

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  
ESCUELA POLITÈCNICA SUPERIOR DE ALCOY



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

**TRABAJO FIN DE GRADO**  
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE BAJO  
COSTE PARA LA MEDICIÓN DE PAR Y VELOCIDAD”

**Autor:**

Jose Enrique Cremades Sala

**Dirigido por:**

Dr. Samuel Sánchez Caballero

**Septiembre 2018**



A Joana,  
cuyos ánimos me han permitido finalizar este proyecto.

A mis padres, Jose Antonio y Mari Carmen,  
que me dieron todo lo que un hijo desea tener.



# AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su más vivo agradecimiento a Samuel Sánchez Caballero, al Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales y a la empresa “PCS INNOVATIONS” por su ayuda en el proyecto.



# RESUMEN

“Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad”

En el siguiente proyecto, se lleva a cabo el desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad para máquinas y/o mecanismos, con el objetivo de proporcionar los datos de salida, par y velocidad, con su almacenamiento del archivo en un bloc de notas, y que el equipo sea totalmente autónomo.

Este sistema de adquisición de datos se utilizará para detectar posibles anomalías y aumentar el rendimiento de la máquina o mecanismo. Así pues, se realiza un análisis de los resultados obtenidos.

En la actualidad, los estudios realizados para el control de este tipo de adquisiciones aportan mucha información sobre las diferentes adquisiciones de datos para mediciones en el campo industrial.

Se desarrolla una introducción, con justificación académica y técnica, y con los objetivos del proyecto. Además, se realiza un estudio de mercado.

Por otro lado, se analizarán todos los componentes que se requieren para el sistema de adquisición de datos, para el correcto funcionamiento del equipo. Además, de todos los componentes y/o elementos para acondicionar el sistema de adquisición de datos para diferentes máquinas y/o mecanismos.

Para la elaboración de la programación del sistema de adquisición de datos se utiliza el software Arduino, específico para la programación de este tipo de equipos de adquisición de datos.

Por otro lado, para la elaboración del diseño de la caja del equipo se utiliza el software SolidWorks, ya que es específico para el diseño y modelado de piezas en 3D.

Con el diseño y materiales seleccionados se realizan la simulación estática y de impacto, mediante FEM, con el programa Ansys Workbench 18.2, para analizar las tensiones, deformaciones y el factor de seguridad. Cumpliendo con las exigencias del equipo de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad.

Además, se utilizan otros programas de apoyo para confeccionar y resolver las dificultades encontradas durante el procesamiento del sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad.

Finalmente, se obtienen los resultados obtenidos, el presupuesto y la conclusión del proyecto.



# SUMMARY

“Development of a data acquisition system of low cost for the measurement of torque and speed”

In the next project, is carried out the development of a data acquisition system of low cost for the measurement of torque and speed for machines and/or mechanisms, with the objective of providing data output, torque and speed, with its file storage on a notepad, and that the equipment is completely autonomous.

This data acquisition system will be used to detect possible anomalies and increase the performance of the machine or mechanism. Thus, an analysis of the results is given.

Nowadays, studies conducted for the control of this type of acquisitions provide lots of information about different data acquisitions for measurements in the industrial sector.

Develops an introduction, with academic and technical justification, and with the objectives of the project. In addition, a market study is carried out.

On the other hand, all the components that are required for the system of data acquisition, for the correct operation of the equipment will be analyzed. In addition, the components and/or elements to winterize the system of acquisition of data for different machines and/or mechanisms.

For the elaboration of the programming of data acquisition system is use the Arduino software, specific program for the programming of this type of data acquisition equipment.

On the other hand, SolidWorks software is used for the design of the equipment box, it is a specific program for the design and modeling of 3D parts.

With the design and selected materials, the static and impact simulation is carried out using FEM, with the Ansys Workbench 18.2 program, to analyze the tensions, deformations and the safety factor. Complying with the requirements of low cost data acquisition equipment for torque and speed measurement.

In addition, other support programs are used to prepare and solve the difficulties encountered during the processing of the low cost data acquisition system for the measurement of torque and speed.

Finally, the obtained results, the budget and the conclusion of the project are obtained.



# RESUM

“Desenvolupament d’un sistema d’adquisició de dades de baix cost per a la mesura de par y velocitat”

En el següent projecte, s’elabora el desenvolupament d’un sistema d’adquisició de dades de baix cost per a la mesura de par y velocitat per a màquines y/o mecanismes, amb l’objectiu de proporcionar les dades d’eixida, par y velocitat, amb el guardat de les mesures en un arxiu de bloc de notes y que l’equip siga totalment autònom.

El sistema d’adquisició de dades s’utilitza per a detectar possibles anomalies y augmentar el rendiment de les màquines o mecanismes. Doncs es procedeix a un anàlisi dels resultats obtinguts.

En l’actualitat, els estudis realitzats per al control d’este tipus d’adquisicions aporten molta informació sobre les diferents adquisicions de dades per a mesures del camp industrial.

Es desenvolupa una introducció, amb la seva justificació acadèmica y tècnica, y amb els objectius del projecte. També es realitza un estudi de mercat.

Per altra banda, s’analitzaran tots els components que se requereixen per al sistema d’adquisició de dades, per al correcte funcionament de l’equip. A demés, de tots els components y/o elements per a condicionar el sistema d’adquisició de dades per als diferents tipus de màquines y/o mecanismes.

Per a la elaboració de la programació del sistema de adquisició de dades s’utilitza el software Arduino, específic per a la programació d’este tipus d’equip d’adquisició de dades.

Per altra banda, per a l’elaboració del disseny de la caixa de l’equip s’utilitza el software SolidWorks, clar que es un programa específic per al disseny y modelat de objectes en 3D.

Amb el disseny y materials seleccionats es realitza una simulació estàtica y d’impacte, mediant FEM, amb el programa Ansys Workbench 18.2, per analitzar les tensions, deformacions y el factor de seguretat. Complint amb les exigències de l’equip d’adquisició de dades de baix cost per a la mesura de par y velocitat.

En el projecte s’utilitzen altres programes de suport per a confeccionar y resoldre les dificultats encontrades durant el processament del sistema d’adquisició de dades de baix cost per a la mesura de par y velocitat.

Finalment, s’obtenen els resultats obtinguts, el pressupost y la conclusió del projecte.



# ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XVII
ÍNDICE DE GRÁFICAS .....	XIX
ABREVIATURAS .....	XXI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	3
1.2. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA .....	4
1.3. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA .....	4
1.4. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS .....	5
1.4.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA Y DEFINICIÓN .....	5
1.4.2. TIPOS DE SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS .....	6
1.4.3. PARTES QUE LO CONFORMAN .....	8
1.4.4. SEÑALES FÍSICAS DE ENTRADA/SALIDA .....	9
1.4.5. ARDUINO .....	13
1.4.5.1. ARDUINO - DATE LOGGING SHIELD .....	21
1.4.5.2. COMPONENTES DE CONEXIÓN .....	22
1.4.6. CAJA PARA LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS .....	38
2. ESTUDIO DE MERCADO .....	39
2.1. ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE .....	41
2.2. ANÁLISIS DE LA COMPETENCIA .....	42
2.3. DETERMINACIÓN DEL SEGMENTO DE MERCADO .....	45
3. REQUISITOS Y ESPECIFICACIONES .....	47
3.1. REQUISITOS DEL EQUIPO PARA SU FUNCIONAMIENTO .....	49
3.1.1. MONTAJE DE LA CÉLULA DE CARGA .....	49
3.1.2. MONTAJE DEL SENSOR DE EFECTO HALL .....	49
3.1.3. SISTEMA DE CONTROL .....	50
3.1.4. OTRAS CONSIDERACIONES .....	50
4. DESARROLLO DEL EQUIPO DE ADQUISICIÓN DE DATOS .....	51
4.1. NORMATIVA APLICABLE .....	53
4.2. FASE DE DISEÑO .....	54
4.2.1. CAJA ARDUINO .....	55

4.2.2.	CIRCUITO ELÉCTRICO.....	56
4.2.3.	PROGRAMACIÓN.....	58
4.3.	SELECCIÓN DE MATERIALES. ....	58
4.3.1.	MATERIALES DE LA CAJA ARDUINO. ....	58
4.4.	ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE ESTADOS TENSIONALES.....	59
4.4.1.	ANÁLISIS DE IMPACTO. ....	60
4.5.	SIMULACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (FEM).....	61
4.5.1.	SIMULACIÓN DE IMPACTO. ....	61
4.6.	FABRICACIÓN.....	69
4.6.1.	IMPRESIÓN 3D. ....	69
5.	APLICACIÓN.....	73
5.1.	CÁLCULOS. ....	75
5.2.	FASE DE DISEÑO. ....	79
5.2.1.	PIEZAS MONTAJE CÉLULA DE CARGA.....	79
5.3.	SELECCIÓN DE MATERIALES. ....	83
5.3.1.	MATERIALES DE LA PIEZAS DE MONTAJE DE LA CÉLULA DE CARGA. ....	83
5.4.	ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE ESTADOS TENSIONALES.....	84
5.4.1.	ANÁLISIS ESTÁTICO.....	85
5.5.	SIMULACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (FEM).....	85
5.5.1.	SIMULACIÓN ESTÁTICA. ....	85
5.6.	FABRICACIÓN.....	94
5.6.1.	TORNEADO.....	94
5.6.2.	FRESADO. ....	96
6.	RESULTADOS OBTENIDOS.....	99
6.1.	CALIBRACIÓN DE LA CÉCULA DE CARGA. ....	101
6.1.1.	POR PUNTOS DE LECTURA. ....	101
6.1.2.	MEDIA DE CADA VALOR DE LECTURA. ....	106
6.2.	CALIBRACIÓN DEL SENSOR DE EFECTO HALL. ....	111
6.3.	ENSAYO DEL EQUIPO. ....	114
7.	PRESUPUESTO.....	119
7.1.	COSTE DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS. ....	121
7.2.	COSTE DE LA APLICACIÓN.....	122
7.2.1.	COSTE DE MATERIA PRIMA.....	122

7.2.2. COSTE DE COMPONENTES.....	123
7.2.3. COSTE DE FABRICACIÓN. ....	123
7.2.4. COSTE TOTAL. ....	124
7.3. PRESUPUESTO TOTAL. ....	124
8. CONCLUSIÓN DEL PROYECTO .....	125
9. BIBLIOGRAFÍA .....	129
9.1. LIBROS Y PUBLICACIONES.....	131
9.2. DOCUMENTOS ELECTRÓNICOS O PÁGINAS WEB. ....	132
10. APÉNDICES.....	135
10.1. NORMAS UTILIZADAS. ....	137
10.2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS. ....	139
10.3. INFORMACIÓN MOTORES TRIFÁSICOS.....	141
10.4. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN. ....	142
10.5. PLANOS ACOTADOS Y ELÉCTRICOS.....	150



# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Partes que conforman un sistema de adquisición de datos (DAQ).....	8
Figura 2: Representación de una señal analógica.....	10
Figura 3: Características principales de una onda sinusoidal.....	11
Figura 4: Señal digital.....	11
Figura 5: Impulso positivo de una señal digital.....	12
Figura 6: Impulso negativo de una señal digital.....	12
Figura 7: Arduino Uno Wifi.....	13
Figura 8: Arduino MEGA.....	14
Figura 9: Arduino Nano.....	14
Figura 10: Arduino Duemilanove.....	14
Figura 11: Arduino Diecimila.....	15
Figura 12: Arduino Pro.....	15
Figura 13: Arduino Pro mini.....	16
Figura 14: Arduino Lilypad.....	16
Figura 15: Partes del Arduino Uno.....	16
Figura 16: Partes del Arduino Mega.....	17
Figura 17: Alimentación del Arduino Uno Wifi.....	19
Figura 18: Entradas y salidas digitales de la placa del Arduino Uno Wifi.....	19
Figura 19: Entradas analógicas de la placa del Arduino Uno Wifi.....	20
Figura 20: Date Logging Shield.....	22
Figura 21: Fuente de alimentación AC-DC.....	23
Figura 22: Fusible encapsulado de vidrio.....	24
Figura 23: Portafusible .....	24
Figura 24: Simbología de fusibles.....	25
Figura 25: Potenciómetro de mando giratorio.....	26
Figura 26: Potenciómetro de mando deslizante.....	26
Figura 27: Potenciómetro de mando de ajuste.....	27

