

2017-05

Creación de sistema de sensores

Domínguez-GómezTrejo, Sara E.

Enlace directo al documento: <http://hdl.handle.net/11117/4548>

Este documento obtenido del Repositorio Institucional del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente se pone a disposición general bajo los términos y condiciones de la siguiente licencia:

<http://quijote.biblio.iteso.mx/licencias/CC-BY-NC-2.5-MX.pdf>

(El documento empieza en la siguiente página)

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

Dependencia de adscripción al PAP

Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)

Nombre de la APUESTA

Vivienda Emergente y Sustentable con Sistemas Estructurales de Bambú

Nombre del PROGRAMA

PAP Programa de Edificación y Vivienda I



ITESO

Universidad Jesuita
de Guadalajara

Nombre del PAP y clave

Laboratorio de Innovación y Diseño Sustentable Para la Vivienda PAP1F04

“Nombre del Proyecto y del reporte en específico”

Creación de sistema de sensores

PRESENTA

Programa educativo.

Lic. en Ingeniería Mecánica

Nombre completo del alumno.

Sara Elisa Domínguez Gómez Trejo

Profesor(es) PAP: Nayar Cuitláhuac Gutiérrez Astudillo.

Tlaquepaque, Jalisco, lunes 15 de mayo de 2017.

ÍNDICE

1. Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) del ITESO	3
2. Resumen ejecutivo, Abstract	3
3. Introducción	4
a. Justificación del proyecto	4
b. Campo del conocimiento general y específico	4
c. Ámbito de problemas y objeto problema	4
d. Líneas de generación y aplicación del conocimiento	5
e. Hipótesis, supuestos y/o preguntas de investigación	5
4. Objetivo general	5
5. Objetivos específicos	5
6. Antecedentes	6
a. Celdas de Carga	6
b. Acelerómetro tri axial	9
c. Sensor ultrasónico	10
d. La recolección de datos	10
i. Open source	10
ii. Arduino	11
iii. MIT app inventor	11
iv. Matlab	11
7. Propuesta	12
a. De los sensores y su construcción	13
b. Análisis de datos	14
8. Diseño Metodológico	15
9. Recursos materiales	15
10. Presupuesto y financiamiento	16
11. Cronograma	17
12. Impactos y productos esperados	18
13. Resultados	18
a. Sistema uno	18
b. Sensor LVDT	21
c. Sistema dos	22
d. Celda de Carga	22
e. Recolección de datos	27
f. Costo real por sistema.	30
i. Modulo uno	30
ii. Sensor LVDT	30
iii. Modulo 2	30
iv. Celda de Carga	30
g. Costos adicionales a considerar	31
14. Conclusiones	31
15. Anexos	32
a. Contenido USB	32
b. Otros softwares utilizados	32
i. Fritzing	33
ii. Catia.	33
iii. Capturas de Pantalla de Catia	33
16. Referencias Tablas e imágenes	35
17. Referencias Bibliográficas	35

1. Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) del ITESO

Los Proyectos de Aplicación Profesional son una modalidad educativa del ITESO en la que los estudiantes aplican sus saberes y competencias socio-profesionales a través del desarrollo de un proyecto en un escenario real para plantear soluciones o resolver problemas del entorno.

A través del PAP los alumnos acreditan tanto su servicio social como su trabajo recepcional, por lo que requieren de acompañamiento y asesoría especializada para que sus actividades contribuyan de manera significativa al escenario en el que se desarrolla el proyecto, y sus aprendizajes, reflexiones y aportes sean documentados en un reporte como el presente.

2. Abstract

El siguiente documento muestra los avances realizados en el proyecto de elaboración del sistema de sensores para a realización de pruebas estructurales en estructuras elaboradas con bambú. La iniciativa de ITESO de buscar materiales constructivos sustentables necesita tener las herramientas para probar las estructuras propuestas, de ahí surge la necesidad de crear el sistema de sensores, dichos sensores deben de ser duplicables, económicos y confiables, se utilizaron para su elaboración materiales de fácil acceso y componentes electrónicos comunes, así como software **open source** para la obtención e interpretación de los datos de los sensores.

The following document shows the progress done on the Project construction of a sensor system for bamboo structural testing. ITESO's initiative to find sustainable construction materials needs to have the tools to test the proposed materials, from this arose the need to create the sensor system, said sensors must be duplicable, inexpensive and reliable, readily access materials and common electronic components were used for their construction, as well as open source software for the acquisition and interpreting of the sensor's data.

3. Introducción

Este proyecto, apoya al proyecto de elaboración de estructuras de bambú, el proyecto generará sensores para poder probar la resistencia de las estructuras hechas con bambú.

Se busca medir estructuras de bambú mexicano, elaboradas en ITESO; para dar validez a los datos y proyecto, se necesita medir las cargas que el producto final -la estructura-, puede resistir; de ahí la necesidad de contar con sensores confiables.

Para este fin, se buscaran cuáles son las herramientas disponibles que sean de fácil aplicación y bajo costo. Se pensó en buscar herramientas de software y hardware libre.

3.a Justificación del proyecto

Con la intención de hacer el proyecto de vivienda sustentable, se busca hacer sistemas de sensores duplicables y de fácil elaboración con materiales fáciles de conseguir.

El compartir las herramientas del proyecto al estilo **open source**, ayuda a dar herramientas a personas que no tienen la capacidad de pagar mucho por estos recursos o pruebas estructurales.

3.b Campo del conocimiento general y específico

Este trabajo se encuentra en el contexto de desarrollo de tecnología, aplicando tecnología mecánica, electrónica y de sistemas. Su enfoque principal corresponde a ingeniería mecánica y electrónica, siendo secundaria, la elaboración de software.

Según la clasificación CONACYT se encuentra en:

Ciencias de la Tecnología - Electrónica y Electrotecnia

3.c Ámbito de problemas y objeto problema

A pesar de que existen muchos sensores en el mercado, el software necesario para recolectar datos de los sensores no es tan accesible. Como los sensores tienen múltiples aplicaciones, no hay un software que pueda cubrir todas las necesidades de los usuarios. Esto ha provocado que cada usuario se valga de crear su propio software para cubrir sus necesidades específicas.

El objetivo de este proyecto es crear un software que pueda leer entradas de diferentes sensores, y que almacene y grafique los valores recibidos de cada sensor para permitir un análisis futuro.

3.d Líneas de generación y aplicación del conocimiento

- Desarrollo de innovación tecnológica
- Desarrollo de aplicaciones de análisis de datos
- Desarrollo de módulos de análisis aplicables a otros sensores.

3.e Hipótesis, supuestos y/o preguntas de investigación

Es posible el desarrollo de un sistema de sensores para el análisis estructural de modelos hechos a partir de materiales de fácil adquisición, el sistema de sensores puede incluir una celda de carga y un sensor LVDT, utilizando las herramientas disponibles en los laboratorios de ITESO. Se puede utilizar el software de **Arduino** para la recolección de datos, por lo que se puede realizar el programa a partir de su lenguaje de programación.

4. Objetivo general

El objetivo de este proyecto, es dar apoyo a la iniciativa de utilizar bambú como material de construcción en México, al elaborar sensores para la prueba de estructuras hechas con bambú, que sean de menor costo que los que actualmente hay en el mercado, dichos sensores deben dar información sobre la carga y deformación de la estructura, al recibir dicha carga, estos datos deben de ser presentados de manera útil y de fácil lectura, que además permita su análisis posterior; así como permitir la re-fabricación y duplicación de dichos sensores.

5. Objetivos específicos

1. Los sensores elaborados deberán cumplir las siguientes especificaciones:
 - a. Celda de Carga: Debe medir una carga hasta 1 TON, con un margen de error de $\pm 1\text{ kg}$
 - b. Sensor de movimiento: Debe medir variaciones de hasta 10 cm con un margen de error de $\pm .5\text{ mm}$
2. Elaborar un módulo inalámbrico de recolección de datos.
3. Los datos deben poderse analizar, en una aplicación móvil.

6. Antecedentes

Existen actualmente una gran variedad de sensores, y diferentes componentes electrónicos, que pueden ser utilizados en diferentes aplicaciones y con diferentes rangos de medición, tolerancias y porcentajes de error, a continuación, se nombran algunos de los sensores que se revisaron antes de hacer una propuesta para este proyecto.

6.a Celdas de Carga

Una celda de carga es un dispositivo transductor que se utiliza para medir cargas, este dispositivo convierte a una señal eléctrica, la deformación de un metal ya sea por compresión, torsión o flexión.

Existen varios tipos de celdas de carga, entre los más comunes están: neumáticas, hidráulicas y de galga extensiométrica

Celda de carga neumática:

La celda de carga neumática, utiliza una cámara de aire debajo de una plataforma de pesado, que forma un diafragma, la presión del aire cambia al aumentar la carga ya que debe compensar la fuerza que esta ejerce, el aire es alimentado a la cámara a través de un diafragma, el cambio en la presión es la lectura de la celda de carga.

Se utiliza para medir cargas de hasta 10 ton con un margen de error de 0.2% es fácil y común utilizarla donde ya se tiene una instalación de control neumático.

También se utilizan para pesos pequeños, donde es importante mantener condiciones de higiene y limpieza.

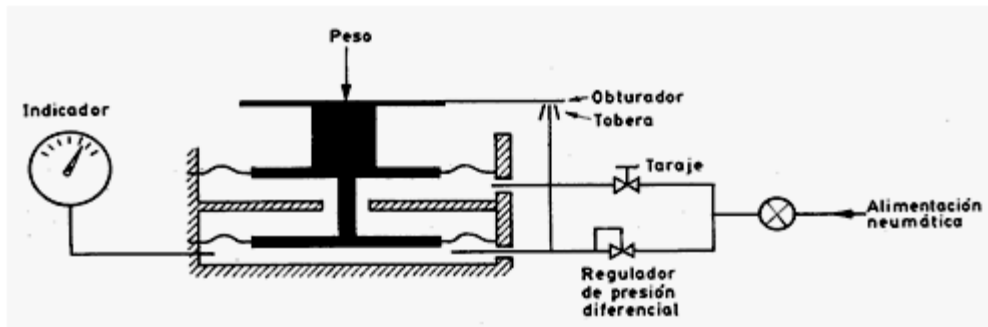


Figure 1 Celda de carga neumática (mcingeneieria, 2010)

Celda de carga Hidráulica:

La celda de carga hidráulica funciona a través de un pistón de aceite, al que se le aplica una carga, ya que se conoce el área del pistón, se puede calcular el peso al conocer la presión del fluido.

