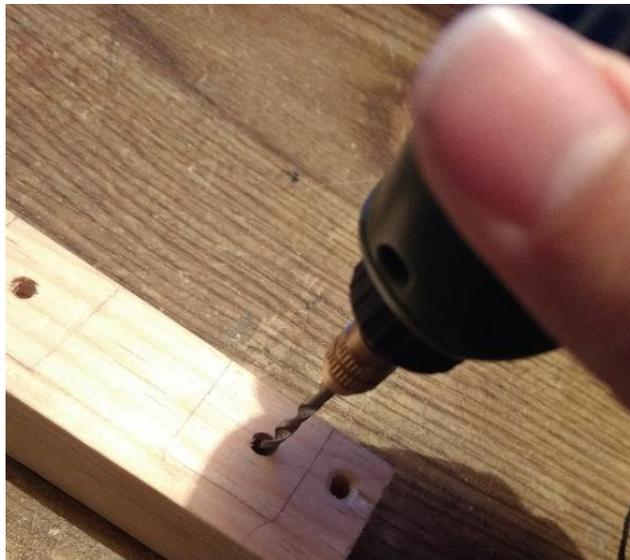


Figura 11.16. Taladrado de barreno.



Figura 11.17. Atornillado de pijas.

Obteniendo la estructura mostrada a continuación:



Figura 11.19. Primer estructura.

Se siguió con la calibración del sensor con pesas graduadas en Newton, para su principal unidad de medida.

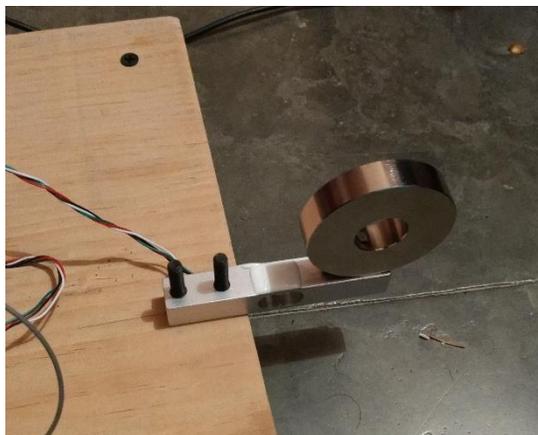


Figura 11.20. Sensado con pesa graduada en Newton.

Una vez obtenida la unidad de medida del sensor, se presentó la primera estructura con un sensor, tomando en cuenta el caso de las vigas, para lo cual se hicieron respectivas sugerencias de como colocar el sensor, obteniendo que se debería modificar el diseño del mismo.

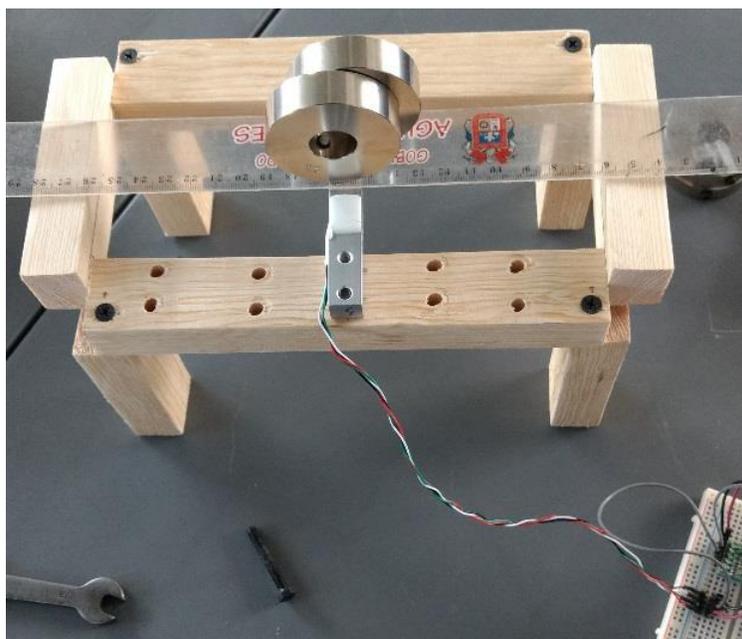


Figura 11.21. Primer prueba de sensado.

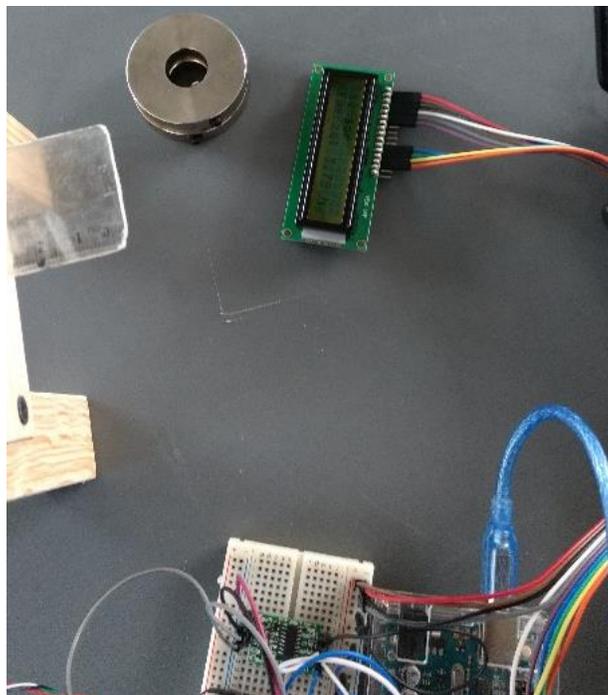


Figura 11.22. Despliegue datos en LCD.

Una vez realizadas las sugerencias para la modificación, se comenzó con las pruebas para dos sensores, así mismo su calibración para ambos sensores.

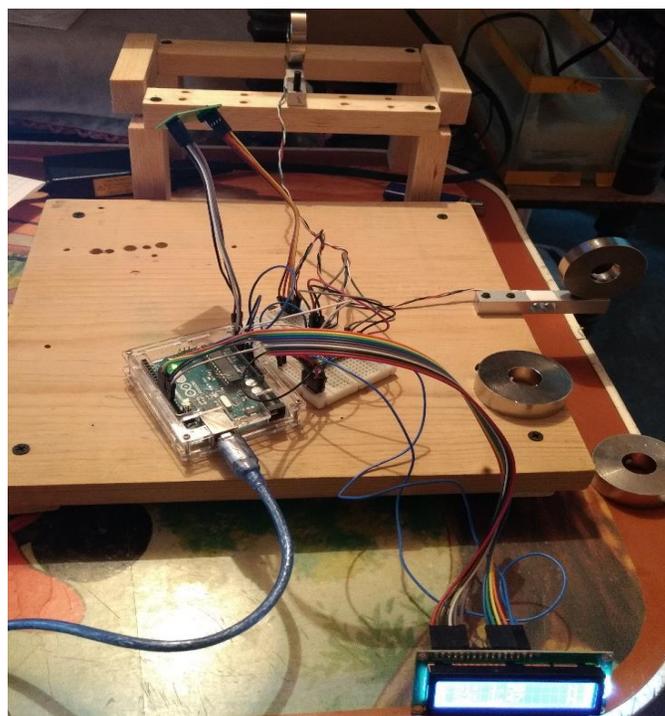


Figura 11.23. Conexión de dos sensores al mismo tiempo.

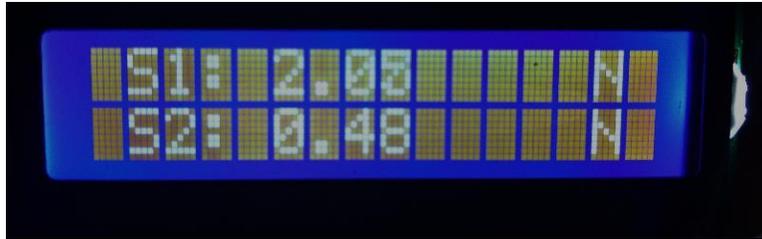


Figura 11.24. Despliegue de datos digitalmente.

Después de verificar distintas formas de medición del caso viga, se optó por la mejor opción que sería a compresión, así se realizaron las primeras pruebas con el prototipo propuesto con sus respectivas modificaciones.

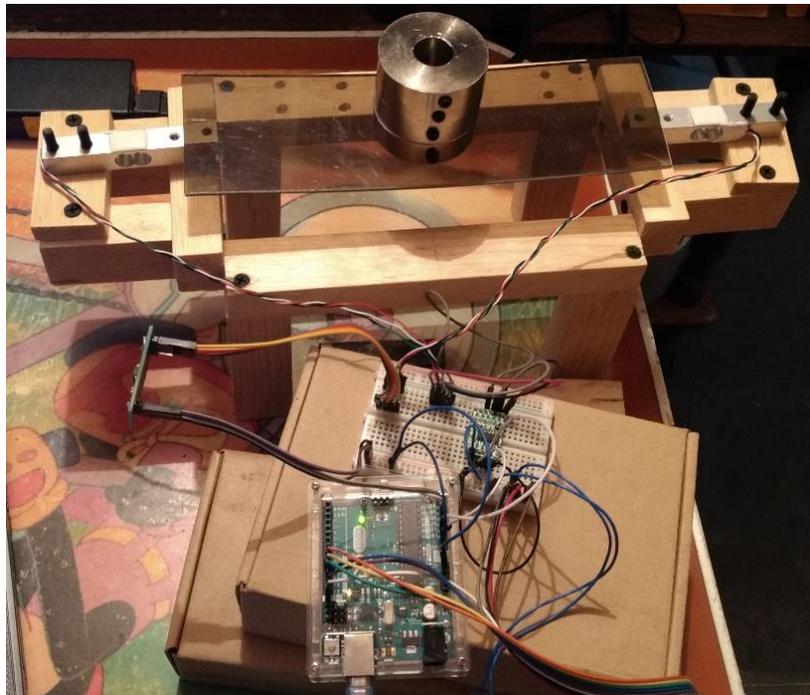


Figura. 11.25. Primer prueba del caso viga.

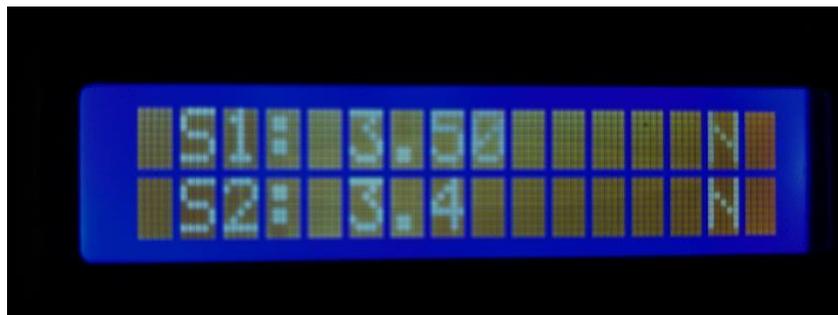


Figura 11.26. Despliegue datos digital mente.

Después de realizar las modificaciones necesarias, se sugirieron diferentes tipos de sujeciones para un segundo prototipo, a compresión y tensión, para un desarrollo futuro.

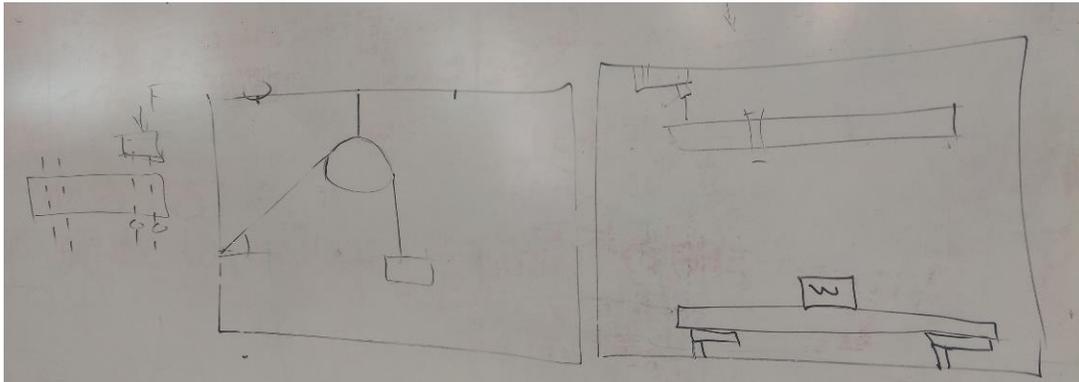


Figura 11.27. Sugerencia para un modelo futuro.