Figura 28: Potenciómetro de variación lineal.....	27
Figura 29: Potenciómetro de variación logarítmica.....	28
Figura 30: Potenciómetro digital.....	28
Figura 31: Simbología del potenciómetro.....	28
Figura 32: Otra simbología del potenciómetro.....	29
Figura 33: Display LCD de línea.....	29
Figura 34: Display LCD en matriz de puntos.....	31
Figura 35: Display LCD OLED.....	31
Figura 36: Sensor de efecto hall KY-003.....	32
Figura 37: Kit de comunicación simple, mando con XY-DJM-5V.....	33
Figura 38: Célula de carga modelo 333.....	35
Figura 39: Dimensiones célula de carga modelo 333.....	35
Figura 40: Especificaciones célula de carga modelo 333.....	35
Figura 41: Transmisor HX711 para célula de carga.....	36
Figura 42: Ejemplos de cajas para los componentes eléctricos y electrónicos.....	38
Figura 43: Logo de la empresa HBM.....	42
Figura 44: Logo de la empresa SENSING.....	43
Figura 45: Logo de la empresa MEGACAL.....	43
Figura 46: Logo de la empresa OMEGA.....	43
Figura 47: Sistema de adquisición de datos para la medición de potencia.....	44
Figura 48: Sistema de adquisición de datos para mediciones de parámetros industriales.....	44
Figura 49: Diseño final de la caja arduino.....	55
Figura 50: Diseño final de la caja arduino.....	56
Figura 51: Diseño final del circuito eléctrico.....	57
Figura 52: Esquema de proyecto de la simulación de impacto.....	62
Figura 53: Selección del material.....	62
Figura 54: Introducción del diseño de la simulación estática.....	63
Figura 55: Asignación del material.....	64
Figura 56: Asignación de contactos.....	64

Figura 57: Mallado del ensamblaje.....	65
Figura 58: Gráfica de calidad de malla con un “Average” de 0,98.....	65
Figura 59: Condición inicial de velocidad.....	66
Figura 60: Inserción de las cargas en la simulación de impact .....	66
Figura 61: Inserción de los soportes en la simulación de impacto.....	66
Figura 62: Solución de deformación total (mm).....	67
Figura 63: Solución de deformación unitaria (mm/mm).....	67
Figura 64: Solución de tensión equivalente (MPa).....	68
Figura 65: Diseño de la tapa superior de la caja arduino.....	70
Figura 66: Diseño de la caja arduino.....	71
Figura 67: Diseño final de la pieza rodillo espaciado.....	80
Figura 68: Diseño final de la pieza placa de regulación avellanada.....	80
Figura 69: Diseño final de la pieza placa de regulación avellanada.....	81
Figura 70: Diseño final de la pieza rodillo rótula.....	81
Figura 71: Diseño final de la pieza eje mecanizado.....	82
Figura 72: Diseño final del montaje de las piezas de la célula de carga.....	82
Figura 73: Diseño final del montaje de las piezas de la célula de carga.....	82
Figura 74: Diseño final del montaje de las piezas de la célula de carga.....	83
Figura 75: Esquema de proyecto de la simulación estática.....	86
Figura 76: Selección del material.....	87
Figura 77: Introducción del diseño de la simulación estática.....	88
Figura 78: Asignación del material.....	88
Figura 79: Asignación de contactos.....	89
Figura 80: Mallado del ensamblaje.....	89
Figura 81: Gráfica de calidad de malla con un “Average” de 0,74.....	90
Figura 82: Inserción de las cargas en la simulación estática.....	90
Figura 83: Inserción de los soportes en la simulación estática.....	91
Figura 84: Solución de deformación total (mm).....	91
Figura 85: Solución de tensión equivalente (MPa).....	92

Figura 86: Solución de error estructural (mJ).....	92
Figura 87: Solución de factor de seguridad (FS).....	93
Figura 88: Máquina para el proceso de torneado, llamada torno.....	95
Figura 89: Fresado en concordancia y en oposición.....	96
Figura 90: Fresado periférico y frontal.....	97
Figura 91: Máquina de fresado vertical.....	97
Figura 92: Obtención de valores de lectura con un determinado peso (kg).....	109
Figura 93: Posicionamiento de la célula de carga con un peso de 1,02 kg.....	110
Figura 94: Valor de fuerza (N) obtenido en el monitor, con un peso de 1,02 kg.....	110
Figura 95: Posicionamiento del imán de neodimio, adhesivo del tacómetro digital y sensor de efecto hall.....	111
Figura 96: Calibración del sensor de efecto hall.....	112
Figura 97: Medida de velocidad (rpm) con el tacómetro digital.....	113
Figura 98: Distancia entre 20 y 300 mm entre el tacómetro digital y el adhesivo.....	113
Figura 99: Cinta transportadora.....	114
Figura 100: Posicionamiento de la célula de carga.....	114
Figura 101: Posicionamiento del sensor de efecto hall y del imán.....	115
Figura 102: Sistema de adquisición de datos en funcionamiento.....	115
Figura 103: Sistema de adquisición de datos en funcionamiento.....	116
Figura 104: Catálogo de motores trifásicos 4P/1500 rpm.....	141

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Sensores y fenómenos.....	9
Tabla 2: Características del Arduino Uno Wifi.....	17
Tabla 3: Características del Arduino Mega 2560.....	18
Tabla 4: Significado y función de pines de los display LCD de línea.....	30
Tabla 5: Conexión entre el módulo HX711 y el microcontrolador.....	37
Tabla 6: Conexión entre el módulo HX711 y la célula de carga.....	37
Tabla 7: Ventajas y desventajas de la impresión en 3D.....	70
Tabla 8: Datos de partida.....	75
Tabla 9: Resultados finales del motor eléctrico 370 W.....	77
Tabla 10: Datos de partida.....	77
Tabla 11: Resultados finales del motor eléctrico 250 W.....	79
Tabla 12: Ventajas y desventajas del proceso de mecanizado de torno.....	95
Tabla 13: Ventajas y desventajas del proceso de mecanizado de fresado.....	97
Tabla 14: Valores de lectura con cada peso (kg) medido.....	105
Tabla 15: Valores de lectura con cada peso (kg) promedio medido.....	107
Tabla 16: Prueba_01 del equipo de adquisición de datos en cinta transportadora sin carga .....	116
Tabla 17: Prueba_01 valores máximos sin carga.....	118
Tabla 18: Prueba_01 valores mínimos sin carga.....	118
Tabla 19: Coste del sistema de adquisición de datos.....	121
Tabla 20: Presupuesto de materias primas.....	122
Tabla 21: Presupuesto de componentes.....	123
Tabla 22: Propiedades del ácido poliláctico (PLA).....	139
Tabla 23: Propiedades del acero de bajo contenido en carbono .....	140



# ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Gráfica de regresión lineal, de la prueba de célula de carga, por puntos.....	105
Gráfica 2: Gráfica de regresión lineal de la prueba de célula de carga, media de cada valor de lectura .....	108
Gráfica 3: Relación ente la potencia (W) y el par transmitido (Nm).....	117
Gráfica 4: Relación ente la fuerza (N) y velocidad (rpm).....	117



# ABREVIATURAS

IBM	International Business Machines Corporation.
DAQ	Adquisición de datos.
NI	National Instruments.
LCD	Liquid Crystal Display.
PLA	Ácido Poliláctico.
ABS	Acrilonitrilo butadieno estireno.
rpm	Revoluciones por minuto.
N	Newton.
kW	Kilovatio.
mm	Milímetros.
i	Relación de transmisión.
P	Potencia.
V	Voltaje.
v	Velocidad.
d	Distancia.
$\omega$	Velocidad angular.
rad/s	Radianes partido segundo.
N·m	Newton por metro.
T	Par transmitido.
F	Fuerza.
m	Metro.
UE	Unión Europea.
CE	Comunidad Europea.
CEE	Comunidad Económica Europea.
UNE-EN ISO	Una Norma Española-European Norm International Standarization.
UNE	Una Norma Española.
UNE-EN	Una Norma Española-European Norm.

PET-G	Tereftalato de polietileno
PVA	Alcohol polivinílico
TPU	Poliuretano termoplástico.
MPa	Megapascal.
mJ	Milijulios.
FS	Factor de seguridad.
mm/mm	Milímetro partido milímetro.
g	Gravedad.
m <sup>2</sup> /s	Metros cuadrados partido segundo.
m	Masa.
E <sub>P</sub>	Energía potencial.
E <sub>C</sub>	Energía cinética.
h	Altura.
FEM	Método de elementos finitos.
.STEP	Modelo estándar de datos.
kg	Kilogramo.
€	Euro.
€/kg	Euro partido kilogramo.
MHz	Megahercios.
kgf	Kilogramos fuerza.
AC	Corriente alterna.
DC	Corriente continua.
€/h	Euro partido hora.
SD	Secure Digital.
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono.
AENOR	Asociación Española de Normalización y certificación.
BOE	Boletín Oficial del Estado

## 1.INTRODUCCIÓN

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par  
y velocidad

## 1.1. OBJETIVOS DEL PROYECTO.

El objetivo general que se pretende, en el proyecto, es desarrollar un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad. El cual, va destinado al acoplamiento de maquinaria y mecanismos.

Como objetivos particulares, son:

1. Diseño preliminar, modelado 3D, de la caja que incluirá todos los componentes eléctricos y electrónicos y de las piezas requeridas para el montaje de los sensores en la máquina o mecanismo.
2. Cumplir con la normativa vigente.
3. Elaboración de estudio de impacto y de estático para su correcta funcionalidad.
4. Guardar mediante tarjeta SD los datos obtenidos, con un mando que indique la abertura y cierre del fichero.
5. Cada vez que se habrá un fichero, sea un fichero nuevo.
6. El sistema de adquisición de datos, sea autónomo.
7. Análisis de los resultados obtenidos para la validación del proyecto propuesto.
8. El sistema de adquisición de datos, sea de bajo coste.

## 1.2. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA.

Para obtener la titulación del Grado en Ingeniería Mecánica, Universitat Politècnica de València, Campus de Alcoy, se realiza un proyecto final de grado, parte del grado que justifica los conocimientos adquiridos por el alumno.

Con los conocimientos adquiridos, se pretende llevar a cabo el desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad, para máquinas y mecanismos, con la realización del proyecto se pone en práctica los conocimientos adquiridos.

En general, elaborar el proyecto, permite mostrar los conocimientos adquiridos por el alumno, durante su etapa en el Grado en Ingeniería Mecánica, y durante el proyecto obtener nuevos conocimientos.

## 1.3. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA.

La justificación técnica de este proyecto viene por la necesidad de la empresa, tiene una cinta transportadora, la cual se avería la banda y no tiene un sistema de lectura para corregir la avería. Por lo tanto, se realiza este proyecto para realizar los ensayos correspondientes para la adquisición de datos para la medición de par y velocidad en la banda, de la cinta transportadora.

Para su elaboración, se requiere de la utilización de softwares de diseño de modelado 3D, cálculos, programación, planos, etc... que facilita la realización del proyecto. La realización del proyecto se realiza para el Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales, la cual, facilita los softwares necesarios para la consecución de dicho proyecto.

Para la fabricación de los componentes auxiliares, necesarios para el montaje de los sensores en maquinaria o mecanismos, está a disposición de la empresa requerida y universidad, para la elaboración de tales pruebas.

La compra de componentes electrónicos y eléctricos, necesarios para la realización del proyecto, está a disposición de la universidad.

Lo nombrado anteriormente permite a la empresa requerida y universidad de tener un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad.

## 1.4. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

### 1.4.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA Y DEFINICIÓN.

La evolución histórica de los sistemas de adquisición de datos. En 1963, IBM produjo computadoras que se especializaban en la adquisición de datos, entre las que incluyen IBM 7700 Data Acquisition System, y su sucesor, IBM 1800. Estos sistemas de adquisición de datos son caros y especializados fueron superados en el año 1974, por computadoras S-100, de uso general y tarjetas de adquisición de datos, que fueron producidas por Tecmar/Scientific solutions Inc.

En el año 1981, IBM presento el IBM Personal Computer y Scientific Solutions, con lo que introdujo los primeros productos de adquisición de datos para ordenador [11].