Para obtener una lectura electrónica, se suman las presiones de varias celdas de carga y se aplican a un transmisor electrónico de equilibrio de fuerzas.

Este tipo de sensor permite cargas de hasta 100 toneladas, permite sobrecargas del 40% y soporta vibraciones, también es muy seguro ya que no tiene componentes eléctricos.

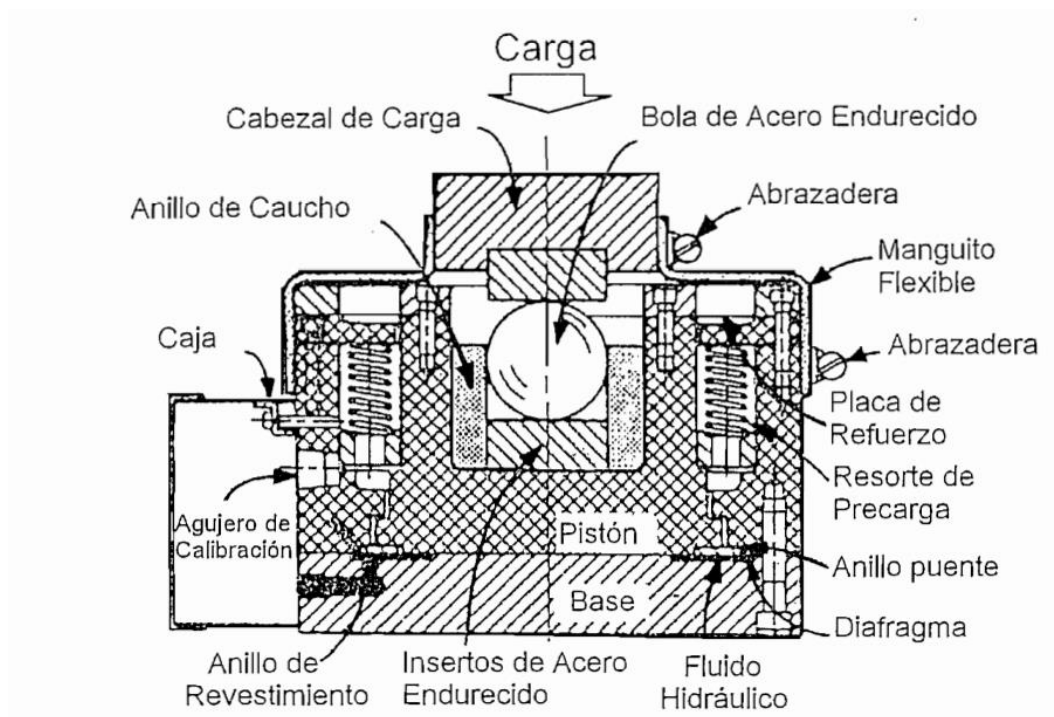


Figure 2 Celda de carga neumática, (Otero, 2007,p.14)

Celda de carga con galga extensiométrica:

Una celda de carga de este tipo, se basa en el uso de la galga extensiométrica para medir la deformación de un material que soporta la carga a medir.

La galga extensiométrica consta de filamentos de un metal conductor, montado sobre un no conductor, al modificar su tamaño, ya sea por compresión o tensión, el material cambia su resistencia.

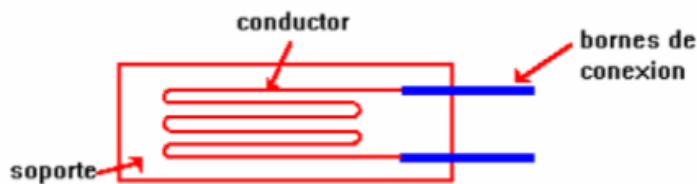


Figure 3 Galga extensiométrica de filamento metálico. (Idrovo, P. & Quintanilla, L. 2010, p.15).

La galga extensiométrica, para todo efecto práctico, es una resistencia variable, sin embargo, al estar unida a un elemento de carga poco deformable, la deformación de la galga es mínima y también lo es la variación de la resistencia, para poder medir variaciones tan pequeñas, es necesario aumentar la señal recibida, esto se hace a través de un arreglo conocido como puente de Wheatstone, que consiste en un arreglo de resistencias

conocidas, y donde la única variación en la resistencia total del circuito es debida a la variación de la resistencia de la galga.

Un puente de Wheatstone para galgas extensiométricas puede tener muchas configuraciones, a continuación se muestran algunas de las más comunes.

Las celdas de carga que utilizan galgas extensiométricas, tienen diferentes configuraciones, que se usan para diferentes aplicaciones.

Celda de carga de compresión:

Se utiliza cuando la carga se va a medir sobre una superficie plana, la celda tiene un botón sobre el que se monta la carga.



Figure 4 Celda de carga de compresión (forsentek).

Celda de carga de S

Recibe el nombre por su forma, esta celda, mide esfuerzos de tensión y compresión, pero no permite esfuerzos laterales.

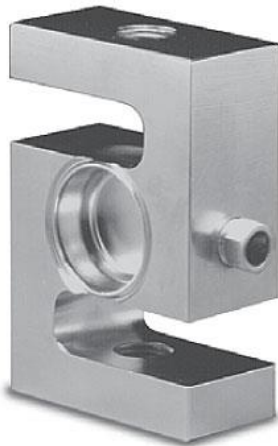


Figure 5 Celda de carga tipo S. (celda de carga, 2015).

Celda de carga a flexión de viga

Son las que tienen más variedad de usos, en este tipo de celda, la señal depende del momento de flexión, la viga de flexión simple, rara vez se utiliza en celdas de carga, sin embargo, las de flexión múltiple, se utilizan como elementos de muelle, para cargas de hasta 5 toneladas, empleando dos o tres vigas de flexión dobles o triples.



Figure 6 Celda de carga a flexión de viga, (techmatic).

El montaje de la galga extensiométrica es de vital importancia en el funcionamiento correcto de la galga. La galga debe de estar posicionada correctamente, y además debe de estar limpia de cualquier agente contaminante como grasas o polvo.

Para montar la galga se necesita primero preparar la superficie, limpiándola primero con desengrasante, después se limpia con acetona, o algún otro solvente, se aplica la galaga utilizando cianocrilato y en este caso, se cubrió con metacrilato.

6.b Acelerómetro tri axial

Un acelerómetro es un dispositivo que puede medir aceleraciones, un acelerómetro tri axial puede medir aceleraciones en 3 direcciones, X, Y y Z, esto es útil para medir desplazamientos,

Los acelerómetros son muy comunes en la actualidad, ya que todos los teléfonos celulares, tabletas electrónicas y algunas computadoras portátiles los utilizan para adquirir o proporcionar datos del usuario, también ayudan a proteger la información del disco duro en caso de accidente.

La base del funcionamiento del acelerómetro es un condensador, un dispositivo que generalmente está integrado por dos placas metálicas fijas, una enfrente de la otra; y por un material dieléctrico, que puede ser, de poliéster o papel, una de esas placas es móvil, de tal forma que cuando se aplica una fuerza o una aceleración sobre él, la capacidad del condensador cambiará. Se hará mayor o menor en función del movimiento, ya que la placa móvil se desplazará. Y el sensor el cambio de voltaje.

Normalmente no se utilizan acelerómetros en las pruebas de estructuras, pero nos parece interesante los datos que podría dar, ya que podríamos conocer el movimiento en la estructura.

6.c Sensor ultrasónico,

Los sensores ultrasónicos son dispositivos autónomos de estado sólido, diseñados para la detección sin contacto de objetos sólidos y líquidos, para muchas aplicaciones, tales como el monitoreo del nivel de agua en un tanque, la tecnología ultrasónica permite que un solo dispositivo haga el trabajo, que de otro modo requeriría varios sensores.

Utilizaremos el sensor ultrasónico para monitorear el desplazamiento lineal de la estructura en diferentes puntos.

6.d La recolección de datos.

En el ámbito industrial hay software de análisis de datos para fines muy específicos, sin embargo, existen muchos programas que pueden utilizarse para la recolección de datos, también hay una gran variedad de interfaces y dispositivos para transferencia de datos, se pretende dar prioridad a los softwares de **open source** porque esto apoya a la iniciativa del PAP de hacer sensores de bajo costo, al usar programas libres, también se reducen costos. También se utilizara la herramienta de **Matlab**, esta no es una herramienta de fácil acceso fuera del ámbito universitario, sin embargo se utilizara Matlab por su facilidad de uso.

6.d.i Open Source

El software libre en actualidad tiene mucho auge, mucho desarrollo y muchos usuarios que comparten información código y proyecto a través de páginas web como **github** o **bitbucket**, donde los usuarios pueden aportar comentar y construir diferentes partes de código.

Github, por ejemplo tiene más de 5.8 millones de usuarios activos participando en más de 10.7 millones de discusiones

Las comunidades open source son un gran medio para desarrollar software nuevo, es útil también para tener retroalimentación sobre diferentes proyectos, se comparten muchas opciones y aplicaciones de uso común, y se da apoyo en problemas muy específicos, siempre y cuando el usuario que busca ayuda sepa plantear su pregunta y dé a conocer el código que esta utilizando, esto no es un requisito como tal, pero es la forma en que la comunidad puede saber lo que sucede con su código y aplicación.

Existen algunos programas o códigos que han sido compartidos por programadores y usuarios de más experiencia y estos códigos han sido usados y verificados por miles de usuarios, estos normalmente aparecen como ejemplos en los mismos programas o en las librerías sugeridas. Muchos de estos códigos se liberan con una licencia MIT la cual indica al usuario que puede hacer uso del código de cualquier manera, siempre y cuando mencione la fuente, pero el autor queda liberado de toda responsabilidad.