Una vez tomadas las sugerencias de mejora se comenzó un segundo prototipo de medición con el cual se podrían usar dos casos, el caso de viga y el caso tridimensional, utilizando cuatro sensores.

Para después cortar nueva mente polines de madera en cierra cinta, para la nueva estructura que llevaría forma de mesa, con un marco inferior donde se colocarían los cuatro sensores.



Figura 11.28. Corte de polín de madera.

Una vez cortados los polines se hicieron barrenos y sujeciones con pijas a la nueva estructura.

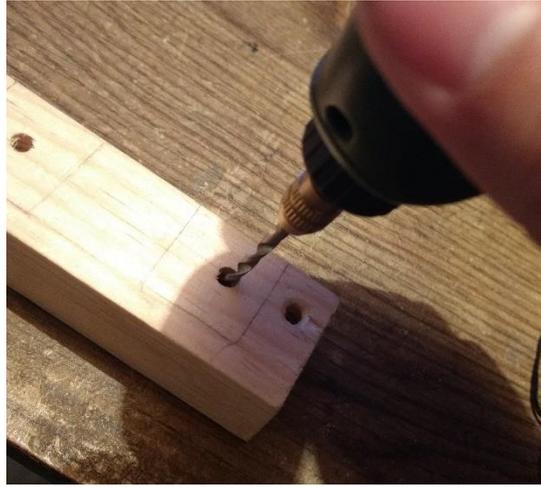


Figura 11.29. Barrenado para pijas.

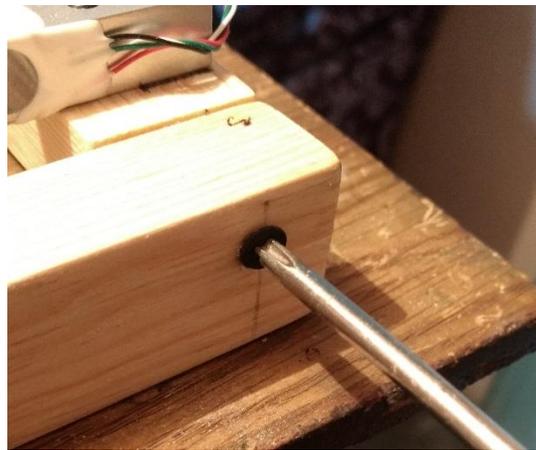


Figura 11.30. Atornillado de pija para sujeción de estructura.

Después de realizar la nueva estructura, se comenzó con la programación de los cuatro sensores al mismo tiempo.

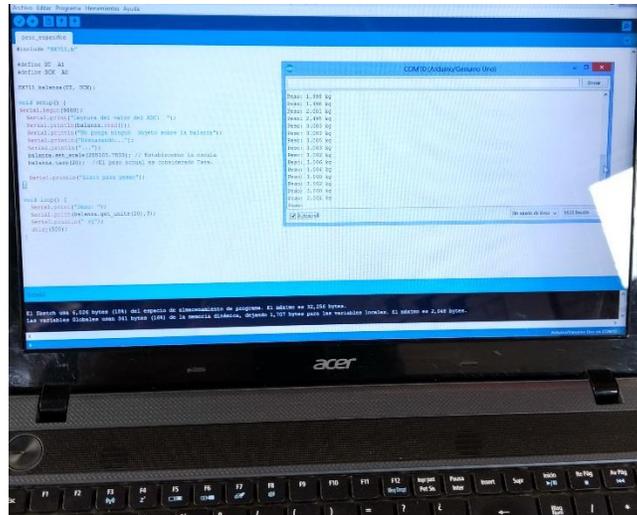


Figura 11.31. Programación de sensores.

Al hacer pruebas con los cuatro sensores al mismo tiempo, se presentó un problema en la LCD (16x2) ya que se saturaba de información evitando poder visualizar buenos resultados, por lo cual se decidió cambiarla por una LCD más grande (20x4).



Figura 11.32. Display LCD (16x2).



Figura 11.33. Display LCD (20x4).

Una vez realizada la nueva adecuación con la LCD se montaron los sensores en la nueva estructura.



Figura 11.34. Sujeción de sensores en estructura.

Después de cambiar la LCD y montar los sensores en la nueva estructura se comenzó con nuevas pruebas con los cuatro sensores.



Figura 11.35. Primera prueba con estructura nueva.

Después de observar que el diseño se miraba algo grande de dimensiones se optó por otro tipo de estructura y montaje.

Una vez tomada la decisión de cómo sería el cambio en el diseño se realizaron nuevas pruebas para el caso vigas con la estructura, para verificar su funcionalidad y demostrando los resultados emitidos por la LCD, utilizando el programa MD Solids para comparar en físico contra lo que nos emitía el programa mencionado.

Se realizó un ejercicio con una fuerza de 2N a una distancia de 5 cm de izquierda a derecha, tomando en cuenta que la viga media 23 cm.

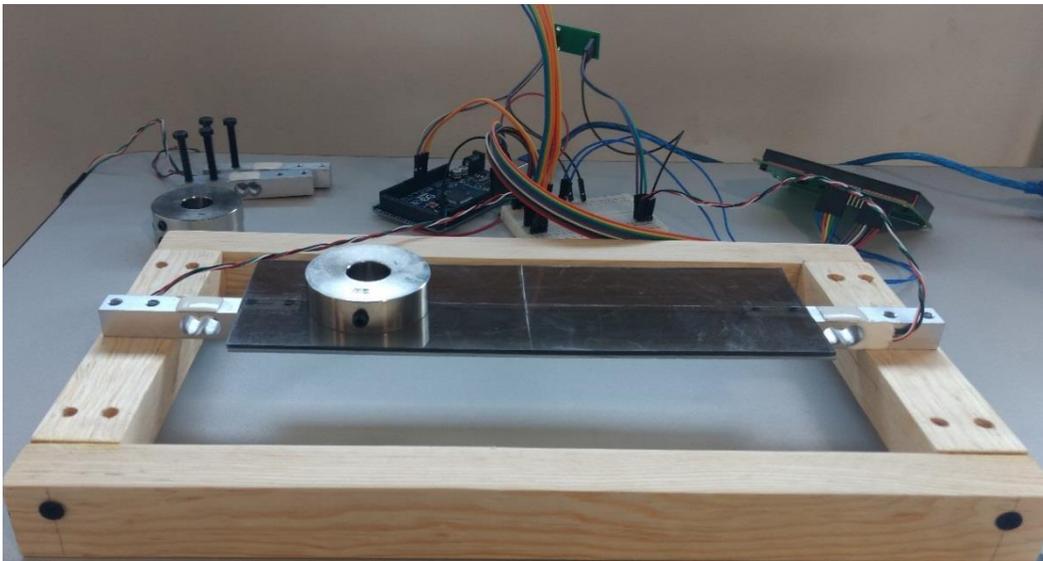


Figura 11.36. Prueba con distancia a 5 cm con una fuerza de 2N.

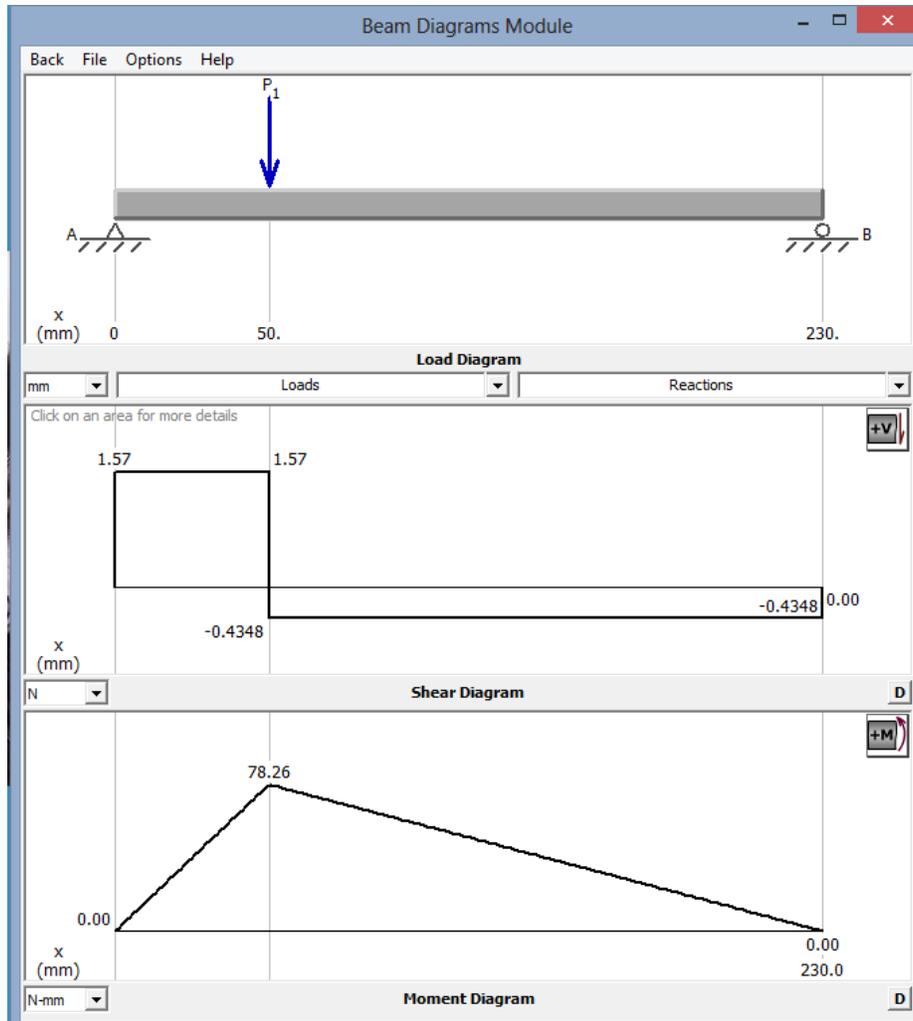


Figura 11.37. Resultados emitidos por MD Solids.

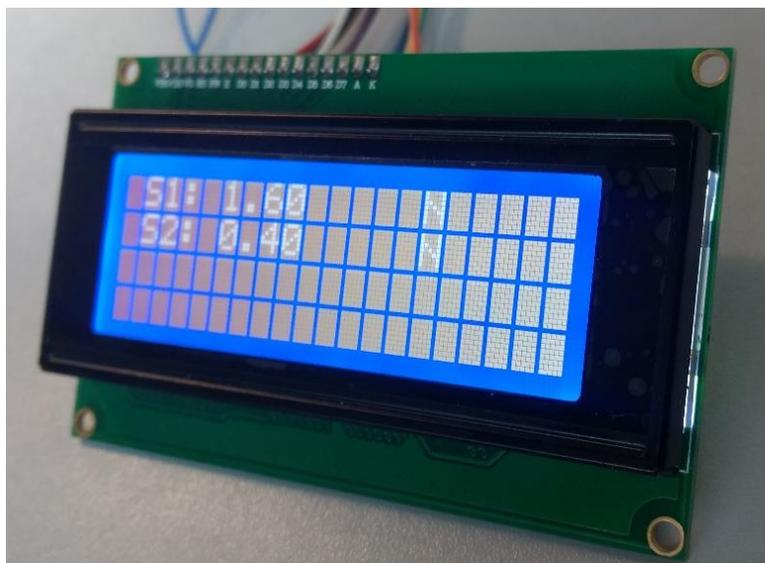


Figura 11.38. Resultados desplegados por la LCD con los sensores.

| Numero de Punto o sensor. | Resultados emitidos por Solid Works. | Resultados emitidos por LCD. |
|---------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| 1                         | 1.57N.                               | 1.60N.                       |
| 2                         | 0.43N.                               | 0.40N.                       |

Tabla 11.2. Comparación de resultados.

Después de realizar el nuevo cambio en la estructura obteniendo como resultado un menor tamaño en el diseño de la misma, se realizó una nueva prueba con los cuatro sensores.