En el año 1989, National instruments desarrolla el bus de cable MXI (Multisystem Instrument Interface) proporcionando así un mecanismo de altas prestaciones para interconectar sistemas de instrumentación programable VXI y controlados desde un ordenador. Se crea la asociación PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association) como un estándar para el intercambio de datos en las computadoras portátiles.

En el año 1995, se da a conocer la especificación CompactPCI para la conexión de instrumentación mediante el bus PCI (Peripheral Component Interconnection), actualmente se encuentra estandarizado.

En el año 1997, bus común PXI (PCI eXtensions for instruments) basado en PCI propuesto por National Instruments para instrumentación programable en tarjetas.

En el año 2000, la división de instrumentación de Hewlett-Packard pasa a ser Agilent Technologies [40].

Una definición a lo que es un sistema de adquisición de datos es en que consiste en el proceso de muestreo de señales que miden las condiciones físicas y las convierten en valores numéricos, que pueden ser manipulados mediante una computadora. Los sistemas de adquisición de datos, abreviados por las siglas "DAS" o "DAQ", normalmente, convierten las señales analógicas en valores digitales para su procesamiento [11].

La adquisición de datos es un proceso de medición de un fenómeno eléctrico o físico, como el voltaje, intensidad, temperatura, presión, potencia, etc. Un sistema de adquisición de datos consiste de sensores, hardware de medidas DAQ y un ordenador con software programable.

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

Las señales procedentes de los sensores implementados en el sistema se introducen en instrumentos de adquisición de datos, que digitalizan las señales y las envían a un disco duro o a otro medio de almacenamiento, en el cual, pueden manipularse y analizarse haciendo uso de herramientas de software especializadas [12].

El sistema de adquisición de datos desempeña un papel fundamental en campos como la investigación, la ingeniería mecánica, eléctrica, civil, etc... e incluso en mantenimiento industrial. Dicho proceso es adaptable a cualquier espacio, utilidad pública o laboratorio de investigación, entre otros ámbitos en los que se requiera el uso de un dispositivo de adquisición de datos que supervise en silencio un parámetro u otro. Una vez que los datos son recopilados pueden utilizarse para mejorar la eficiencia de una empresa, garantizar la fiabilidad o para asegurar que las máquinas funcionen de forma segura [11].

### 1.4.2. TIPOS DE SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

#### Sistemas de adquisición de datos WIRELESS:

Los sistemas inalámbricos de adquisición de datos pueden eliminar el coste de la instalación y el tiempo requerido para cablear todos los sensores. Estos sistemas constan de uno o más transmisores inalámbricos enviando datos a un receptor inalámbrico conectado a un ordenador remoto. Los transmisores inalámbricos están disponibles para temperatura ambiente, humedad relativa, presión barométrica, presión de línea, infrarrojos, termopares, RTD, pH, sensores de pulso de salida de 4 a 20 mA de transductores y transmisores con salida de voltaje. Los receptores pueden ser conectados al puerto USB o Ethernet del ordenador [16].

#### Sistemas de adquisición de datos por comunicación en Serie:

Los sistemas de comunicación en Serie para los sistemas de adquisición de datos son una buena elección cuando la medición debe hacerse en un lugar que esta distante del ordenador. Hay varios estándares de comunicación, RS232 es la más común pero sólo soporta comunicación de un punto a punto y las distancias son relativamente cortas. RS 485 soporta distancias de transmisión de hasta 1500 metros con un o dos pares de cables, también permite compartir hasta 32 dispositivos al mismo bus [16].

#### Sistemas de adquisición de datos USB:

El Bus Serie Universal (USB) es un nuevo estándar para conectar ordenadores a dispositivos periféricos, tales como impresoras, monitores, módems y dispositivos de adquisición de datos. USB ofrece varias ventajas sobre las conexiones convencionales en serie y en paralelo, incluyendo un mayor ancho de banda (hasta 12 Mbits/s) y la capacidad de proporcionar energía al dispositivo periférico. USB es ideal para la adquisición de diferentes datos. Desde que los USB suministran energía, sólo se necesita un cable para conectar el dispositivo de adquisición de datos al ordenador, ya que tienen puertos USB [16].

#### Sistemas de adquisición de datos Ethernet:

Los sistemas de adquisición de datos Ethernet son una opción popular para muchos usuarios. La mayoría de las instalaciones industriales y comerciales tienen cables de red Ethernet instalados, lo que permite la integración de un sistema de adquisición de datos distribuido sin el coste del cableado adicional.

Muchos dispositivos Ethernet incorporan un servidor web, lo que significa que transmiten su propia página web para presentar los datos adquiridos. Esto puede ser visto por cualquier usuario con un navegador web estándar con lo que el software adicional no tiene por qué ser aprendido o adquirido.

Otra ventaja de utilizar Ethernet es que los datos pueden ser fácilmente compartidos entre los usuarios del Newtork local, y también, a través de internet a los usuarios autorizados en todo el mundo. Los dispositivos de adquisición de datos Ethernet pueden recoger datos de varios continentes [16].

#### Sistemas de adquisición de datos por Plug-in Boards (integrados):

Las tarjetas de adquisición de datos informáticos se conectan directamente al bus del ordenador. Las ventajas del uso de tarjetas de adquisición de datos son:

- La velocidad, debido a que están conectados directamente al bus).
- El coste, debido a la sobrecarga del embalaje y la potencia suministrada por el ordenador.

Las tarjetas de adquisición de datos son ofrecidas principalmente para IBM PC y ordenadores compatibles. Las características proporcionadas por las tarjetas pueden variar dependiendo del número y tipo de entradas (tensión, termopar, digital, etc.), tipo de salidas, velocidad y otras funciones. Cada tarjeta instalada en el equipo se dirige a un único mapa de ubicación Entrada/Salida. El mapa de E/S en el ordenador proporciona las ubicaciones de dirección que el procesador utiliza para obtener acceso al dispositivo específico como requiere su programa [16].

### 1.4.3. PARTES QUE LO CONFORMAN.

Como ya sabemos, un sistema de adquisición de datos (DAQ) es cualquier sistema que permite obtener datos, almacenarlos, procesarlos y exhibirlos de alguna manera [17].