Dentro del mismo ámbito también se han desarrollado licencias informales como **beerware** la cual sugiere que pagues al autor al invitarle una cerveza si alguna vez se llegaron a conocer, o variaciones más interesantes como el **catware** sugiere que acaricies a un gato si el programa te ha servido.

Dentro de los programas open source que se usaran en este proyecto se encuentran **Arduino** y **MIT app inventor**

6.d.ii Arduino

Arduino es una plataforma de hardware y código abierto, basada en una sencilla placa con entradas y salidas, analógicas y digitales, y se basa en el lenguaje de programación “**Processing**”. Este dispositivo conecta la parte electrónica de un sistema con la digital, mediante una interfaz sencilla. Arduino nació como una herramienta educativa y esta pensada para crear proyectos electrónicos originales, se basa en open source y open hardware y apoya una gran comunidad de entusiastas que comparten proyectos, código, conexiones y avances. Fue creado por **David Cuartielles**, y **Massimo Banzi** en Italia en el año 2005.

6.d.iii MIT app inventor

App Inventor es un entorno de desarrollo de software creado por **Google Labs** para la creación de aplicaciones para el sistema operativo **Android**. El usuario puede, de forma visual y a partir de un conjunto de herramientas básicas, ir enlazando una serie de bloques de código para crear la aplicación. El sistema es gratuito y se puede descargar fácilmente de la web. Las aplicaciones creadas con App Inventor están limitadas por su simplicidad, aunque permiten cubrir un gran número de necesidades básicas en un dispositivo móvil.

La plataforma se puso a disposición del público el 12 de julio de 2010 y está dirigida a personas que no están familiarizadas con la programación informática. En la creación de App Inventor, Google se basó en investigaciones previas significativas en informática educativa.

6.d. iv Matlab

Matlab es un programa utilizado para analizar y diseñar sistemas matemáticos. Matlab facilita el análisis y procesamiento de datos. Utiliza un lenguaje basado en matrices que permite manejar más eficientemente las matemáticas computacionales.

Matlab puede comunicarse con diferentes programas y puede integrar diferentes lenguajes de programación, Matlab por default utiliza C++, y permite el uso de algoritmos y aplicaciones en sistemas variados.

Matlab también cuenta con la aplicación **Simulink**, que permite hacer modelos en base a programación en bloques.

7. Propuesta

Se crearán 4 sensores diferentes para las pruebas de estructuras hechas de bambú. Un sensor de carga y tres sensores de desplazamiento que ayudaran a determinar la deformación de la estructura.

El primer sensor, ultrasónico, para medir desplazamiento. El segundo medirá el desplazamiento de la estructura a partir de la aceleración de la misma, utilizando un sensor de movimiento conocido como acelerómetro. El tercero utilizará un sensor LVDT para medir el desplazamiento horizontal de la estructura al aplicar una carga, un cuarto sensor será una celda de carga, que al ser colocada en la base de la estructura, medirá la carga que está soportando la estructura. Los cuatro sensores utilizaran una tarjeta Arduino conectada a un transmisor bluetooth para enviar los datos a una aplicación móvil, para poder analizar los datos en tiempo real y almacenarlos.



Figure 7 Tarjeta Arduino Uno. (Arduino, 2017).

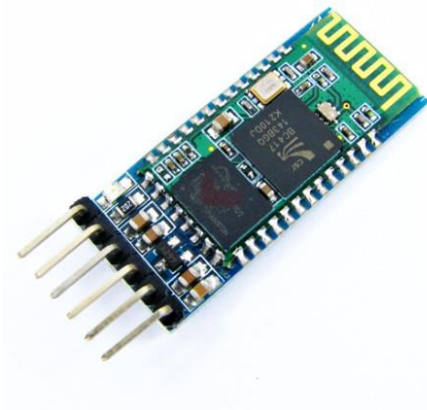


Figure 8 Modula bluetooth HC_05 para arduino (Tostatronic, 2017).

7.a De los sensores y su construcción:

Sensores de desplazamiento:

Se busca que los sensores puedan medir desplazamientos de hasta 10 cm, con un margen de error de ± 0.1 mm

Sensor 1:

Se utilizará un sensor ultrasónico para medir el desplazamiento a través de pulsos ultrasónicos. Dicho sensor debe estar pegado a la estructura y medirá la distancia hacia un punto fijo, separado de la estructura.

Sensor 2:

Se elaborará un sensor de desplazamiento utilizando un acelerómetro sostenido a la estructura a medir utilizando un pegamento no permanente o una cinta doble cara, que a su vez estará conectada a una tarjeta Arduino para la recolección de datos.

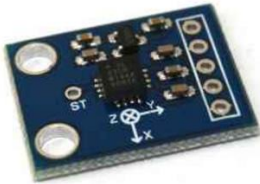


Figure 9 Acelerometro de 3 ejes. (hetpro, 2017)

Sensor 3 LVDT

Se creará y maquinara un sensor LVDT, que, apoyado en una estructura externa, se colocara a 5 cm de la estructura de bambú a medir.



Figure 10 Sensor LVDT. (solartronmetrology, 2016).

Celda de carga:

Se elaborará una celda de carga tipo S a partir de un bloque de acero, se le dará forma de S, se le hará un hueco en el centro y se instalarán dos galgas extensiométricas. Posteriormente se sellará la celda para evitar contaminación por polvo. La galga debe colocarse en la celda tomando en cuenta la geometría del puente de Winston.

Después se calibrará la galga, se desea un rango de operación de 125 kg a 1 ton. Con un margen de error de $\pm 625g$

7.b Análisis de datos:

Los datos recopilados por el sensor durante una prueba, pueden analizarse ya sea en tiempo real en una gráfica o posteriormente a partir de los datos guardados.

Los datos se mostrarán ya sea en una computadora conectada a la tarjeta Arduino por medio de un puerto USB o a través de una app para Android.

La app se hará utilizando el programa en línea para creación de aplicaciones “MIT app inventor”.



Figure 11 Logo MIT App Inventor, (app inventor, 2015).

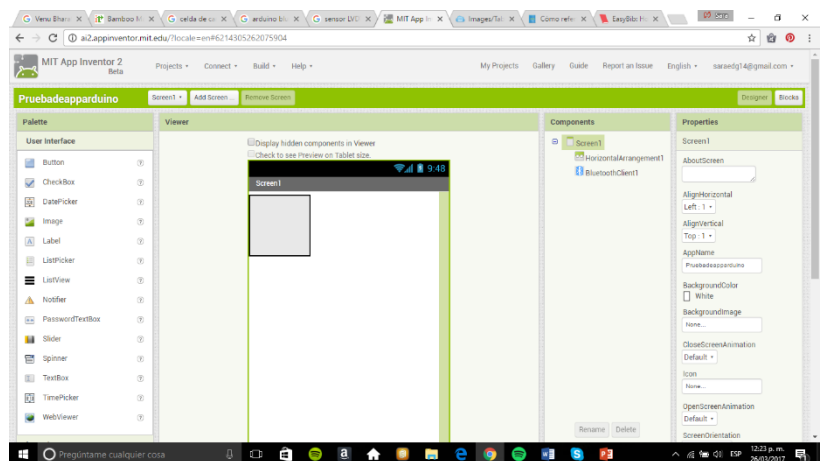


Figure 12 Captura de pantalla de interfase de App inventor.

Matlab



Figure 13 Logotipo Matlab

Se hará la recuperación de datos en Matlab, para facilitar su uso posterior. La intención es recuperar los datos en forma de matrices que puedan trabajarse ya sea en Matlab o pasarse a Excel.

8. Diseño Metodológico

Se propone la siguiente metodología:

1. Investigación documental
2. Elaboración de protocolo
3. Diseño de propuesta:
 - a. Diseño del montaje de sensores y cableado
 - b. Diseño de estructura de datos de sensores
 - c. Calcular dimensiones de celda de carga
 - i. Diseño de colocación de la galga extensiométrica
 - d. Diseño de software de recolección de datos
 - e. Diseño de sensor LVDT
 - f. Diseño de la interface
4. Entrega de presupuesto
5. Obtención de materiales para la elaboración del sensor
6. Elaboración de interface
7. Prueba de interface
8. Elaboración de sensores
9. Prueba de los sensores
10. Reevaluación de diseño
11. Re manufactura
12. Entrega de producto final

9. Recursos materiales

Laboratorio de estructuras del ITESO, Laboratorio de procesos de manufactura, Laboratorio de computo o Salas generales.

10. Presupuesto y financiamiento

El proyecto será financiado por ITESO, se considera inicialmente la siguiente propuesta de financiamiento:

Materiales	modelo	costo	proveedor
celda de carga tipo s			
bloque de acero de 55*80+30 mm 3 galgas extensiometrica	-	-	en inventario
pegamento de galga extensiometrica pistola de aplicación de pegamento	resina epoxi 400 ml, precio 44.50 USD pistola para resina epoxica 76 USD	\$ 934.50 \$1,659.00	klebstoff klebstoff
nariz	nariz para aplicar pegamento	\$ 25.00	klebstoff
sensor de movimiento por ultrasonido			
sensor ultrasónico	Sensor Ultrasónico HC-SR04 CÓDIGO:SUHC0004-0-JA24	\$ 64.00	HetPro
sensor de movimiento por acelerómetro			
acelerómetro	Acelerómetro 3 ejes GY-61 ADXL335 CÓDIGO:AADX3350-0-GA43	\$ 323.00	HetPro
módulo de recolección de datos			
Protoboard	Protoboard Mini (Color ROJO) PMCA0105-ZA4-HA32	\$ 52.00	Hetpro
tarjeta bluetooth	Modulo de Bluetooth Rx/Tx HC-05 Maestro MDBT0005-L5-0	\$ 257.00	Hetpro
Tarjeta Arduino UNO	Board O-UNO Arduino UNO compatible OONO1623-B4-FA52	\$ 259.00	Hetpro
cables + Arduino	Board O UNO - Arduino UNO generico más 60 cables dupon OONO1523-E3-BA51	\$ 286.00	Hetpro
tarjeta bluetooth	Módulo de Bluetooth Rx/Tx HC-05 Maestro MDBT0005-L5-0	\$ 257.00	Hetpro
Protoboard	Protoboard Mini (Color ROJO) PMCA0105-ZA4-HA32	\$ 52.00	Hetpro
Total		\$ 4,116.50	

11. Cronograma

Actividades a Realizar	semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 5	semana 6	semana 7	semana 8	semana 9	semana 10	semana 11	semana 12	semana 13	semana 14	semana 15	semana 16	semana 17	semana 18
Elaboración de protocolo																		
Investigación documental																		
Entrega de presupuesto																		
Obtención de materiales																		
Calcular dimensiones de celda de carga																		
Diseño y de colocación de la galga																		
Diseño del módulos																		
Diseño de software																		
diseño de captura de datos																		
Diseño de sensor LVDT																		
Prueba de los sensores																		
Diseño de la interface																		
Prueba de interface																		
Reevaluación de diseño																		
Re manufactura																		
Entrega de producto final																		

12. Impactos y productos esperados

Sensores útiles y prácticos que pueden utilizarse en múltiples ocasiones, así como ser fáciles de volver a fabricar.