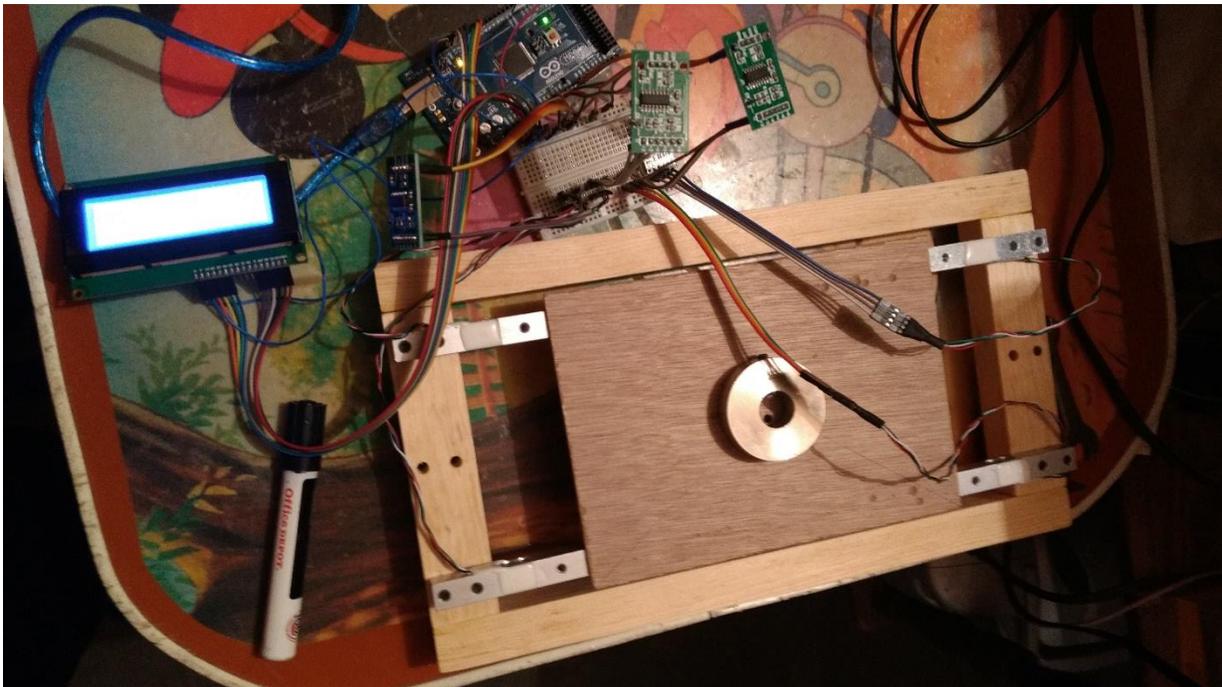


Figura 11.39. Prueba usando cuatro sensores aplicando 2N de fuerza.

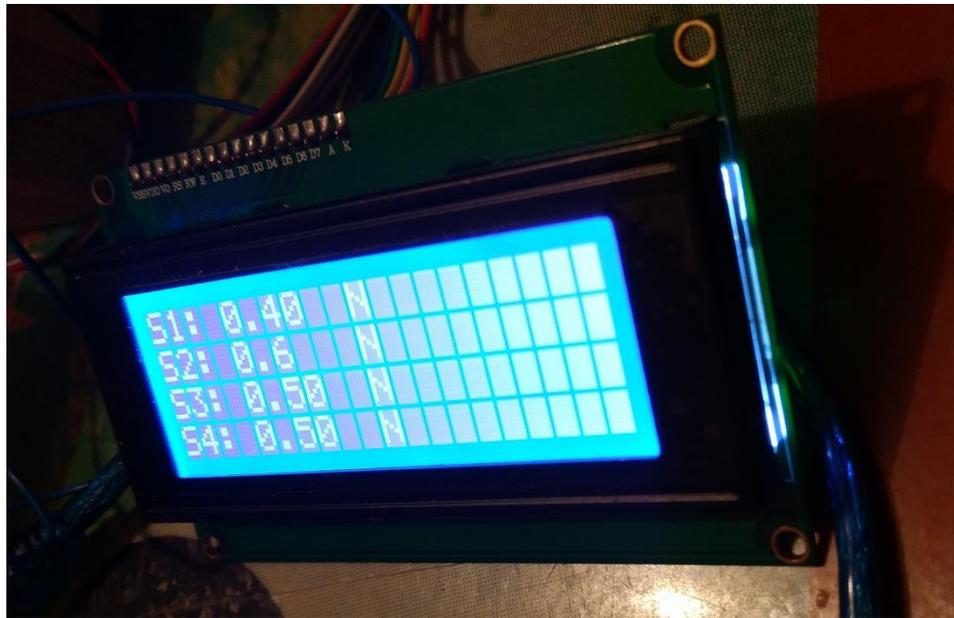


Figura 11.40. Resultados obtenidos digital mente por LCD.

Después de esto se decidió colocar uno pines a las tablillas de montaje de pesas, para una mejor sujeción y punto de apoyo para la medición.



Figura 11.41. Colocación de pines.

También se optó por graduar las tablillas para mejor el montaje de las pesas.



Figura 11.42. Graduación de tablillas.

Después de esto se hizo un localizado de cada sensor en la estructura poniendo numeración a su sensor con su respectivo resultado en la LCD.

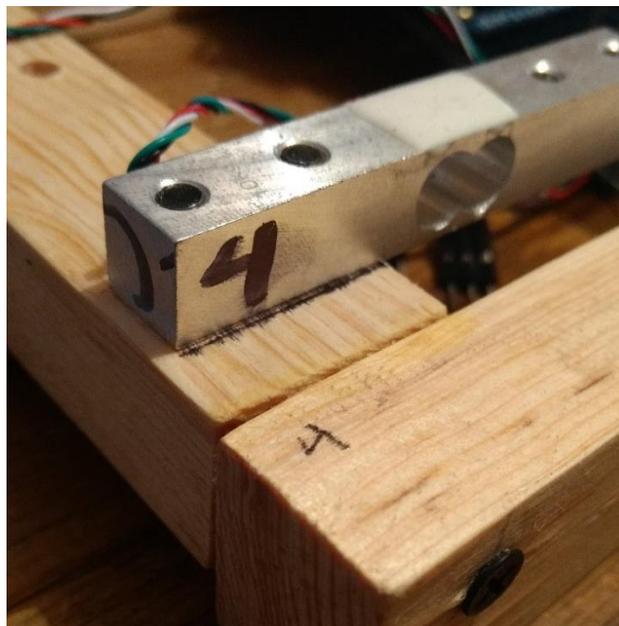


Figura 11.43. Localización de sensores en estructura.

Para poder proceder se consiguió una tablilla fenólica perforada, para soldar los componentes electrónicos teniendo una mejor estética.

Para después soldar los pines hembra a la tablilla fenólica, así como resistencias y localización de corrientes y conexiones.



Figura 11.44. Soldado de pines en tablilla fenólica.

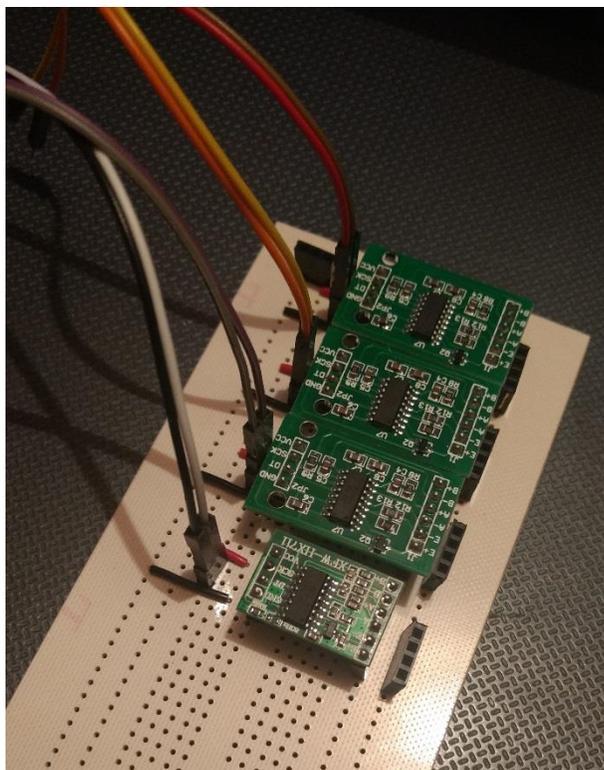


Figura 11.45. Localización de conexiones.

Una vez soldado el circuito en la tablilla, se cortó un cuadro de acrílico para poder montar el circuito y el Arduino en una sola área.

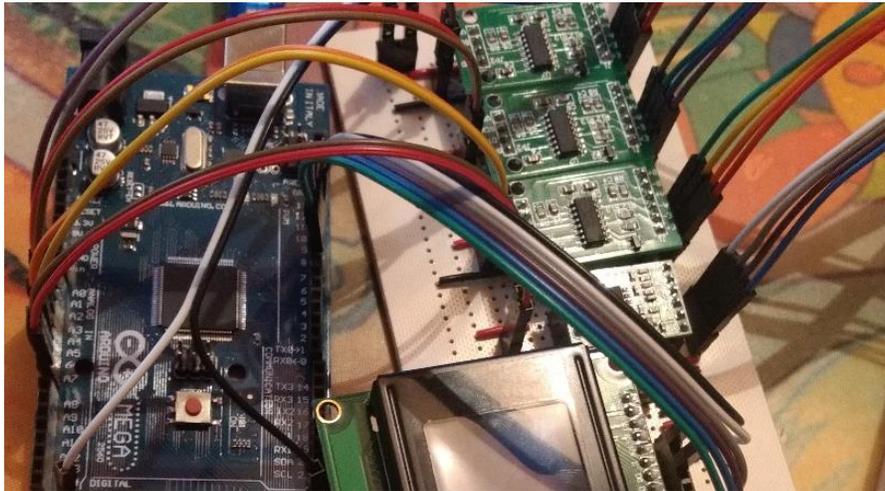


Figura 11.46. Circuito soldado.

Una vez cortado el acrílico se barrenó junto con la tablilla perforada, para poder atornillarlos evitando algún cortó circuito.

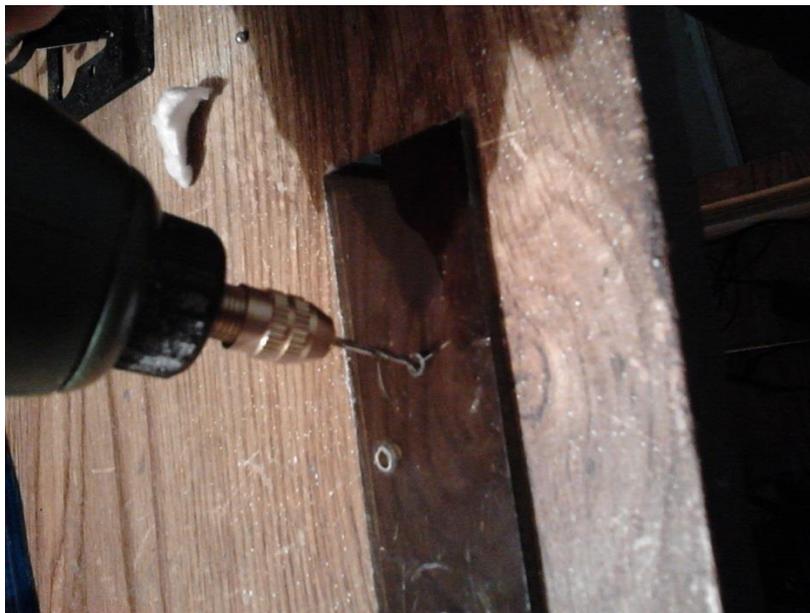


Figura 11.47. Barrenado de acrílico.

Después se atornilló la tablilla fenólica al acrílico y el Arduino.

Se realizaron las respectivas conexiones evitando que se colocaran inequívocas.

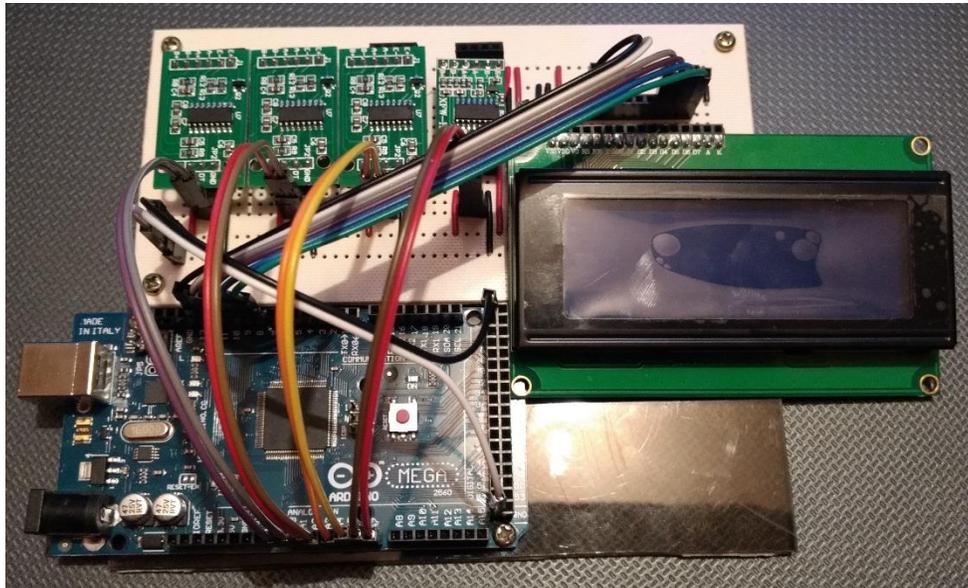


Figura 11.48. Respective conexiones y montado en acrílico.