Las partes que conforman un DAQ son:

1. Transductores, que conforman las variables físicas, a medir, en señales eléctricas.
2. Canales analógicos, para la recepción de señales analógicas.
3. Un convertidor A/D, para digitalizar las señales analógicas.
4. Canales digitales de entrada.
5. Canales digitales de salida
6. Canales analógicas de salida.
7. Contadores/temporizadores.
8. Circuito de control.
9. Interface para computadora.
10. Software, para que el usuario interactúe con el sistema de adquisición de datos (DAQ).



Figura 1: Partes que conforman un sistema de adquisición de datos (DAQ) (Fuente: National Instruments (NI))

## 1.4.4. SEÑALES FÍSICAS DE ENTRADA/SALIDA.

En este punto, se centra en los transductores, sensores y señales.

### Transductores o sensores:

La adquisición de datos empieza con el fenómeno físico a ser medido. El fenómeno podría ser:

- Temperatura de un taller mecánico.
- Intensidad de una fuente de energía.
- Presión dentro de un depósito a presión.
- Fuerza aplicada en un brazo de palanca.
- Velocidad de un eje a la salida de un motor-reductor.

Un sistema de adquisición de datos (DAQ) efectivo se puede obtener todos estos fenómenos [8].

Un transductor es un dispositivo que convierte una condición física en señales eléctricas, tal como un voltaje o una intensidad de corriente. Algunos transductores pueden requerir componentes adicionales y circuitos para producir correctamente una señal que puede ser leída con precisión y con tosa seguridad por un dispositivo DAQ [12].

Hay transductores específicos para infinidad de aplicaciones diversas. Como las siguientes:

Fenómeno	Sensores
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ pH</li><li>▪ Aceleración</li><li>▪ Posicionamiento y desplazamiento</li><li>▪ Fuerza y presión</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Electrodo pH</li><li>▪ Acelerómetro</li><li>▪ Potenciómetro, LVDT, encoder óptico</li><li>▪ Galga extensiométrica y transductor piezoeléctrico</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Sonido</li><li>▪ Luz</li><li>▪ Temperatura</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Micrófono</li><li>▪ Célula fotoeléctrica</li><li>▪ Termopar, RDT, termistor</li></ul>

Tabla 1: Sensores y fenómenos (Fuente: National Instruments (NI))

### Señales:

Los fenómenos físicos son convertidos en señales, medibles con los sensores adecuados. Sin embargo, no todas las señales pueden ser medidas de la misma manera. Con lo cual, es importante entender los distintos tipos de señales y sus atributos.

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

Las señales pueden clasificarse en dos grupos:

- Analógicas.
- Digitales.

Señales analógicas:

La adquisición de datos de las señales analógicas es el proceso de medida de una señal analógica y la transmisión del PC para el análisis, visualización y almacenaje de la misma. Una señal analógica es una señal que varía continuamente.

La adquisición de datos de señal analógica se usa habitualmente para medir voltaje. Se pueden utilizar diversos tipos de dispositivos para realizar la adquisición de datos de forma analógica.

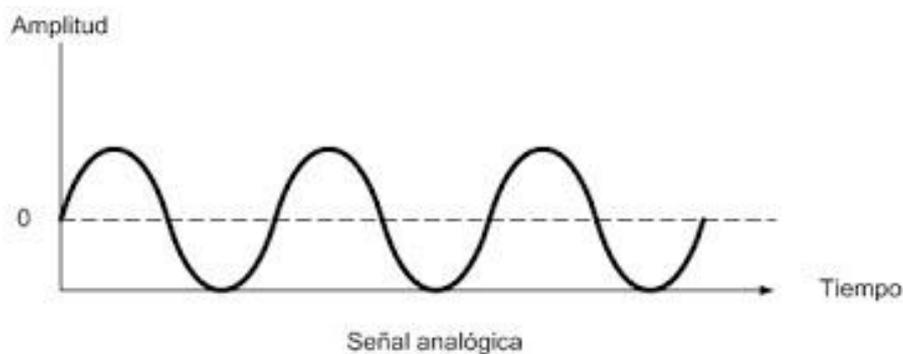


Figura 2: Representación de una señal analógica (Fuente: Google)

Las señales analógicas pueden tener cualquier valor con el tiempo. Ejemplos de señal analógica son el voltaje, temperatura, presión, sonido y carga [8].

Las características principales de las señales analógicas son:

- Valor de pico ( $V_p$ ): Es el valor máximo que alcanza una señal, también llamada amplitud. Si el máximo positivo es igual al máximo negativo, se denomina valor de pico a pico ( $V_{pp}$ ) a la suma sin signo de los dos valores. Por tanto,  $[V_{pp} = 2V_p]$ .
- Periodo ( $T$ ): Es el tiempo que tarda en ejecutar un ciclo. Entendemos por ciclo cada repetición de la señal. El periodo se mide en segundos (s), y se emplea, normalmente, en los submúltiplos.
- Frecuencia ( $F$ ): Es el número de ciclos que una señal periódica ejecuta por segundo, y su unidad es el Hercio (Hz) [41].

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

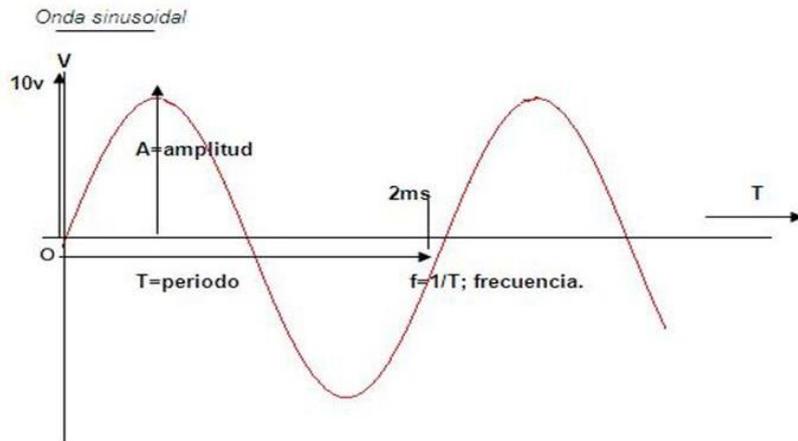


Figura 3: Características principales de una onda sinusoidal (Fuente: Google)

Señales digitales:

Las señales digitales no pueden tomar cualquier valor con respecto el tiempo. Las señales digitales tienen dos posibles niveles [8]:

- Alto.
- Bajo.