Que los planos y diseños de los sensores sean comprensibles y duplicables por otros usuarios.

Se espera que los sistemas de análisis de datos, sean útiles, además, para otro tipo de sensores y en otras aplicaciones.

Se podría también aportar a la comunidad open source liberando todos los códigos elaborados con una simple beerware license.

13. Resultados

Se elaboraron 2 bloques o sistemas de sensores de la siguiente manera:

13.a Sistema uno

El primer sistema consiste en un módulo de posición.

Este módulo podrá indicar la variación de la posición de una estructura sometida a una carga. El sistema cuenta con un sensor ultrasónico, un acelerómetro, un sensor LVDT, con su fuente y un dispositivo bluetooth para transmitir datos.

El sistema es el siguiente:

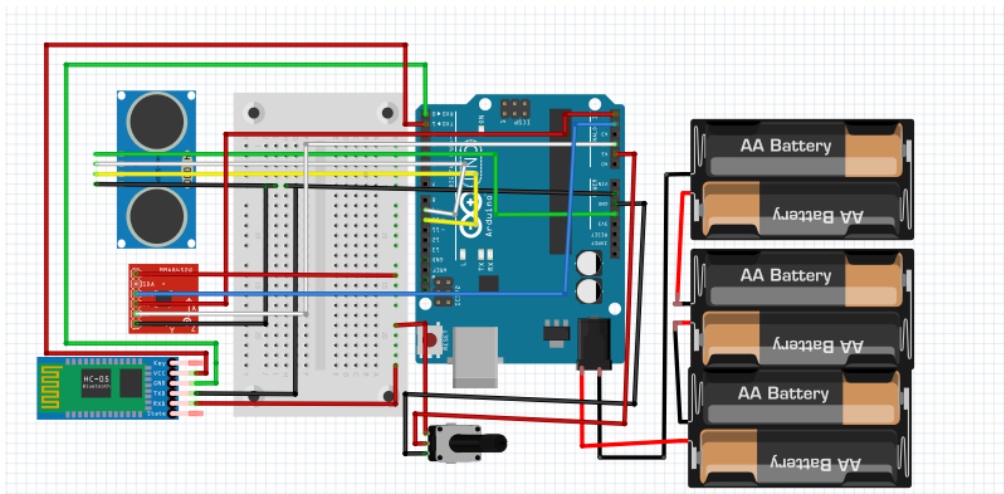


Figure 14 Diagrama de conexiones sistema uno

Este sensor utiliza el siguiente código en Arduino

```
//programa para el modulo 1 de sensores de movimiento
//se probó con un potenciómetro, pero con el LVDT se conecta igual
//hay un error con la configuración del bluetooth.
```

```
#include <SoftwareSerial.h>
#define TxD 1
```

```

#define RxD 0
#define KEY 4
#define VCC 5 //se definen estos pots para habilitar bluetooth

SoftwareSerial Bluetooth (TxD, RxD); //se define los pots que usara el
bluetooth

const int trigPin = 9;
const int echoPin = 10;
const int xpin = A3;
const int ypin = A5;
const int zpin = A1;
long duration;
int distance;
int potPin = A0;
int val = 0;
int xping = 0;

void setup() {

  Bluetooth.begin (9600);
  pinMode (KEY,OUTPUT);
  pinMode (VCC,OUTPUT);

  digitalWrite (KEY, HIGH);
  digitalWrite (VCC, LOW);

  digitalWrite (VCC, HIGH); //esto comando debieran activar el bluetooth
  // el bluetooth debe estar apagado al subir el programa, solo hay que
  //desconectar de VCC, al conectar hay que presionar el boton de encendido.
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);

  Serial.begin(9600);
}

void loop() {

  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds (1.00);

  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds (5.00);
  digitalWrite(trigPin, LOW);

  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  distance = duration*.34/2;
  val = analogRead(potPin)/4;
  xping = analogRead(xpin)/1000;

```

```

    if(distance < 0){

        distance = -1;
    }
    if(distance > 150){

        distance = 160;
    }

    Serial.print(analogRead (xpin));
    Serial.print(" "); //el espacio cambia de variable
    Serial.print(analogRead(ypin));
    Serial.print(" ");
    Serial.print(analogRead(zpin));
    Serial.print(" ");
    Serial.print(distance);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(val);
    Serial.print(" ");
    Serial.println(0); // es el enter, o sea escribe todo en el siguiente
    region.

    delay(20); //Serial.print(20);

}

//fin de programa

```

El sensor ultrasónico mide distancia de 0 a 160 mm de distancia. el módulo bluetooth no pudo transmitir datos, por un error de programación, no de funcionamiento, el código anterior si incluye la librería del módulo de bluetooth, para las pruebas, se intercambi6 el sensor LVDT por un potenciómetro de 100 k ohm.

Con el programa anterior, se obtiene una gráfica como la siguiente:

Leyenda	
Azul	Eje X
Rojo	Eje Y
Verde	Eje Z
Naranja	Ultrasonico
Morado	Potenciometro
Negro	cero

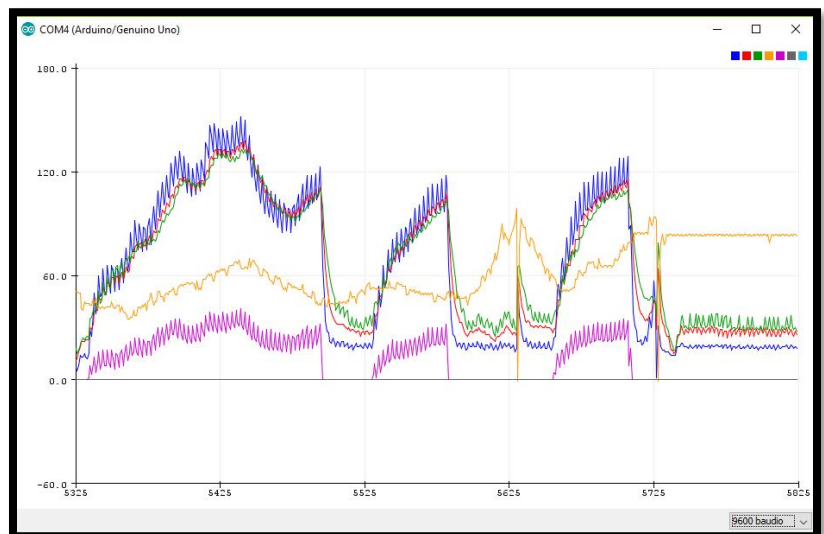


Figure 15 Gráfica de datos de arduino

El sensor más complejo en este módulo es el LVDT (Mike's Flight Deck, 2017), ya que no cuenta con ningún microcomponente hasta la recepción de datos en Arduino, este sensor necesita una fuente de voltaje alterna, por esta razón el sensor LVDT no se pudo probar porque no hay una fuente como esta en ITESO, y construir una no era parte de este proyecto de aplicación profesional.

13.b Sensor LVDT

El Transformador Diferencial Variable Lineal por sus siglas LVDT es un sensor que da una señal de salida de voltaje proporcional al desplazamiento de un núcleo de acero dentro de un embobinado de tres bobinas con la siguiente disposición.

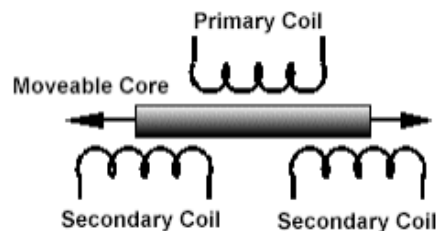


Figure 16 sensor LVDT (LabSen, 2017)

Para conocer la salida de voltaje es necesario procesar la señal, esto se hizo con el siguiente circuito:

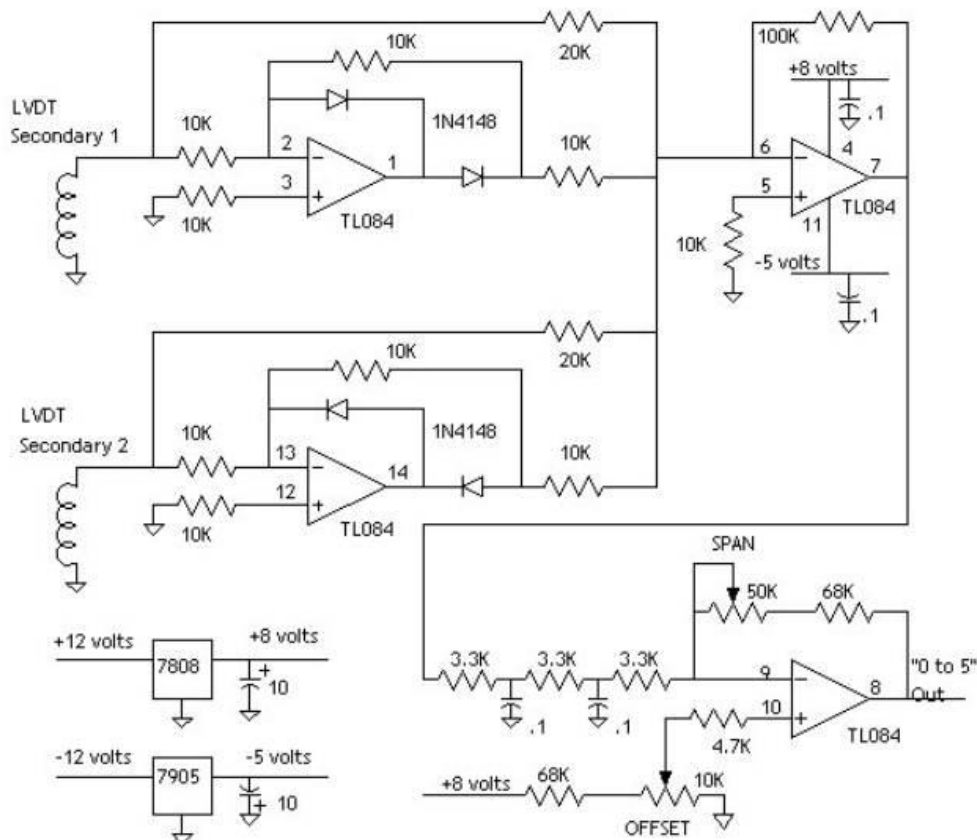


Figure 17 Diagrama esquemático de circuito LVDT

13.c Sistema dos

El sistema dos consiste en una celda de carga que puede cargar hasta 2 toneladas, sin embargo, no se pudieron hacer pruebas suficientes.