Se cortaron pequeños rectángulos de acrílico y se doblaron con calor para generar ángulos y se barrenaron.

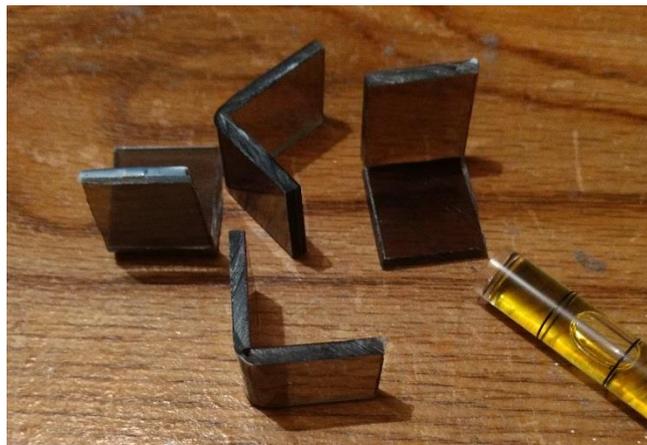


Figura 11.49. Ángulos hechos de acrílico.

Después se procedió con cortar piezas de acrílico para hacer una cajita para el circuito y se pegaron los cuadros para hacer la estructura tipo caja.



Figura 11.50. Principio de estructura de acrílico del circuito.



Figura 11.51. Acrílicos pegados para hacer caja de acrílico.

Una vez pegados los acrílicos se atornilló la LCD a la estructura, sellando el circuito en la caja realizada para evitar alguna modificación de conexión.



Figura 11.52. Caja de acrílico del circuito.

Una vez realizado la caja del circuito se buscaron niveladores para poder colocarlos en la estructura y poder nivelar en cualquier área, ya que no se encontró en ningún punto de venta se procedió a realizarlos.

Para poder realizar los niveladores se compraron tornillos, tuercas, rondanas y conexión para manguera a tubo de PVC.

Una vez que se compró el material se procedió a realizar los niveladores desbastando una parte de las conexiones de PVC y cortando el excedente del mismo.



Figura 11.53. Desbaste de conexión de PVC para manguera.

Una vez retirado el exceso de material en la conexión se colocaron los tornillos, tuercas y rondanas correspondientes.



Figura 11.53. Colocación de tornillo, tuerca y rondana.

Después de colocar los componentes de forma adecuada se realizó el apriete de los componentes correspondientes para así obtener los niveladores.



Figura 11.54. Apriete de turca y tornillo para obtén nivelador.

Una vez realizados los niveladores se barrenó la estructura para poder colocar las tuercas tino para madera, para los niveladores.

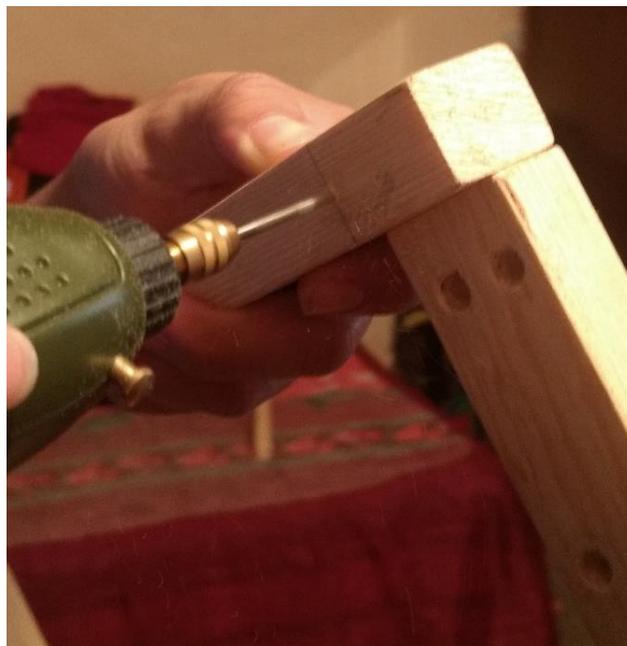


Figura 11.55. Barrenando de estructura para tuercas tino.

Después de realizar el barrenado en la estructura, se colocaron las tuercas tino para poder colocar los correspondientes niveladores.



Figura 11.56. Colocación de tuerca tino.

Una vez colocadas las tuercas tino se colocaron los niveladores.



Figura 11.57. Niveladores colocados en la estructura.

Una vez colocados los niveladores se procedió a barrenar los escalímetros y la estructura, para poder colocarlos en esta misma.



Figura 11.58. Barrenado de escalímetro y estructura.

Después del paso anterior se realizó el atornillado del escalímetro con la estructura para mejor fijación.

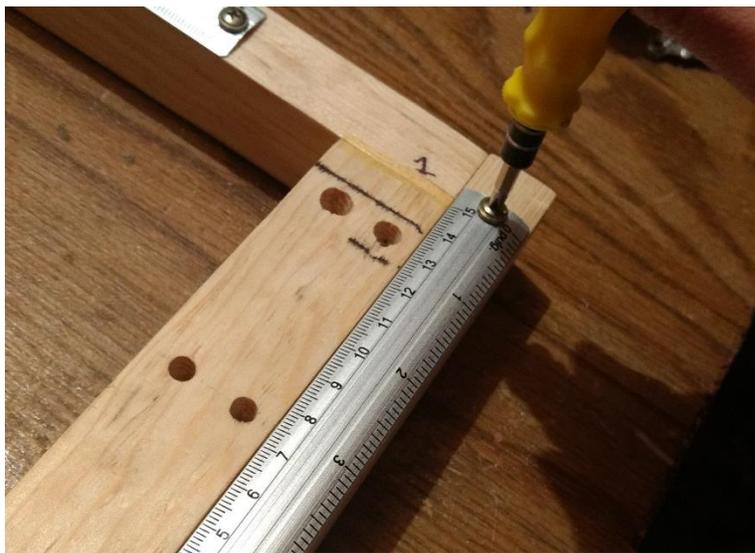


Figura 11.59. Atornillado de escalímetro con la estructura.



Figura 11.60. Estructura con escalímetros.

Una vez colocados los escalímetros en la estructura se procedió cortar cuadritos de acrílico y doblarlos con calor para obtener ángulos que nos servirían para los niveles de burbuja.

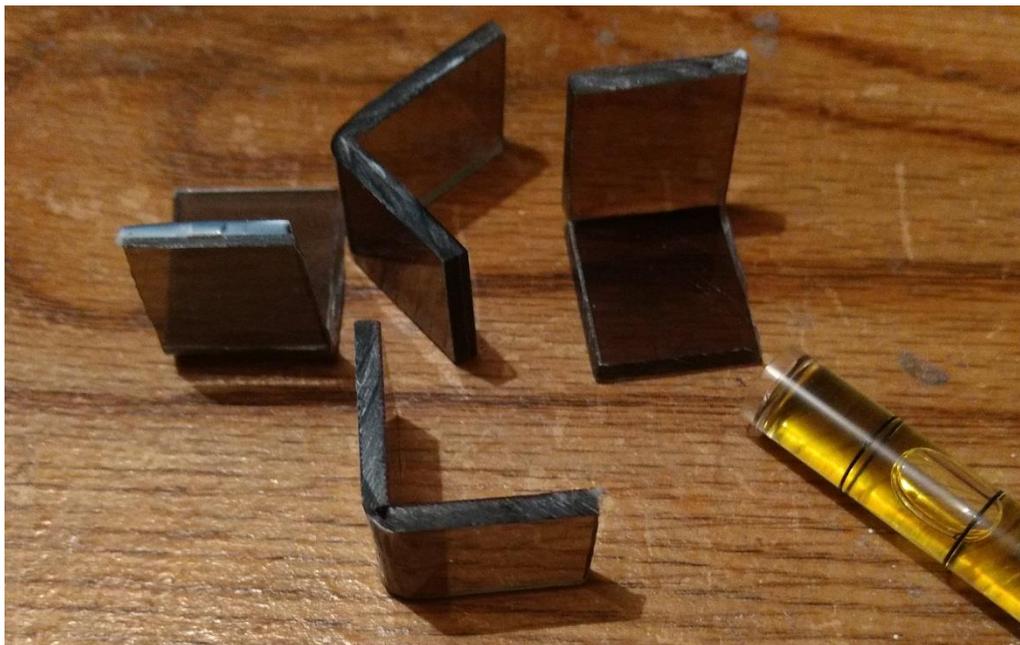


Figura 11.61. Ángulos hechos de acrílico para nivel de burbuja.

Después de obtener los ángulos, se barrenó la estructura y los acrílicos para poder atornillarlos junto con los niveles de burbuja.



Figura 11.62. Barrenado de estructura para niveles de burbuja.

Una vez realizados los barrenos en ambos objetos se procedió a cortar una parte de los ángulos para poder colocar los niveles de burbuja, y se atornillaron a la estructura.



Figura 11.63. Nivel de burbuja atornillado a la estructura.



Figura 11.64. Estructura con los niveles y escalímetros.

Después de realizar la colocación de los niveles y los escalímetros se grabó la numeración de los sensores en la estructura.

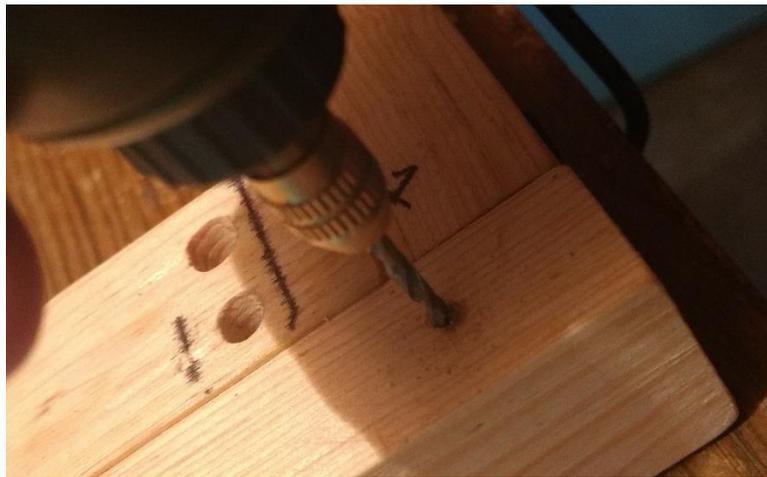


Figura 11.65. Grabado de numeración en la estructura para los sensores.

Una vez que se realizó lo anterior en la estructura se quitaron los componentes para poder pintarla, para tener una mejor presentación.



Figura 11.66. Pintado de estructura.



Figura 11.67. Estructura con todos los componentes colocados y pintada.

Después de esto se cortó un nuevo pedazo de acrílico para tener una tablilla de montaje de pesas para el caso tridimensional, colocando pines para su fácil montaje.



Figura 11.68. Colocación de pines en la tablilla de montaje de peso.

Una vez colocados los pines se realizó la graduación de la misma tablilla.



Figura 11.69. Graduación de tablilla de montaje de pesas.

Una vez obtenido todo lo anterior se realizó una prueba de funcionamiento.