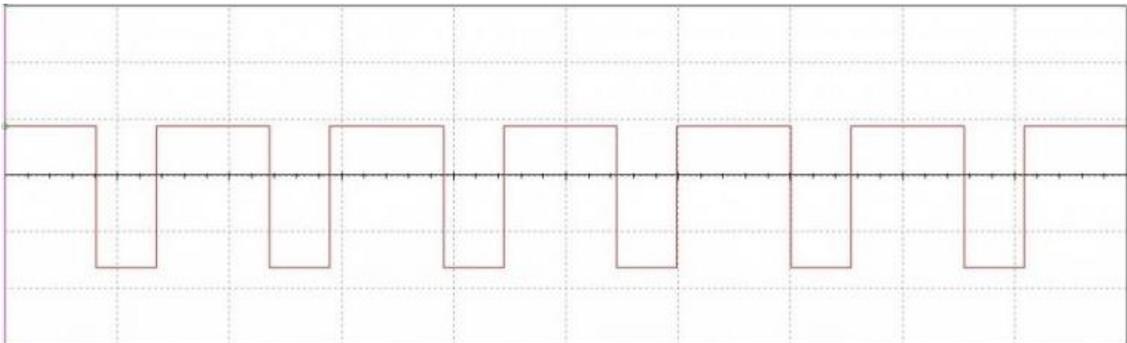


Figura 4: Señal digital (Fuente: Hetpro-store)

Los datos que pueden medir son:

- Estado.
- Ratio.

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

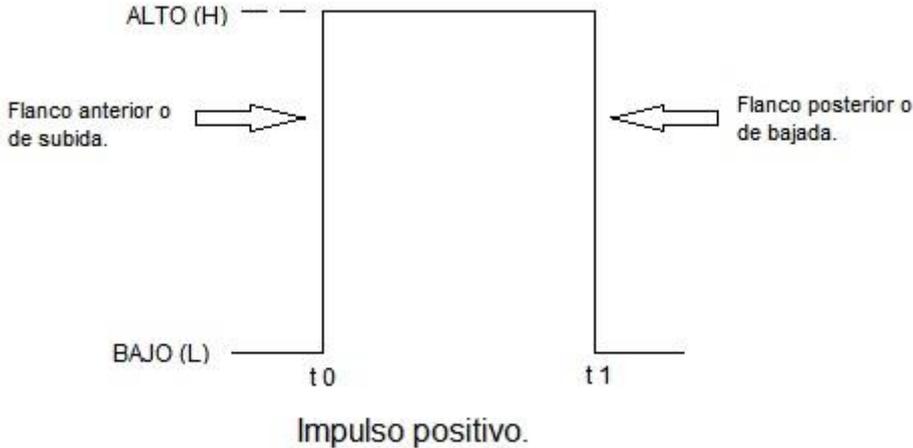


Figura 5: Impulso positivo de una señal digital (Fuente: Hetpro-store)

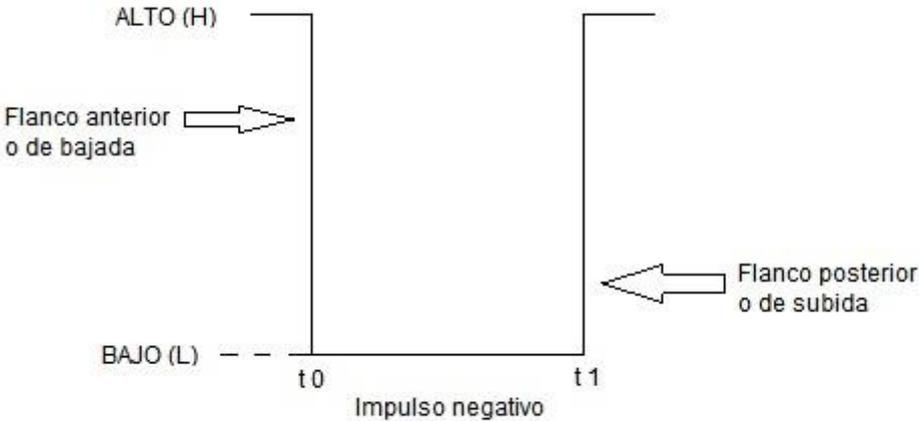


Figura 6: Impulso negativo de una señal digital (Fuente: Hetpro-store)

## 1.4.5. ARDUINO.

De primero, definimos que es un microcontrolador, en el cual, consiste en un circuito integrado con las 3 unidades funcionales de una computadora:

- CPU (Unidad central de procesamiento).
- Memoria.
- Periférico de I/O.

Arduino es una plataforma de hardware y software libre (CC).

Formado por:

- Microcontrolador Atmel (AVR).
- Circuito que facilita el uso:
  - USB.
  - Pines externos.
  - Cristal de cuarzo 16 MHz.

Se utiliza Arduino porque es una plataforma de electrónica abierta para la programación de proyectos basada en software y hardware flexibles y por las siguientes cualidades [8]:

- Es asequible.
- Entorno de programación simple y directo.
- IDE Multi-plataforma (Java Virtual Machine).
- Software ampliable y con código abierto.
- Hardware ampliable y con código abierto.

Modelos de Arduino [10]:

Arduino Uno Wifi.



Figura 7: Arduino Uno Wifi (Fuente: Arduino.CC)

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

Arduino MEGA.

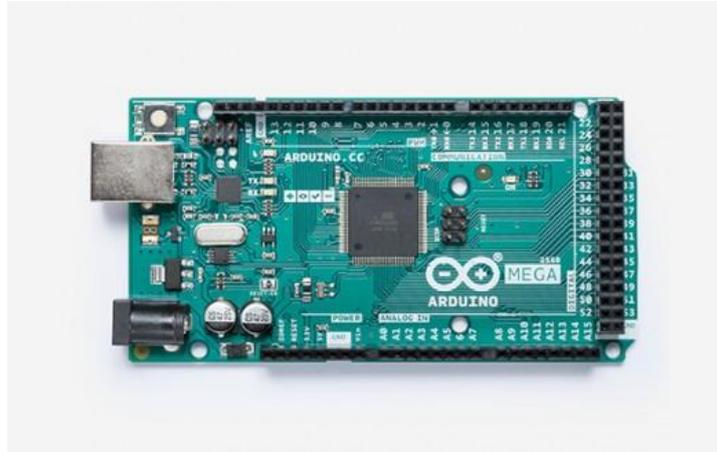


Figura 8: Arduino MEGA (Fuente: Arduino.CC)

SmartProjects (Italia) [8]:

Arduino Nano.