Figure 18 prueba de celda de carga

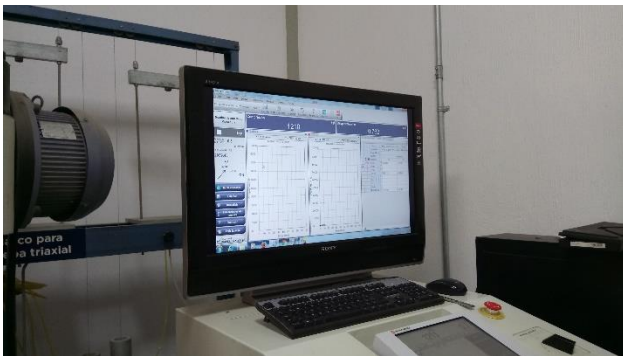


Figure 19 prueba de celda de carga

13.d Celda de Carga

Para su elaboración primero se hizo el diseño en Catia, y se hizo un análisis estructural, a modo de prueba virtual. En la prueba virtual, lo que se buscaba era que la deformación unitaria de la celda, no fuera mayor a la deformación permitida por la galga extensiométrica, la cual tenía una deformación máxima del 5% de su longitud total, 6mm, lo que da una elongación máxima de 0.3 mm

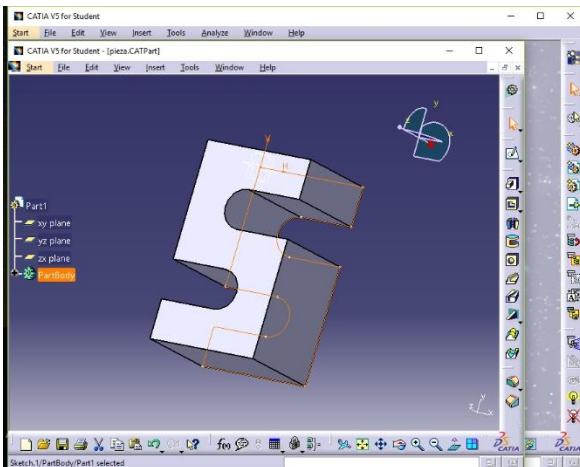


Figure 20 Captura de pantalla de diseño en Catia

Para pegar la galga extensiométrica se siguió el siguiente procedimiento:

1. limpiar la superficie con un desengrasante, como yo tenía a la mano des manchador de ropa, ese fue el que use.
2. lijar la superficie con una lija de grano grueso
3. limpiar la superficie con una toalla de papel
4. aplicar acetona pura a la superficie y lijar con una lija de agua.
5. limpiar la superficie con papel, en una sola dirección y cada vez con un papel nuevo para evitar contaminación.
6. aplicar alcohol sobre la superficie y volver a lijar esta vez con una lija de grano muy chico, yo use una 1000.
7. limpiar la superficie con gasa estéril, en una sola dirección y cada vez con gasa limpia.
8. la superficie debe ahora neutralizarse, esto lo hice aplicando mucha agua destilada sobre la superficie y dejando que se secase sola para evitar contaminación, la pieza se secó en cuestión de segundos.
9. se hace una marca con pluma de la posición de la galga.
10. se toma la galga con cinta adhesiva y se coloca en la posición adecuada.
11. se levanta la galga dejando una parte de la cinta pegada, se coloca un poco de cianocrilato debajo de la galga y se vuelve a colocar.
12. se presiona con el dedo por unos 20 segundos.
13. se desprende la cinta cuidadosamente
14. se soldan los cables a las terminales de la galga
15. se cubre con metacrilato para proteger la galga.

Para evitar la contaminación de la gaga es importante el uso de guantes y cubre boca.

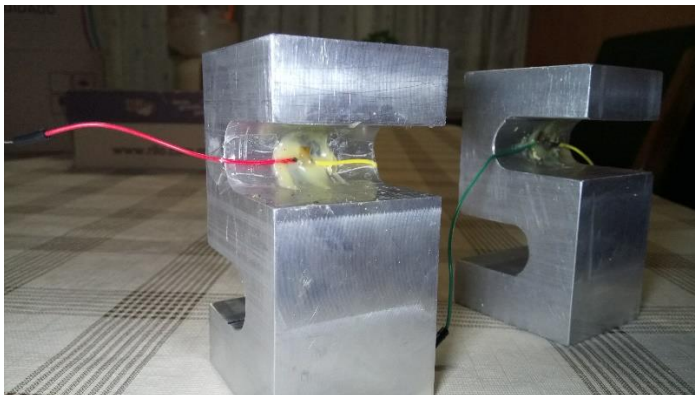


Figure 21 Galga extensiométrica en celda de carga

Una vez hecha la celda se le pego su galga, se elaboró un puente de Wheatstone

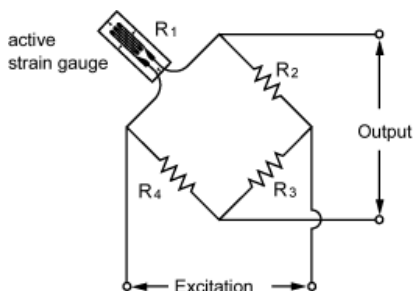


Figure 22 Puente de wheatstone (Seorank, 2017)

Y se conectó a un módulo HX711 este, es un amplificador de señal, es necesario aumentar la salida del puente de wheatstone, porque la variación de resistencia es muy pequeña, el módulo la aumenta y así es posible obtener una lectura.

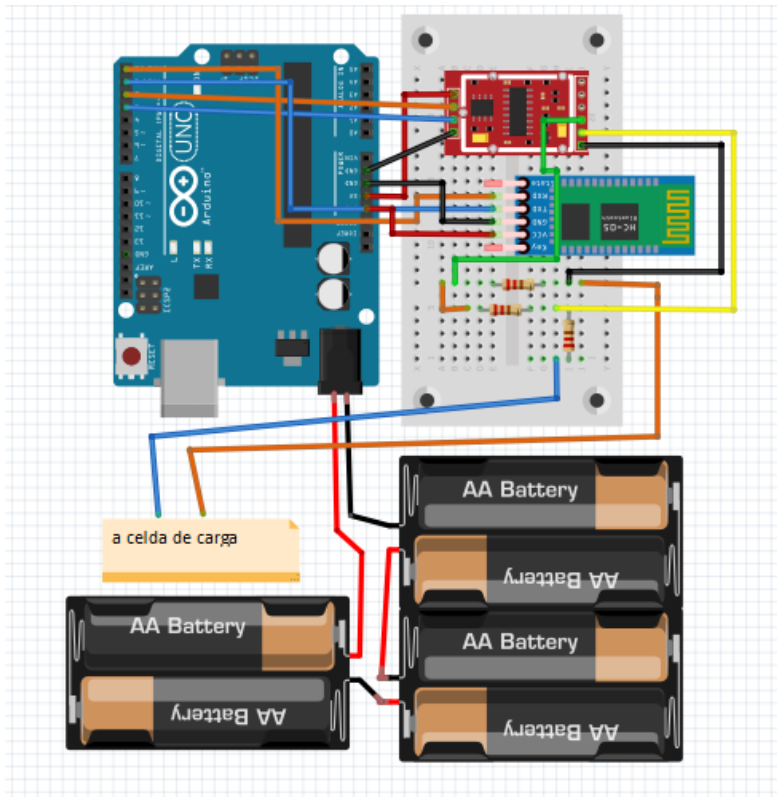


Figure 23 Diagrama de conexiones de sistema dos

Este sensor debe calibrarse con un valor de carga máxima conocida. Para hacer este código, se utilizó un código cortesía de una licencia beerware, y se le hicieron sus arreglos correspondientes. El código se divide en dos partes, uno calibra la celda de carga, el segundo código se utiliza para obtener mediciones una vez calibrado.

El código para calibrar la celda de carga en Arduino es el siguiente:

```
/*codigo principal basado en el codigo de
 * circuits4you.com
 * 2016 November 25
 * Load Cell HX711 Module Interface with Arduino to measure weight in Kgs
 Arduino

pin
2 -> HX711 CLK
3 -> DOUT
5V -> VCC
GND -> GND
```

En realidad, se puede usar cualquier pin disponible para Arduino uno, ya que son compatibles con DOUT/CLK.

El módulo HX711 puede alimentarse desde 2.7V a 5V así que cualquier pin de alimentación de Arduino funcionara.