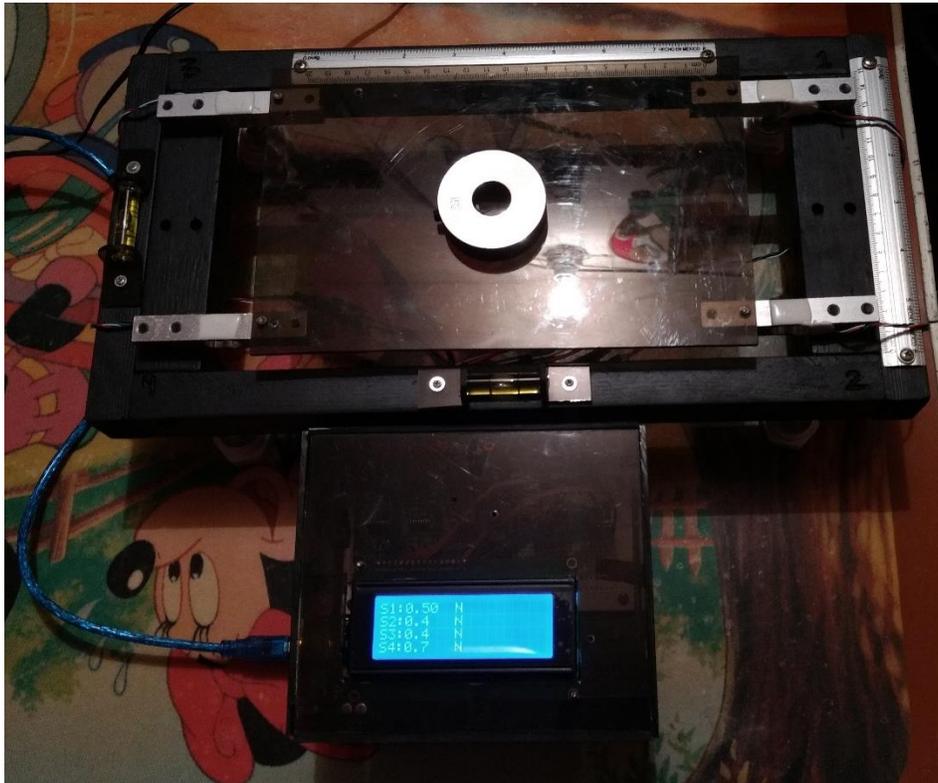


Figura 11.70. Prueba de funcionamiento.

Después se procedió a cortar y pegar cuadritos de acrílico, colocando un pin de localización al centro, para realizar una caja donde se podrán colocar las pesas logrando un mejor punto de montaje en las tablillas graduadas.



Figura 11.71. Pegado de caja para pesas.



Figura 11.72. Caja para pesas.

Después de realizar la prueba de funcionamiento, se aplicó uno ejercicio en el programa Solid Works para el caso 3d, el cual consiste en colocar una fuerza de 2N en el centro para compararlo con los resultados emitidos por el prototipo.

Los resultados fueron:



Figura 11.73. Prueba al centro con una fuerza de 2N, para caso 3D.

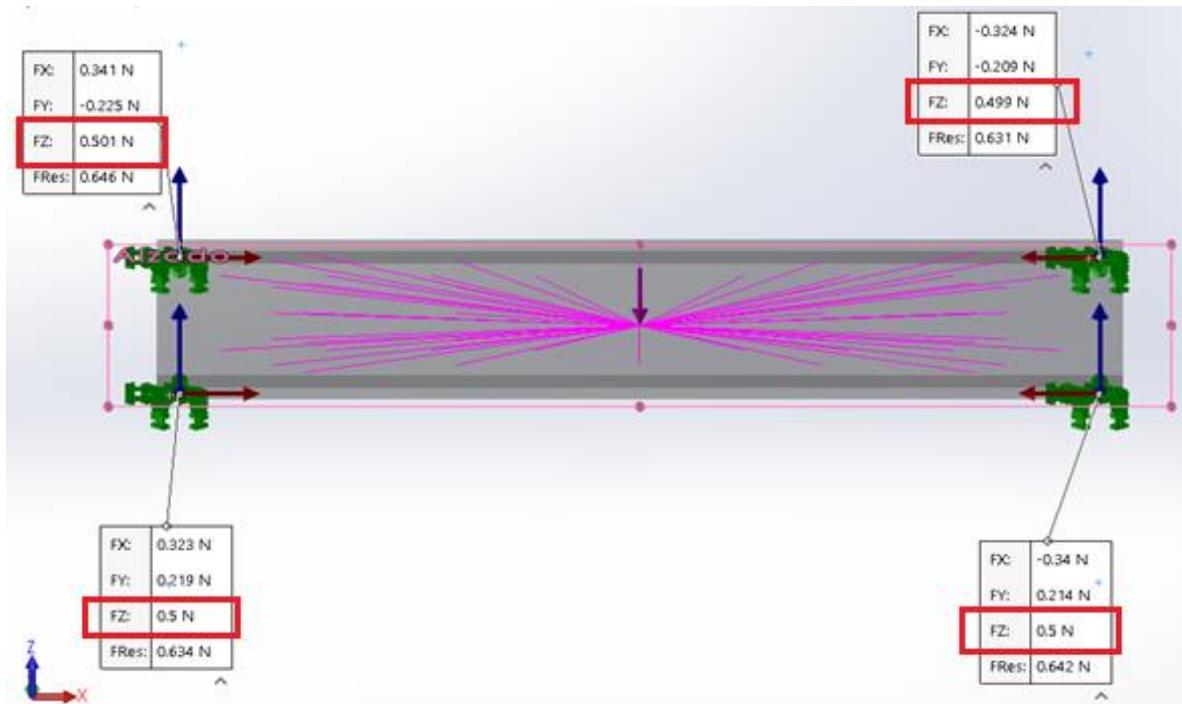


Figura 11.74. Resultados emitidos por Solid Works.



Figura 11.75. Resultados desplegados por la LCD con los sensores.

| Numero de Punto o sensor. | Resultados emitidos por Solid Works. | Resultados emitidos por LCD. |
|---------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| 1                         | 0.51N.                               | 0.6N.                        |
| 2                         | 0.49N.                               | 0.4N.                        |
| 3                         | 0.50N.                               | 0.5N.                        |
| 4                         | 0.50N.                               | 0.51N.                       |

Tabla 11.3. Comparación de resultados al centro.

Cabe destacar que se desarrolló otro ejercicio a resolver por el programa Solid Works con una distancia de 8 cm de izquierda a derecha y una altura de 4cm, con una fuerza de 2N, los resultados fueron los siguientes:



Figura 11.76. Prueba con una distancia de 8 cm y 4 cm con una fuerza de 2N.

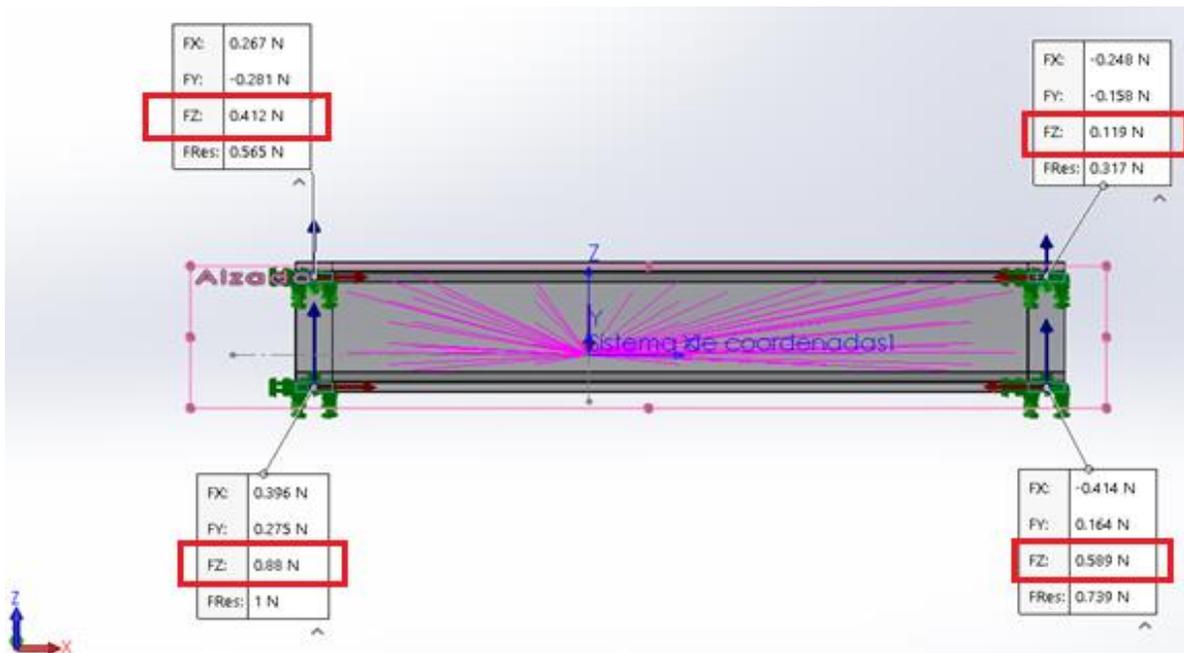


Figura 11.77. Resultados emitidos por Solid Works.



Figura 11.78. Resultados desplegados por la LCD con los sensores.

| Numero de Punto o sensor. | Resultados emitidos por Solid Works. | Resultados emitidos por LCD. |
|---------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| 1                         | 0.58N.                               | 0.60N.                       |
| 2                         | 0.11N.                               | 0.10N.                       |
| 3                         | 0.88N.                               | 0.80N.                       |
| 4                         | 0.41N.                               | 0.40N.                       |

Tabla 11.4. Comparación de resultados.

### Cronograma de actividades

| Actividades mensuales   | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|---|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| Investigación de sensores de peso y fuerza, características de capacidad de carga.  |        |            |         |           |           |
| Realización de primeras pruebas con sensores elegidos, calibración del mismo.   |        |            |         |           |           |
| Realización de prototipo de medición con el primer caso, estructura, modificaciones de errores.   |        |            |         |           |           |
| Realización de último prototipo de medición escalable, incluyendo ambos casos, con graduación para localización de fuerzas.                     |        |            |         |           |           |
| Se realizaron últimos detalles a la estructura para una mejor visualización y presentación, colocación de esacalímetros, niveles y niveladores. |        |            |         |           |           |
| Realización de documento final y corrección del mismo.  |        |            |         |           |           |

## RESULTADOS

### 12. Resultados

Al haber concluido con todo lo que se planeó está terminado el proyecto, el prototipo se dejó trabajando realizando su proceso.

Se obtuvieron resultados favorables ya que se pudo resolver cada uno de los problemas planteados ya que el prototipo funciono correctamente.

- Hubo algunos detalles que surgieron conforme se avanzaba en el desarrollo del proyecto pero se pudieron abordar con buenos resultados.
- Se realizaron las adecuaciones para mejorar esos errores y obtener un desempeño pleno.
- Se puso a funcionar adecuadamente.

| Objetivo Propuesto.  | Resultado Esperado.  |
|--|--|
| Desarrollar un equipo didáctico para demostrar digitalmente las reacciones de una estructura establecida con cargas variables. | Equipo didáctico para demostrar digitalmente las reacciones de una estructura establecida con carga variables. |
| Emitir los valores digitalmente en sistema Internacional.  | Despliegue de valores en sistema internacional digitalmente.   |
| Precisión de los resultados en 2d deberá de ser del 99%.   | Precisión de resultados del 99%.   |
| Precisión de los resultados en 3d deberá de ser del 95%.   | Precisión de resultados del 95%.   |
| Mercado vs propio.   | \$30,000 vs \$5,000.   |
| El equipo deberá de ser escalable.   | Equipo escalable.  |

|                            |                  |
|----------------------------|------------------|
| El Equipo de ser portátil. | Equipo portátil. |
|----------------------------|------------------|

Tabla 12.1. Objetivos propuestos y resultados esperados.

## CONCLUSIONES

### **13. Conclusiones del Proyecto**

Al término de mi estadía tuve la oportunidad de desarrollar mis habilidades obtenidas en la carrera de Mecatrónica perteneciendo al Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga la cual fue de gran apoyo ya que al ponerlas en práctica puedo darme cuenta de la gran complejidad de desarrollar un diseño y sobre todo de lo que implica solucionar los problemas que se me presenten.

Cabe destacar que en el transcurso del proyecto note que no todo lo que se encuentra en internet es verdadero, así como buscar varias fuentes de información para obtener mayor conocimiento del tema, tomando mayor veracidad en el mismo.

Al término del proyecto se puede destacar que se realizó un buen trabajo aun que se presentaron unos problemas los cuales son muy importantes para poder realizar el desarrollo del mismo, los cuales son como evitar la saturación de datos desplegados en una LCD, teniendo en cuenta que es necesario utilizar una LCD de mayor tamaño para evitar este problema, así mismo por qué se debe tener una nivelación en la estructura, ya que si no se es nivelado se exponen a la pérdida de datos, a su vez también es necesario tener materiales flexibles para obtener mayor contacto con los sensores y evitar desde luego resultados erróneos.