*/

```
#include "HX711.h" //esta libreria viene incluida en Arduino.
```

```
#define DOUT 3
```

```
#define CLK 2
```

```
HX711 scale(DOUT, CLK);
```

```
//float calibration_factor = -96650; //este dato es temporal se cambiara en el siguiente codigo
```

```
void setup() {
```

```
    Serial.begin(9600);
```

```
    Serial.println("calibracion de HX711");
```

```
    Serial.println("Quita cualquier peso de la celda");
```

```
    Serial.println("Coloca peso conocido");
```

```
    Serial.println("Presiona las teclas a,s,d,f para aumentar el factor de calibracion por un factor de 10,100,1000,10000 respectivamente");
```

```
    Serial.println("Presiona las teclas z,x,c,v para disminuir el factor de calibracion por un factor de 10,100,1000,10000 respectively");
```

```
    Serial.println("Press t para indicar calibrar cero");
```

```
    scale.set_scale();
```

```
    scale.tare(); //Reset the scale to 0
```

```
    long zero_factor = scale.read_average();
```

```
    Serial.print("Zero factor: "); //esto se usa para fijar el cero, quiere decir en cuanto empieze el programa lo que este en la celda automaticamente se considera el cero, hay que tener cuidado que en este momento en cuanto se corre el programa la celda este en la posicion correcta y NO tenga nada de carga.
```

```
    Serial.println(zero_factor);
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
    scale.set_scale(calibration_factor); //se calibrara la celda con este factor de calibracion
```

```
    Serial.print("Reading: ");
```

```
    Serial.print(scale.get_units(), 3);
```

```
    Serial.print(" kg"); // de este modo el resultado automaticamente nos da el resultado con unidades.
```

```
    Serial.print(" calibration_factor: ");
```

```
    Serial.print(calibration_factor);
```

```
    Serial.println();
```

```
    if(Serial.available())
```

```
    {
```

```
        char temp = Serial.read();
```

```
        if(temp == '+' || temp == 'a')
```

```
            calibration_factor += 10;
```

```

    else if(temp == '-' || temp == 'z')
        calibration_factor -= 10;
    else if(temp == 's')
        calibration_factor += 100;
    else if(temp == 'x')
        calibration_factor -= 100;
    else if(temp == 'd')
        calibration_factor += 1000;
    else if(temp == 'c')
        calibration_factor -= 1000;
    else if(temp == 'f')
        calibration_factor += 10000;
    else if(temp == 'v')
        calibration_factor -= 10000;
    else if(temp == 't')
        scale.tare(); //Reset the scale to zero
}
}

```

Una vez calibrada la celda de carga, se obtiene el factor de calibración, el cual se debe de incluir en la parte de código: float calibration factor, que se indica en el código.

```

/* Codigo adaptado del codigo por
 * circuits4you.com
 * 2016 November 25
 * Load Cell HX711 Module Interface with Arduino to measure weight in Kgs
 Arduino
 pin
 2 -> HX711 CLK
 3 -> DOUT
 5V -> VCC
 GND -> GND

```

En realidad se puede usar cualquier pin disponible para arduino uno, ya que son compatibles con DOUT/CLK.

El modulo HX711 puede alimentarse desde 2.7V a 5V asi que cualquier pin de alimentacion de Arduino funcionara.

*/

```

#include "HX711.h" //esta libreria esta incluida en Arduino

```

```

#define DOUT 3
#define CLK 2

```

```

HX711 scale(DOUT, CLK);

```

```

float calibration_factor = -96650; // iii cambia este factor por el obtenido
en el codigo anterior iiii

```

```

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    Serial.println("Presiona T para indicar el cero");
}

```

```

    scale.set_scale(-96650); // iii cambia este factor por el obtenido en
    el codigo anterior iiii
    scale.tare();           //regresa la balanza a cero
}

void loop() {
    Serial.print("Peso: ");
    Serial.print(scale.get_units(), 3); //dara hasta 3 decimales
    Serial.println(" kg");

    if(Serial.available())
    {
        char temp = Serial.read();
        if(temp == 't' || temp == 'T')
            scale.tare(); //regresa la balanza a cero
    }
}

```

Después de probar la celda de carga, si el valor conocido no es el que presenta la balanza, el problema es con el código, no con la celda, en ese caso habría que hacer un ajuste matemático, solo habría que multiplicar, en el segundo código el factor de calibración por el factor de ajuste.

Si la balanza da datos negativos, entonces hay que cambiar las conexiones a la alimentación del hx711.

13.e Recolección de datos

Aunque Arduino nos muestra los datos de adquiridos a través de los sensores, se estudió una forma en que se pueden obtener datos a través de Matlab utilizando la herramienta de **Simulink**.

Matlab resulto ser un programa muy difícil de utilizar, por la complejidad de la instalación y por los requerimientos del sistema para funcionar, me fue imposible que funcionara en mi computadora personal y tuve que buscar otra opción para instalarlo, las computadoras de la sala T del ITESO, no corren Simulink.

En el poco tiempo con que dispuse de Simulink, pude obtener el siguiente modelo que adquiere datos de un potenciómetro, muestra la gráfica y captura los datos a manera de matriz. El proyecto de Simulink se ve así:

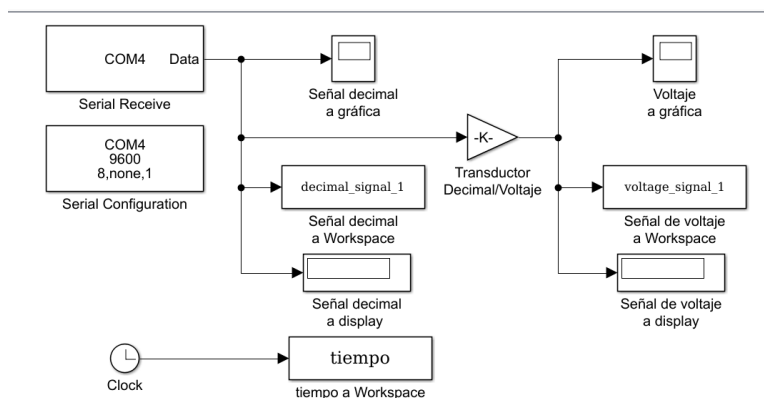
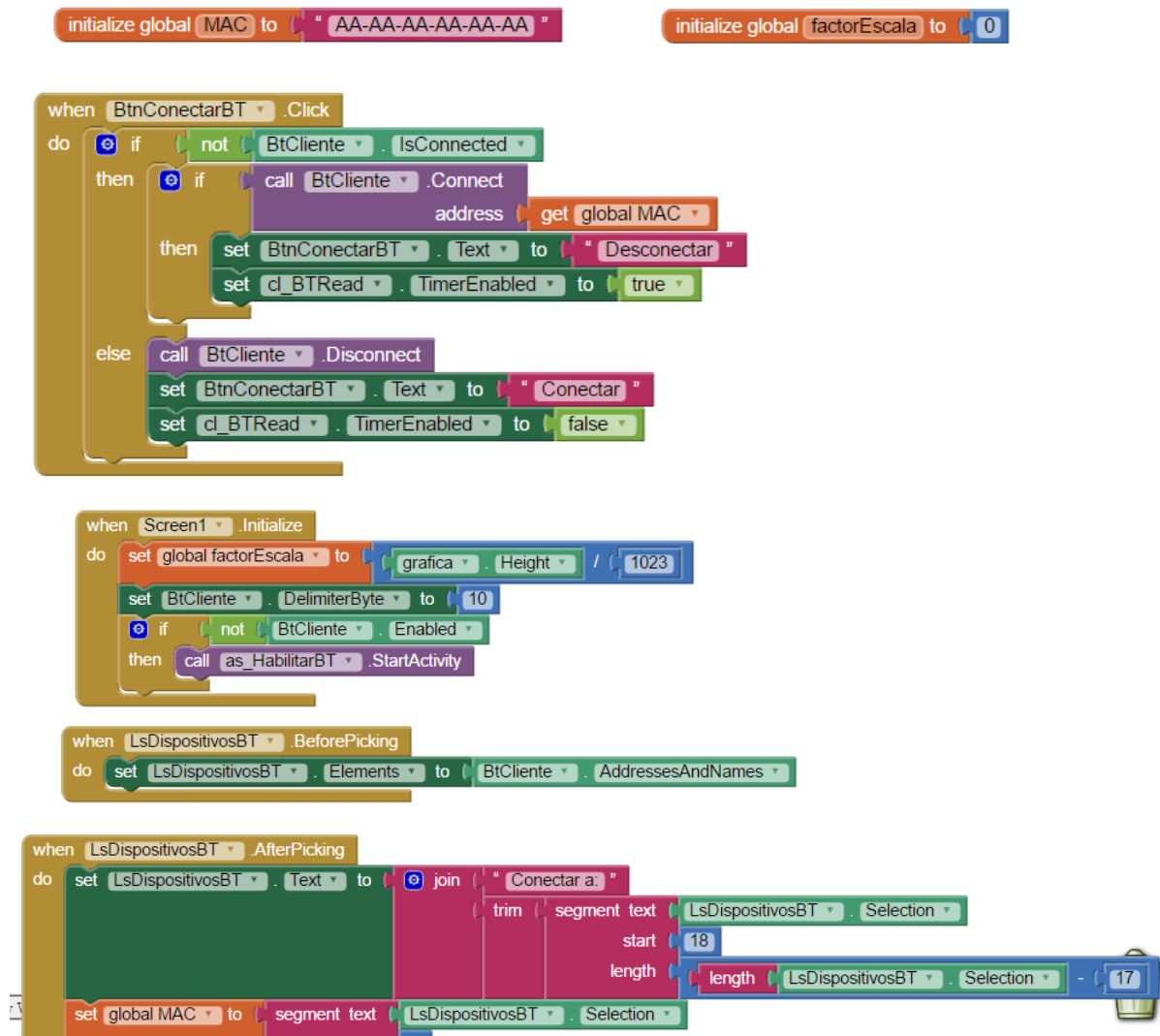
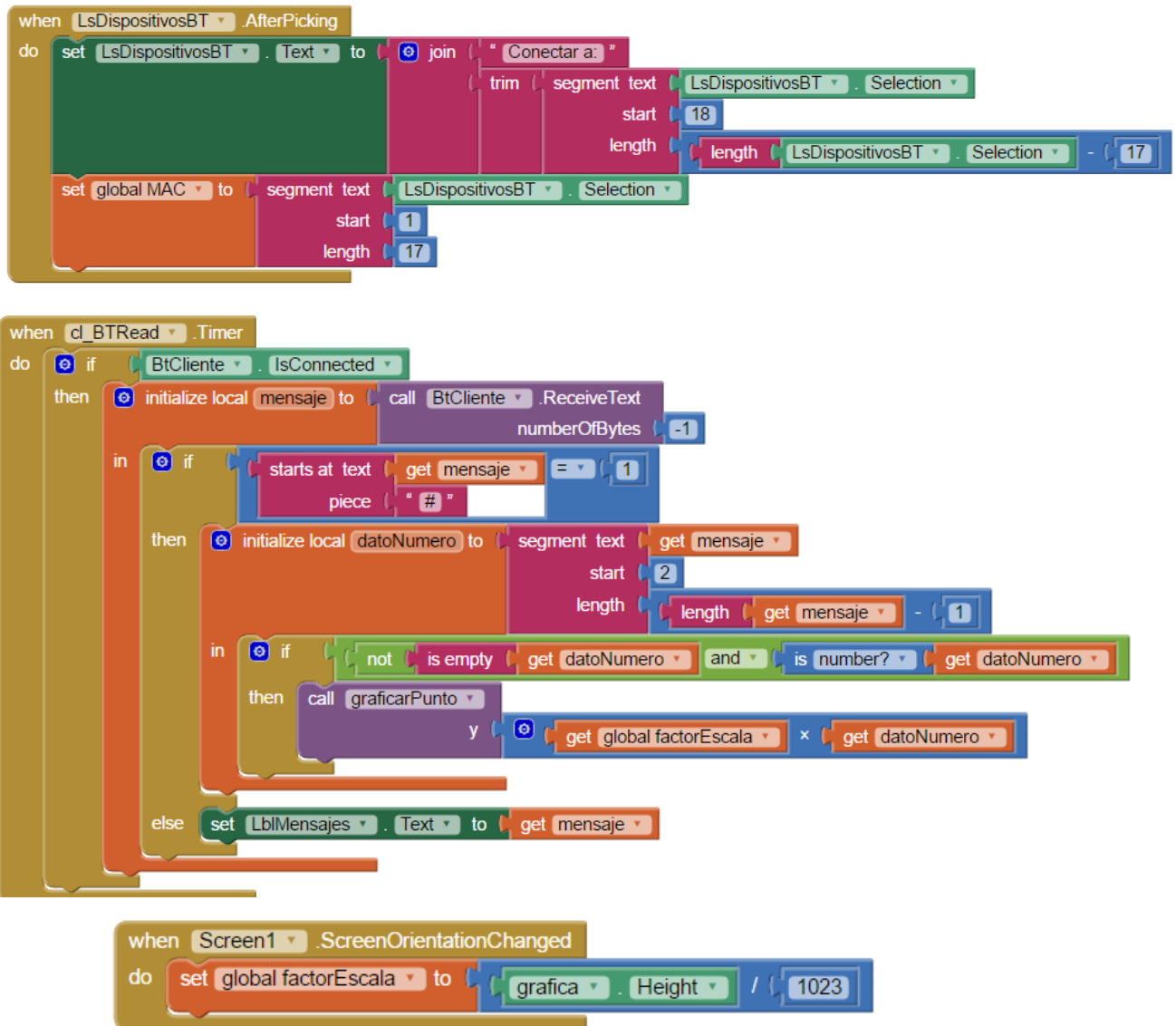


Figure 24 Programa de simulink

Con más tiempo o un proyecto posterior, se podría programar Simulink para recibir todos los datos vía bluetooth.

El módulo bluetooth se agregó a todos los módulos, porque la intención era poder Enviar datos, y se creó una aplicación en MIT app inventor con los siguientes bloques de códigos:





se aprovechó la comunidad programadora de internet para construir el código, se aprovecharon los siguientes links a video tutoriales, Tutorial Arduino Bluetooth HC-05 con Android usando App Inventor PARTE 2 y TutoArduino: Recibir datos desde Arduino en Dispositivo Android [Tutorial 2/2].

Y se verificó el código con varios usuarios, y se sugirió que la falla tenía que ver con la programación del bluetooth en sí, el cual parece no estar configurado como esclavo o hay un problema con la velocidad de transmisión que no corresponde a 9600 baudios.

13.f Costo real por sistema.

13.f.i Modulo uno

Componente	cantidad	Costo
Sensor ultrasónico HC SR04	1	\$64
Protoboard	1	\$54
Acelerómetro	1	\$323
Bluetooth HC05	1	\$257
Potenciometro	1	\$5
Arduino uno	1	\$ 259
Cables dupont	12	\$ 24
Baterías	6	\$ 30
Costo total		\$1016

13.f.ii Sensor LVDT

Componente	Cantidad	Costo
Protoboard grande	1	\$84
Protoboard chico	1	\$54
Resistencias	21	\$42
Diodos	4	\$6
Potenciómetros	2	\$4
Integrados	3	\$24
Transistores	2	\$15
Baterías	16	\$80
Costo total		\$309

13.f.iii Modulo 2

Componente	cantidad	Costo
Protoboard	1	\$54
resistencias	3	\$6
Bluetooth HC05	1	\$257
Amplificador Hx 711	1	\$ 65
Arduino uno	1	\$ 259
Cables dupont	14	\$ 28
Baterías	6	\$ 30
Costo total		\$699

13.f.iv Celda de Carga

Componente	cantidad	Costo
Pieza de Aluminio 6061	2	\$250
Cables dupont	4	\$8
Cianocrilato	frasco	\$80
Metacrilato	tubo	\$934
Pistola de aplicación	1	\$1,659
Costo total		\$2931

Costo total del proyecto	\$ 4,955
---------------------------------	-----------------

13.g Costos adicionales a considerar

No se considera en el costo de los sensores material de reusó como soportes, tablas, cables, tubos, material de uso común como cinta, pegamento liquido pintura, gasas, alcohol, soldadura y tampoco están considerados costos como mano de obra e inversión de tiempo.

Las galgas extensiométricas son otro elemento con un costo a considerar, su costo actual es alrededor de \$70 pesos cada galga, y esta inversión no se realizó en este PAP porque fueron proporcionadas por el ITESO.

Aunque en su mayoría se usó software libre y se puede descargar gratuitamente el software de open source se apoya en aportaciones voluntarias de parte de los usuarios, yo compre mi software Arduino por 3USD y **Fritzing** por 1USD.

Si se quiere usar Matlab, se recomienda solo si se es estudiante del ITESO, porque se puede descargar a través de Citrix, pero de otro modo, el programa cuesta 2150 USD y Simulink 3250 USD, por lo que no es una opción viable fuera del ámbito universitario.

14. Conclusiones

Después de la investigación que se realizó para este proyecto, no cabe duda de que es posible realizar este sistema de sensores, sin embargo, es un proyecto que requiere de conocimiento técnico en muchas áreas, se requiere un amplio conocimiento de programación en diferentes lenguajes, se requiere tener conocimientos avanzados de electrónica y de mecánica de materiales y conocimientos básicos de maquinados. También es necesario algo de destreza y habilidad manual. El proyecto no tuvo los resultados deseados, en gran parte porque no se contaban con el conocimiento necesario en muchas de los procesos, y el tiempo del proyecto no fue suficiente para dominar todas las áreas, sería posible terminar este proyecto con una extensión de tiempo y también sería muy útil contar con más integrantes de modo que el proyecto fuera llevado a cabo por un grupo de estudiantes especializados en diferentes áreas.

La aportación de un ingeniero electrónico resultaría en mejores circuitos, mas pequeños, incluso elaborados con tarjetas perforadas y se podría prescindir del Arduino para poner un microchip.

La aportación de un ingeniero en sistemas resultaría en la implementación efectiva de códigos que permitan procesar los datos adecuadamente de modo que se pueden recibir tanto en la computadora como en un dispositivo móvil.

Como conclusión personal; yo aprendí mucho de este proyecto, por primera vez construí un circuito en un protoboard y hacia el final del proyecto ya podía tener una idea de que hacia un código con solo leerlo.

Resulta interesante como estas tres disciplinas hacen sinergia para obtener un producto practico y versátil

Por último me sorprendí al participar de manera aunque muy pequeña en la enorme comunidad de software abierto, y espero poder seguir participando en el futuro en otros proyectos que llamaron mi atención.

15. Anexos

15.a Contenido de USB

Se anexo un USB con los programas mencionados en el reporte.
contenidos del USB:

Nombre	Tipo de archivo	Descripcion
Reporte PAP.pdf	Documento pdf	El reporte del PAP
Bitacora PAP.pdf	Documento pdf	Bitácora de actividades del PAP
Sensorespap.ino	Código arduino	Programa que recibe y grafica datos de tres sensores, un ultrasónico, un potenciómetro y un acelerómetro. También debe transmitir por bluetooth
Calibración.ino	Código arduino	Programa que sirve para obtener el factor de calibración del modulo HX711
Medición.ino	Código arduino	Programa que da la medición de la celda de carga una vez obtenido el factor de calibración
Blue.ino	Código arduino	Programa simple que envía datos de un potenciómetro por blue tooth a una aplicación appinventor con el mismo nombre
Blue.aia	MIT app inventor 2	Programa de app inventor que recibe datos de arduino programado con archivo del mismo nombre.
Potenarduino.ino	Código arduino	Programa simple que envía grafica de datos obtenidos de un potenciómetro por medio de bluetooth a una aplicación appinventor con el mismo nombre
Potenarduino.aia	MIT app inventor 2	Programa de app inventor que recibe datos de arduino programado con archivo del mismo nombre.
ArduinoSmlnk.skl	Proyecto simulink	Proyecto de simulink que programa el arduino y recibe datos. Grafica en pantalla y recupera datos a modo de matriz.

15.b Otro software utilizado

15.b.i Fritzing

Otro software, open source, que se utilizó para este proyecto fue fritzing, diseñado en Alemania, fritzing permite hacer diagramas de componentes electrónicos de manera sencilla y práctica, todos los esquemas de este reporte fueron elaborados con fritzing.

15.b.ii Catia

Catia es un Software de diseño y Dibujo mecánico desarrollado por la misma compañía de Solidworks, Dassault Systemes.