## COMPETENCIAS DESARROLLADAS

### **14. Competencias desarrolladas y/o aplicadas.**

1. Apliqué habilidades de conocimiento técnico para el desarrollo del proceso, Así como de ingeniería en el diseño.
2. Utilicé métodos de investigación para desarrollar programación, sistema electrónico, funcionamiento de componentes utilizados.
3. Apliqué métodos, análisis, interpretación de datos para la mejora continua.
4. Apliqué métodos, técnicas y herramientas para la solución de problemas con visión estratégica.
5. Utilicé las nuevas tecnologías de información y comunicación en el desarrollo del proceso para optimización del mismo y la eficaz toma de decisiones.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

### 15. Fuentes de información

#### **Bibliografía:**

Gamboa, J. B. (04 de 06 de 2015). *EQUILIBRIO DE CUERPO RÍGIDO 3D*. Recuperado el 23 de 11 de 2018, de ESTÁTICA: <http://blogprofejnestatica.blogspot.com/2015/07/equilibrio-de-cuerpo-rigido-3d.html>

Gardey, J. P. (03 de 04 de 2017). *DEFINICIÓN DE ESTÁTICA*. Recuperado el 23 de 11 de 2018, de DEFINICION.DE: <https://definicion.de/estatica/>

Gardey., J. P. (01 de 04 de 2017). *DEFINICION.DE*. Recuperado el 23 de 11 de 2018, de DEFINICION DE DEFLEXION: <https://definicion.de/deflexion/>

MECHATRONICS, N. (02 de 04 de 2016). *Tutorial transmisor de celda de carga HX711, Balanza Digital*. Recuperado el 01 de 09 de 2018, de NAYLAMP MECHATRONICS: [https://naylampmechatronics.com/blog/25\\_tutorial-trasmisor-de-celda-de-carga-hx711-ba.html](https://naylampmechatronics.com/blog/25_tutorial-trasmisor-de-celda-de-carga-hx711-ba.html)

Medina, I. W. (01 de 02 de 2018). *Equilibrio de un cuerpo rígido en dos dimensiones*. Recuperado el 23 de 11 de 2018, de Academia: [http://www.academia.edu/30925391/03\\_Equilibrio\\_de\\_un\\_cuerpo\\_rigido\\_en\\_dos\\_dimensiones](http://www.academia.edu/30925391/03_Equilibrio_de_un_cuerpo_rigido_en_dos_dimensiones)

## ANEXOS

### 16. Anexos

#### 16.1. PROGRAMACIÓN DEL SENSOR PARA CALIBRACIÓN.

- El primer paso es cargar el siguiente Sketch a nuestro Arduino.

```
#include "HX711.h"
#define DT A1
#define SCK A0
HX711 balanza(DT, SCK);
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.print("Lectura del valor del ADC: ");
  Serial.println(balanza.read());
  Serial.println("No ponga ningun objeto sobre el sensor");
  Serial.println("Destarando...");
  balanza.set_scale(); //La escala por defecto es 1
  balanza.tare(20); //El peso actual es considerado Tara.
  Serial.println("Coloque un peso conocido:");
}
void loop()
{
  Serial.print("Valor de lectura: ");
  Serial.println(balanza.get_value(10),0);
  delay(100);
}
```

- El programa debe correr sin el peso colocado, pues al inicio de programa calcula la tara.

- Después de abrir el monitor serial y esperar para que reste la tara, Se pone el objeto de medición de peso deseado o el peso con el que estén trabajando.
- Después de poner el peso en el sensor, en el monitor serial se mostrarán las lecturas del peso, son lecturas sin escalar, por lo que les deben aparecer números grandes.

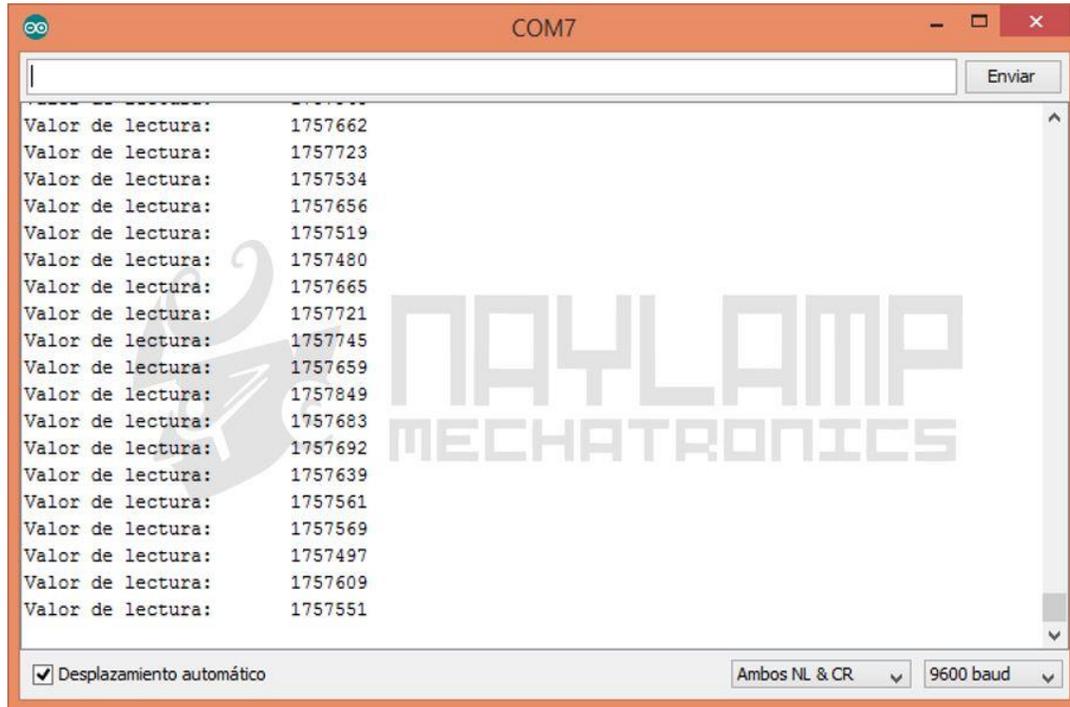


Figura 16.1. Monitor serial de Arduino.

- Se deben tomar al menos 30 valores arrojados por el monitor serial para obtener el promedio de estos datos, calculamos el valor de la escala que usaremos, para esto usaremos la siguiente formula:

$$ESCALA = \frac{\text{Valor de Lectura}}{\text{Peso Real}}$$

- El valor del peso debe estar en las unidades con las que queremos que trabaje nuestra balanza, por ejemplo podría ser 4Kg o 4000g para Kilogramo o gramos respectivamente, o en nuestro caso 2N.
- Entonces el valor de la Escala que usaremos es:

$$ESCALA = \frac{1757721}{4} = 439430.25$$

- Con este dato ya obtenido pasamos a programar el sketch que vamos a utilizar para pesar.
- Recordar hacer esto para cada sensor ya que sus valores de medición varían.

## 16.2. PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA

- El siguiente paso es cargar el programa final a nuestro Arduino con nuestras respectivas escalas para cada sensor.

```
#include <LiquidCrystal.h>
#define DT  A1
#define SCK  A0
#define DT1  A3
#define SCK1  A2
#define DT2  A5
#define SCK2  A4
#define DT3  A7
#define SCK3  A6
LiquidCrystal lcd(13,12,11,10,9,8); //Rs,E,D4,D5,D6,D7
HX711 balanza(DT, SCK);
HX711 balanza1(DT1, SCK1);
HX711 balanza2(DT2, SCK2);
HX711 balanza3(DT3, SCK3);
void setup() {
  lcd.begin(20,4);
  lcd.print ("lectura del valor: ");
  lcd.println(balanza.read());
  lcd.println(balanza1.read());
  lcd.clear();
```

```

lcd.setCursor(3,1);
lcd.print("NO PONGA CARGA");
lcd.setCursor(4,2);
lcd.print("EN SENSORES");
delay (2000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(2,1);
lcd.print("...DESTARANDO...");
lcd.setCursor(8,2);
lcd.print("...");
delay (2000);
lcd.clear();
balanza.set_scale(21898.46667); // Establecemos la escala de cada sensor.
balanza1.set_scale(21519.37097);
balanza2.set_scale(21484.66129);
balanza3.set_scale(24840.17742);
balanza.tare(20); //El peso actual es considerado Tara.
balanza1.tare(20);
balanza2.tare(20);
balanza3.tare(20);
//lcd.setCursor(1,0);
//lcd.print("sensor");
//delay (2000);
}
void loop() {
  lcd.setCursor(0,0);////////////////////////////////////
  lcd.print("S1:");
  lcd.print(balanza.get_units(20),1);
  lcd.setCursor(9,0);
  lcd.print("N");
  lcd.setCursor(0,1);////////////////////////////////////

```

```
lcd.print("S2:");
lcd.print(balanza1.get_units(20),1);
lcd.setCursor(9,1);
lcd.print("N");
lcd.setCursor(0,2); //////////////////////////////////////
lcd.print("S3:");
lcd.print(balanza2.get_units(20),1);
lcd.setCursor(9,2);
lcd.print("N");
lcd.setCursor(0,3); //////////////////////////////////////
lcd.print("S4:");
lcd.print(balanza3.get_units(20),1);
lcd.setCursor(9,3);
lcd.print("N");
delay(500);
}
```

### 16.3. DIAGRAMA DE CONEXIONES FÍSICAS ELECTRÓNICAS.

- Conexiones físicas.

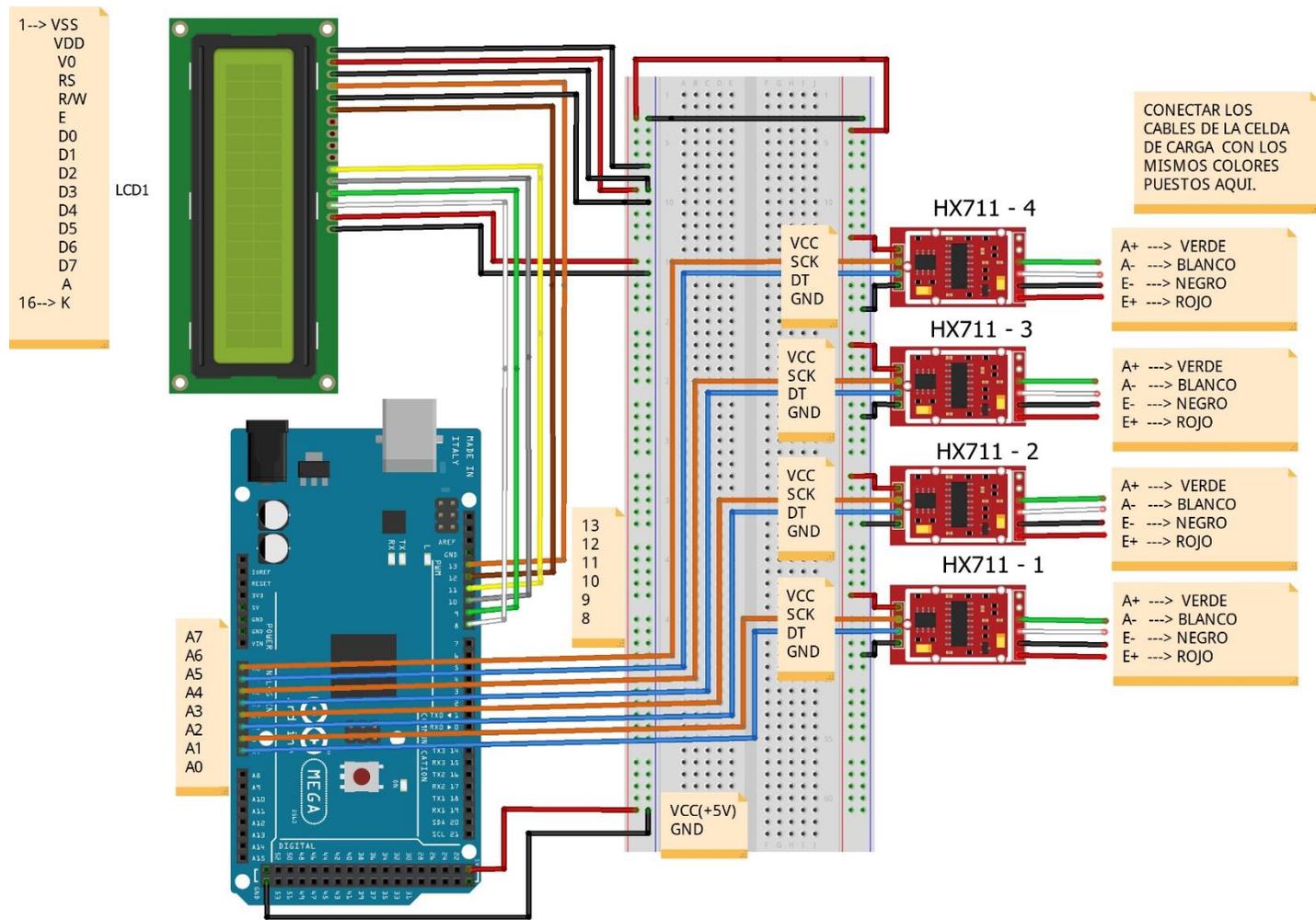
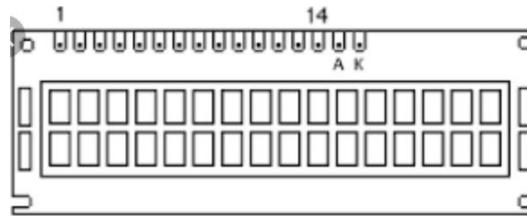


Figura 16.2. Diagrama de conexión.