15.b.iii Capturas de Pantalla de Catia

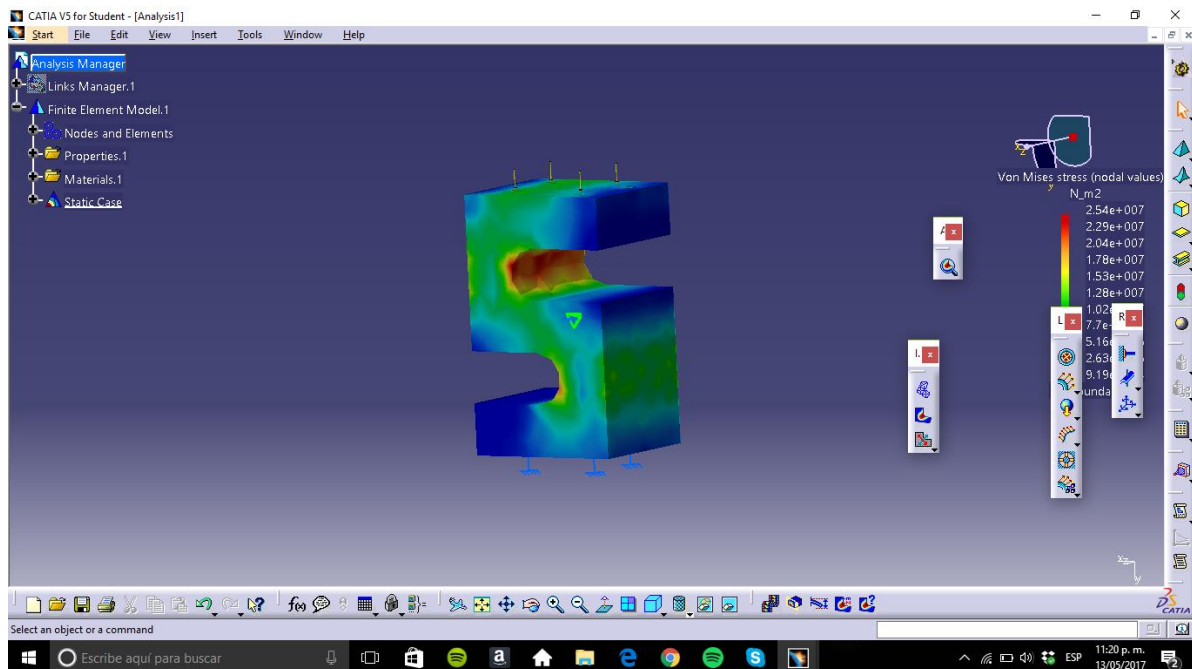


Figure 25Captura de pantalla de Catia

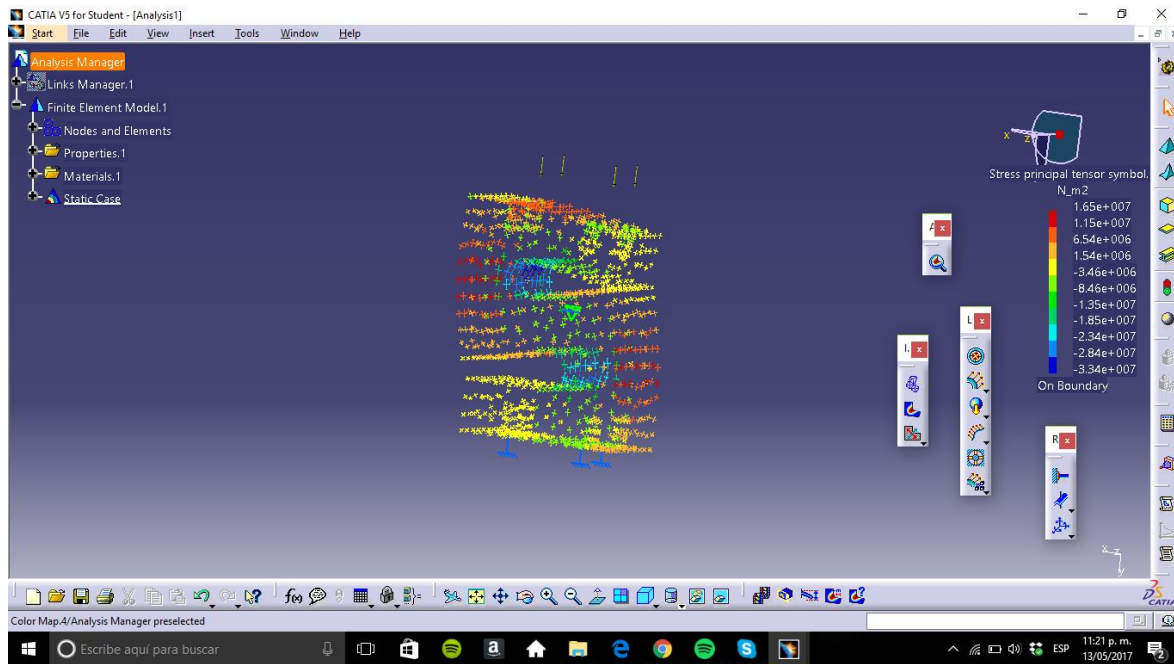


Figure 26 Captura de pantalla de Catia

16. Referencias Tablas e imágenes:

Kaley, V. (2001) *Venu Bharati*. Maharastra, India, Aroop Nirman.

MCingenieria (2010) Celda de carga neumática. Tomado de: <http://mcingenieria.blogspot.mx/p/sensores.html>

Otero, P. (2007). *Diseño y Construcción de una Balanza Electrónica con una Interfaz Gráfica para Visualización* (Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero en electrónica y control). Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, Quito.

Idrovo, P & Quintanilla, L. (2010) *Aplicación de galgas extensiométricas en el laboratorio de mecánica de la carrera de ingeniería mecánica para la obtención de deformaciones en elementos sometidos a cargas combinadas*, (tesis de grado previo a la obtención del título de ingeniero mecánico) Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador.

Forsentek. Celda de carga de compresión. Tomada de <http://www.forsentek.com>

Celda de Carga. Celda de carga tipo s. Tomada de <http://celdas-de-carga-tipo-s.celadecarga.com/celda-de-carga-tipo-s-marca-sensortronics-modelo-60063-capacidades-maximas-500lb-a-20k/>

Techmatic. Celda de carga a flexión de viga. Tomada de <http://www.techmatic.cl/celda.html>

Tostratonic. Module de Bluetooth Arduino HC-05. Tomada de <http://tostratonic.com/store/arduino/36-bluetooth-master-hc-05-arduino.html>

HetPro. Acelerometro de 3 ejes. Tomado de <https://hetpro-store.com/acelerometro-3-ejes-gy-61-adxl335/>

Solartronmetrology. Sensor LVDT. Tomada de <http://www.solartronmetrology.com/products/absolute-displacement-transducers-lvdt/absolute-lvdt-op.aspx>

App Inventor, Logo de MIT app inventor. Tomado de <http://appinventor.mit.edu/explore/>

Mathworks, Logo de Matlab. Tomado de <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

Laboratorio de Sensores e Instrumentación Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Córdoba. Sensor LVDT. Tomada de <http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/>

Seorank tool online, Puente de wheatstone. Tomado de <http://seorank.info/viewgallery/26902.htm>

17. Referencias Bibliográficas:

Espinoza, M. (1995) *Diseño y construcción de una celda de carga*. (Tesis en opción del grado de maestro en ciencias de la ingeniería mecánica con especialidad en diseño mecánico). Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

Salazar, L. (2013) *Diseño e implementación de la automatización del sistema de dosificación de granulo mineral en costales de 50 kilos para la empresa imbapetros*. (Proyecto de grado para la obtención del título de ingeniería) Escuela politécnica del ejército, Ecuador.

El Diario. (2014) Hoja de Router, Tecnología, Así funcionan las tripas de tu móvil: el acelerómetro, un sensor que te puede salvar la vida. Madrid, España., Eldiario.es. Recuperado de <http://www.eldiario.es/hojaderouter/tecnologia/acelerometro-funciones-giroscopio-GPS-interior-magnetometro-sensor-sensor-de-humedad-sensor-de-temperatura-telefono-movil-0-275772515.html>

Allen-Bradley. (2017) Sensores Ultrasónicos. Milwaukee, EEUUAA., Rock-well automation. Recuperado de <http://ab.rockwellautomation.com/es/Sensors-Switches/Ultrasonic-Sensors>

Proyecto Arduino. (2017) ¿Qué es Arduino?. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de <https://proyectoarduino.wordpress.com/%C2%BFque-es-arduino/>

App Inventor, (s.f.). En *Wikipedia*. Recuperado el 9 de marzo del 2017 de https://es.wikipedia.org/wiki/App_Inventor

HBM, (s.f.) Instalación de galgas extensiométricas con adhesivos. Darmstadt, Alemania. Recuperado de <https://www.hbm.com/es/4637/consejos-y-trucos-instalar-galga-extensom%C3%A9trica-con-adhesivo/>

Mathworks. (2017) Matlab. Natick, Massachusetts, USA. <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

GiyHub. (2016). The State of Octoverse 2016. Recuperado de <https://octoverse.github.com>

Reyes Cortes F. & Cid Monjaraz J., (2015). *ARDUINO aplicaciones en robotica mecatrónica e ingenierias*, Mexico D.F., Mexico, Alfaomega Grupo Editor.

John M. Powell (2017) Mikes Flight Deck. <http://www.mikesflightdeck.com>

TutoArduino. [Wolf MTX]. (2014, Julio 13) TutoArduino: Recibir datos desde Arduino en Dispositivo Android [Tutorial 2/2]. [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=3SECsUqlc5k&t=101s&list=PLXVVS7OwopoV8nXvMU8aUbSzWMOFG4ZX&index=6>

Gadgetas. [Gadgetas]. (2016, Junio 3) Tutorial Arduino Bluetooth HC-05 con Android usando App Inventor PARTE 2.[Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=ahLRvFs-u0&list=PLXVVS7OwopoV8nXvMU8aUbSzWMOFG4ZX&index=2&t=196s>