- Conexiones de Display LCD o pines de conexión.



| Pin No | Name | Description              |
|--------|------|--------------------------|
| 1      | Vss  | GND                      |
| 2      | Vdd  | +5v                      |
| 3      | Vo   | Contrast Control         |
| 4      | RS   | Register Select          |
| 5      | R/W  | Read/Write               |
| 6      | E    | Enable ( <i>Strobe</i> ) |
| 7      | D0   | Data <i>LSB</i>          |
| 8      | D1   | Data                     |
| 9      | D2   | Data                     |
| 10     | D3   | Data                     |
| 11     | D4   | Data                     |
| 12     | D5   | Data                     |
| 13     | D6   | Data                     |
| 14     | D7   | Data <i>MSB</i>          |

Figura 16.3. Pines de conexión de Display LCD.

- Conexiones de Arduino con HX711.

| NO. DE HX711. | POIN DE CONEXIÓN DE HX 711. | PIN DE CONEXIÓN ARDUINO. |
|---------------|-----------------------------|--------------------------|
| HX711 – 1.    | VCC.                        | POSITIVO (+V).           |
|               | SCK                         | A1                       |
|               | DT.                         | A0.                      |
|               | GND.                        | NEGATIVO.                |
| HX711 – 2.    | VCC.                        | POSITIVO (+V).           |
|               | SCK.                        | A3.                      |
|               | DT.                         | A2.                      |
|               | GND.                        | NEGATIVO.                |
| HX711 – 3.    | VCC.                        | POSITIVO (+V).           |
|               | SCK.                        | A5.                      |
|               | DT.                         | A4.                      |

|            |      |                |
|------------|------|----------------|
|            | GND. | NEGATIVO.      |
| HX711 – 4. | VCC. | POSITIVO (+V). |
|            | SCK. | A7.            |
|            | DT.  | A6.            |
|            | GND. | NEGATIVO.      |

Tabla 16.1. Conexiones de Arduino a HX711.

- Conexiones físicas a celda de carga o sensor.

| CABLE.  | CONEXIÓN A HX711. |
|---------|-------------------|
| ROJO.   | E +.              |
| NEGRO.  | E -.              |
| BLANCO. | A -.              |
| VERDE.  | A +.              |

Tabla 16.2. Conexiones de celda de carga.

#### 16.4. PASOS PARA SOLUCIÓN DE CASO VIGA (2D).

Pasos para resolución del problema de viga en 2D, vía software seguir los siguientes:

- Abrir el programa MD Solids.
- Seleccionar la opción de DETERMINATE BEAMS.

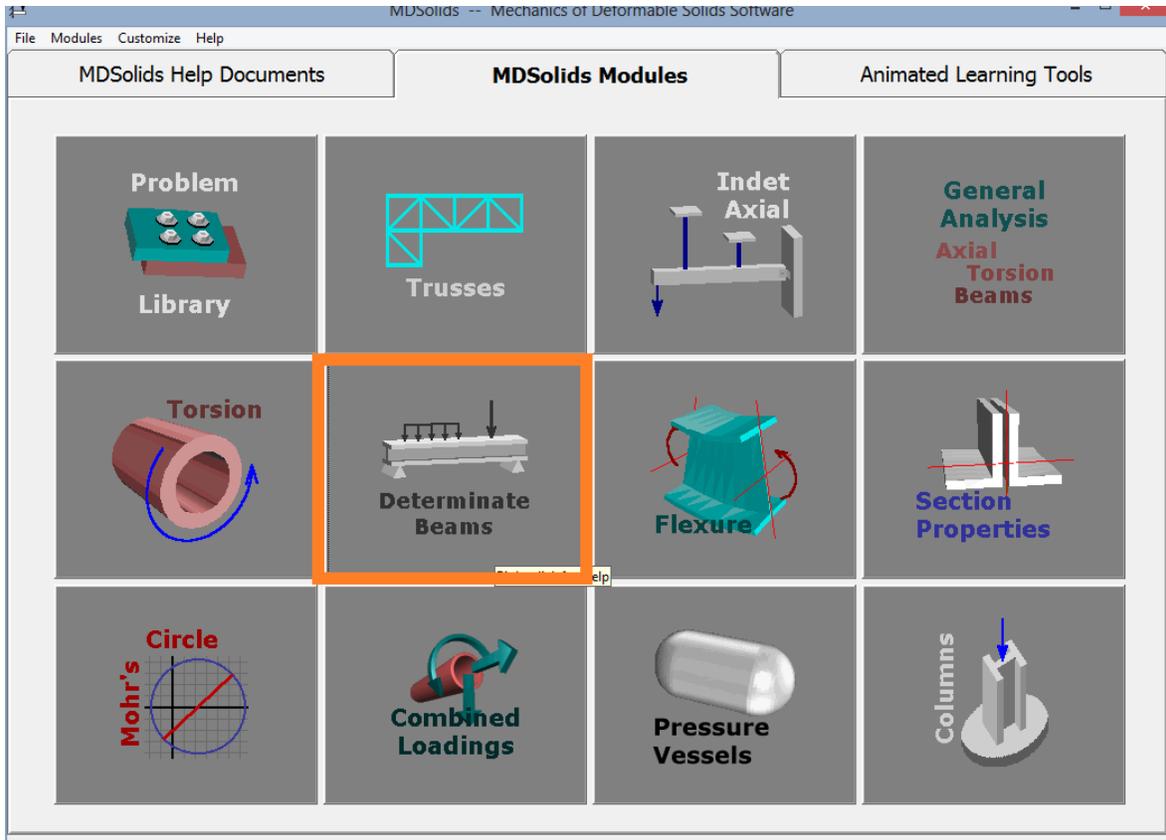


Figura 16.4. Resolución de problema con MD Solids.

- Después de seleccionar la opción mencionada en el paso anterior aparecerá la siguiente ventana, en la cual devoremos seleccionar la viga con dos apoyos (la primera opción).

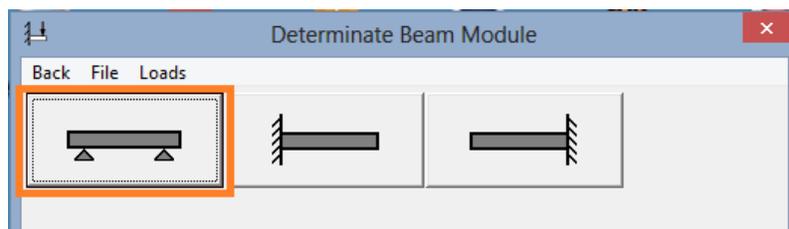


Figura 16.5. Resolución de problema con MD Solids.

- Después de seleccionar la opción de la viga con dos apoyos, nos aparecerá lo siguiente, verificamos las unidades e medida en este caso las pondremos en milímetros.

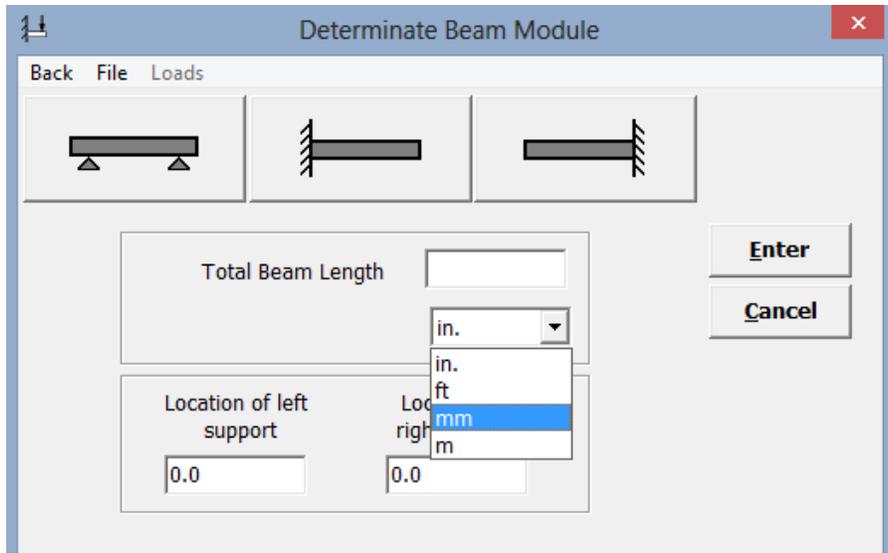


Figura 16.6. Resolución de problema con MD Solids.

- Después de seleccionar la unidad de medida colocaremos la medida de nuestra estructura o viga en este caso serán 230 mm, también tendremos que colocar donde serán referenciados los puntos de apoyo que son al principio con 0 mm y al final con 230 mm para nuestro caso.

Quedando de esta manera:

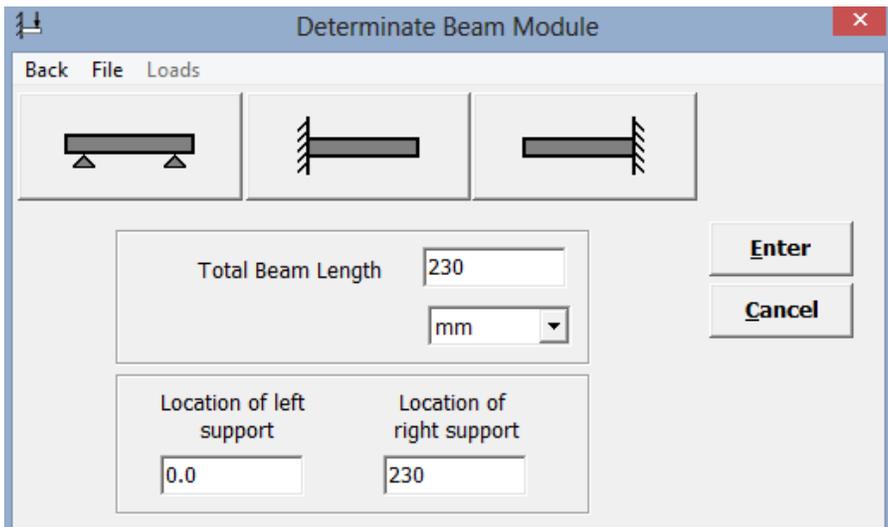


Figura 16.7. Resolución de problema con MD Solids.

- Daremos Enter para proceder a lo siguiente.

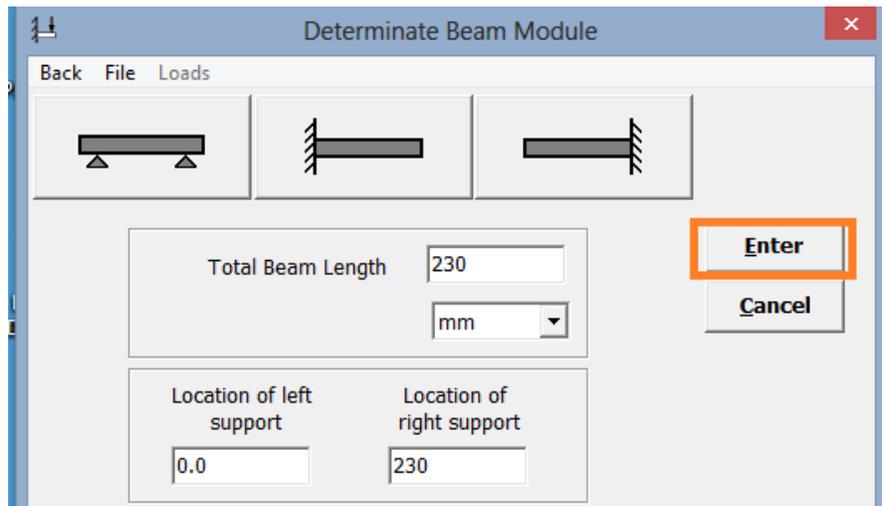


Figura 16.8. Resolución de problema con MD Solids.

- Después de esto aparecerán las siguientes ventanas:

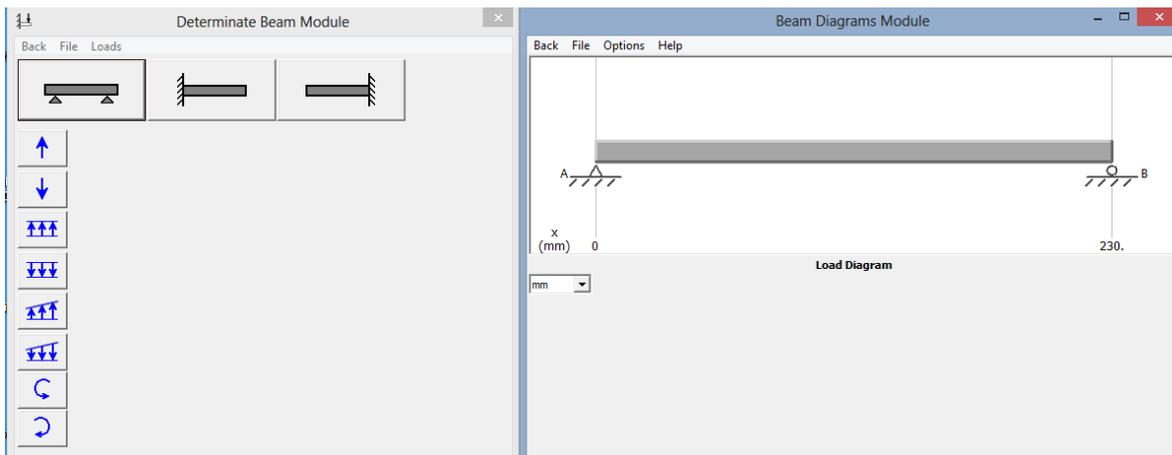


Figura 16.9. Resolución de problema con MD Solids.

- Donde seleccionaremos el tipo de fuerza y dirección de vector.  
La cual será la segunda opción como se muestra en la imagen:

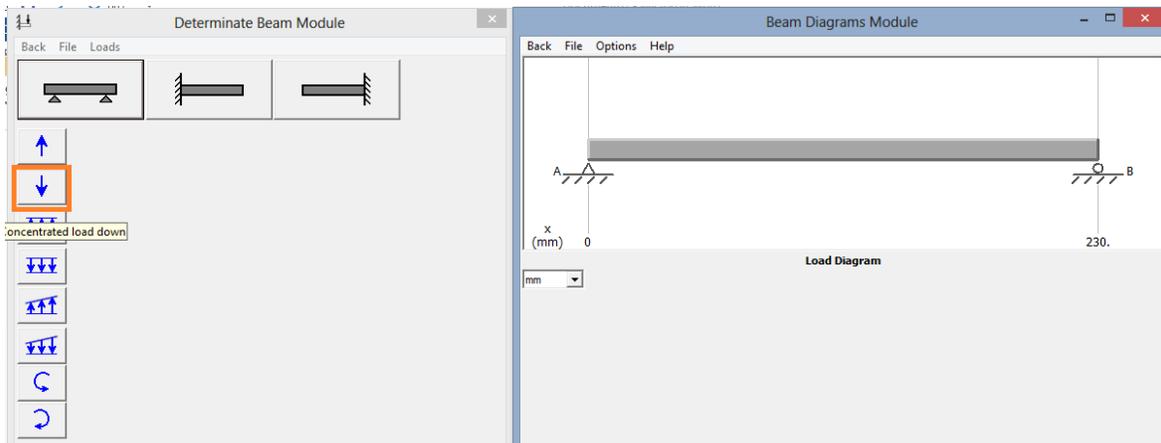


Figura 16.10. Resolución de problema con MD Solids.

- Después de seleccionar esta opción nos aparecerá en qué punto queremos la fuerza, la cual en este caso será a una distancia de 50 mm, también nos pide la magnitud de la fuerza a aplicar la cual será de 2 N, seleccionamos la unidad de la fuerza en Newton.

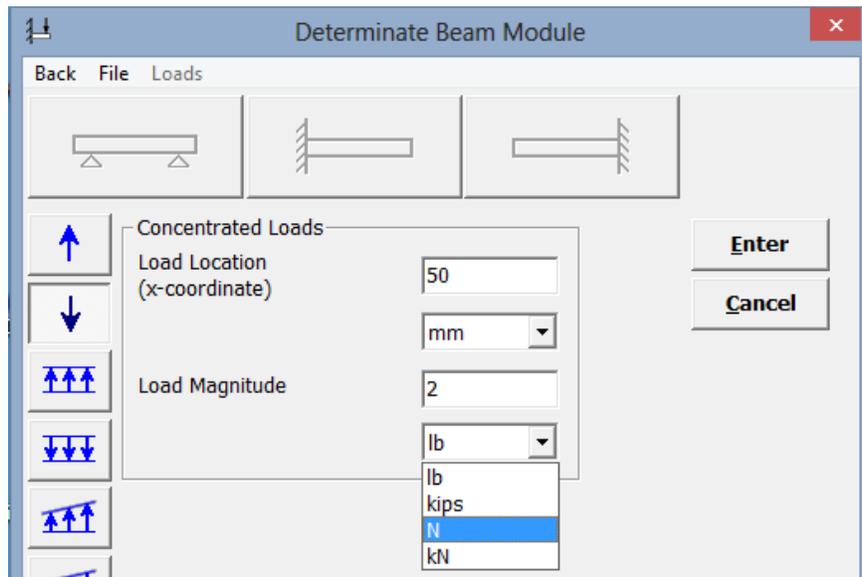


Figura 16.11. Resolución de problema con MD Solids.

- Después daremos Enter y nos arrojará el resultado.

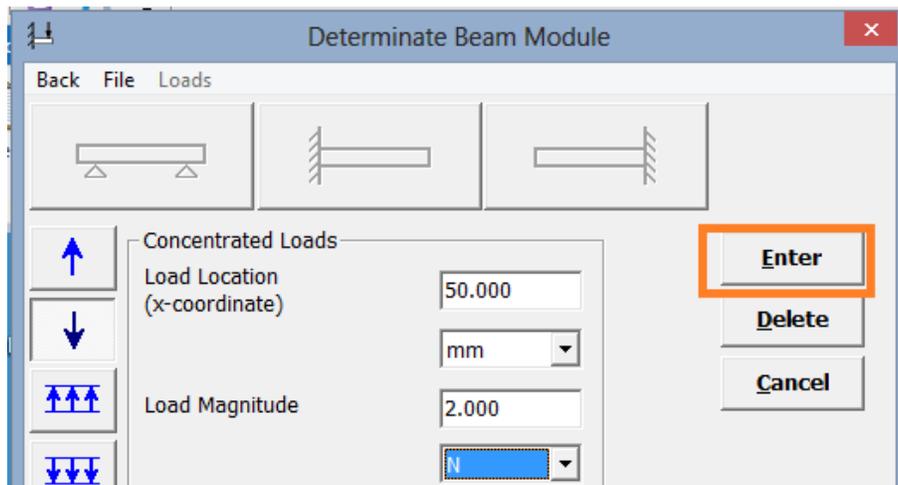


Figura 16.12. Resolución de problema con MD Solids.

- Los resultados obtenidos son los siguientes:

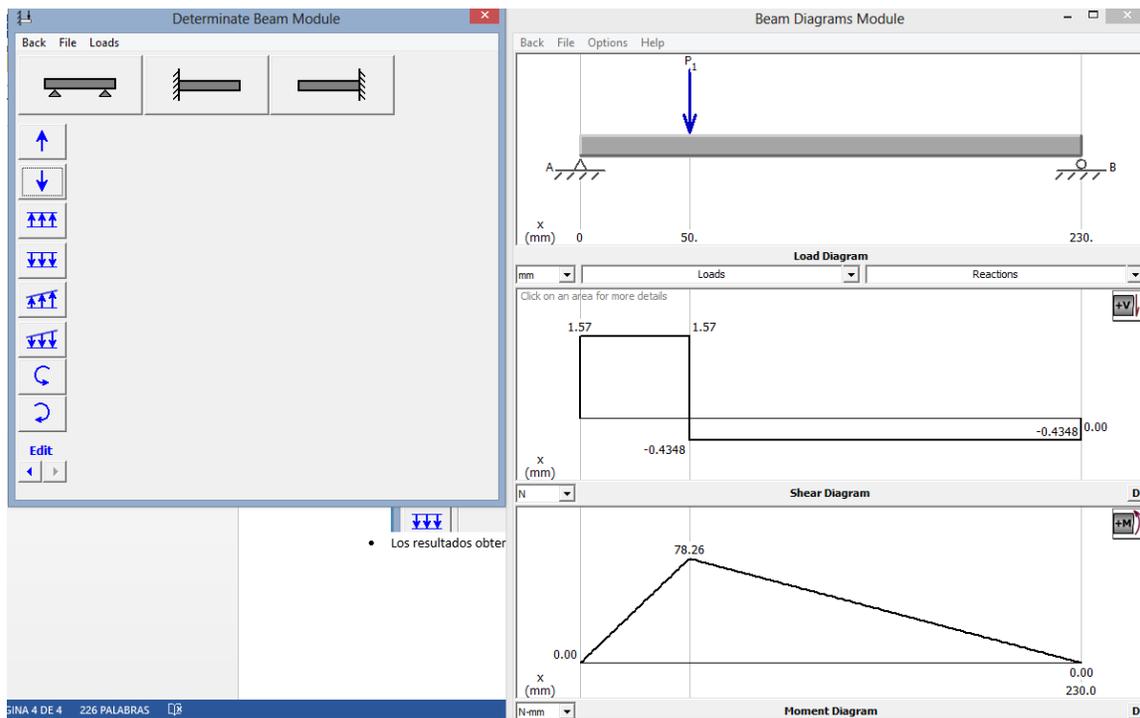


Figura 16.13. Resolución de problema con MD Solids.

- Nuestros resultados son los siguientes al lado izquierdo la reacción es de 1.57 N y del lado derecho es de -0.43 N, al canalizar los resultados al sistema didáctico

no arrojó un resultado de 1.6 N y 0.4 N lo cual nos indica la exactitud del mismo, notarás que en el despliegue datos de la pantalla LCD el resultado es positivo y el mostrado por el programa es negativo, pues esto no importa ya que la fuerza de reacción es correcta.

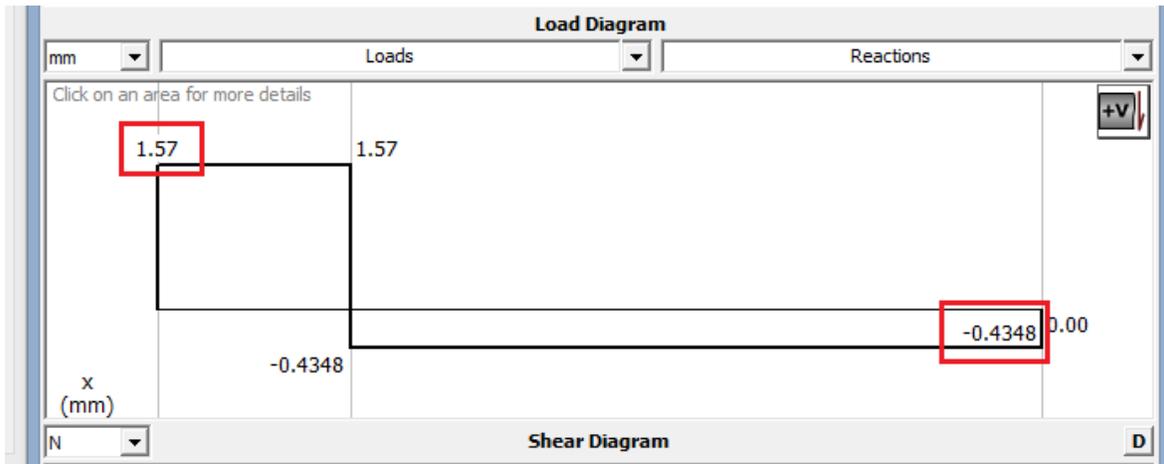


Figura 16.14. Resolución de problema con MD Solids.