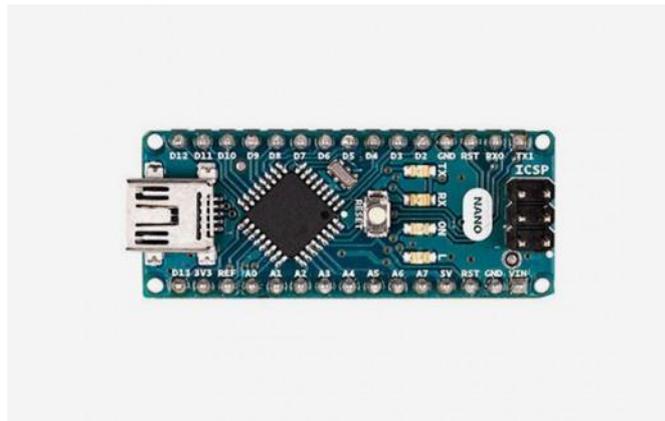


Figura 9: Arduino Nano (Fuente: Arduino.CC)

Arduino Duemilanove.

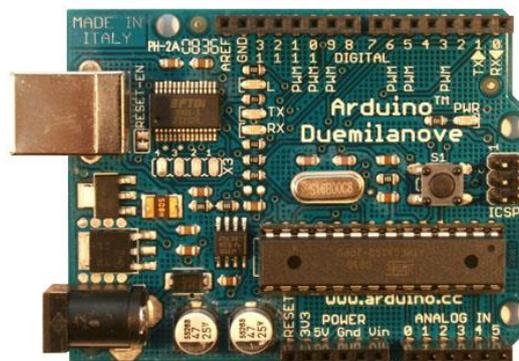


Figura 10: Arduino Duemilanove (Fuente: Arduino.CC)

# Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

Arduino Diecimila.

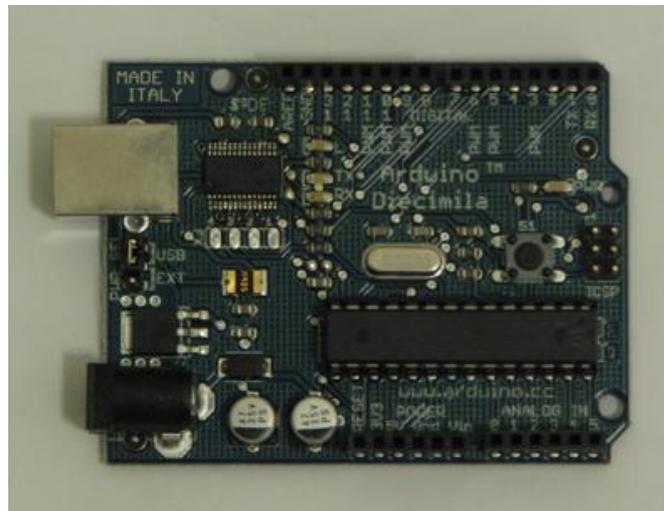


Figura 11: Arduino Diecimila (Fuente: Arduino.CC)

Sparkfun (EEUU) [8]:

Arduino Pro.

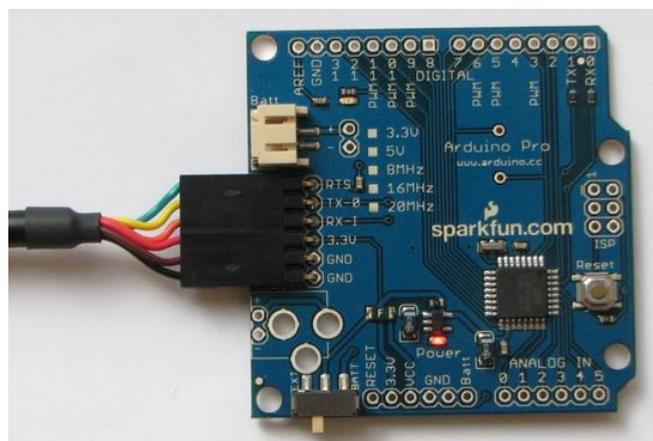


Figura 12: Arduino Pro (Fuente: Arduino.CC)

# Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

Arduino Pro mini.

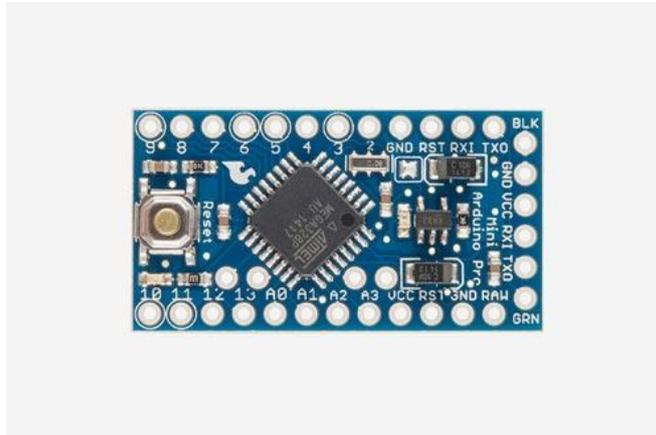


Figura 13: Arduino Pro mini (Fuente: Arduino.CC)

Arduino Lilypad.

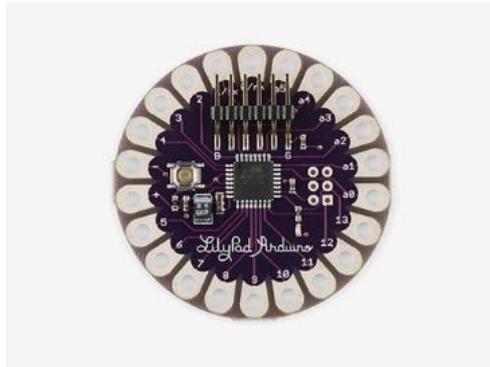


Figura 14: Arduino Lilypad (Fuente: Arduino.CC)

## Partes características del Arduino [10]:

Arduino Uno.

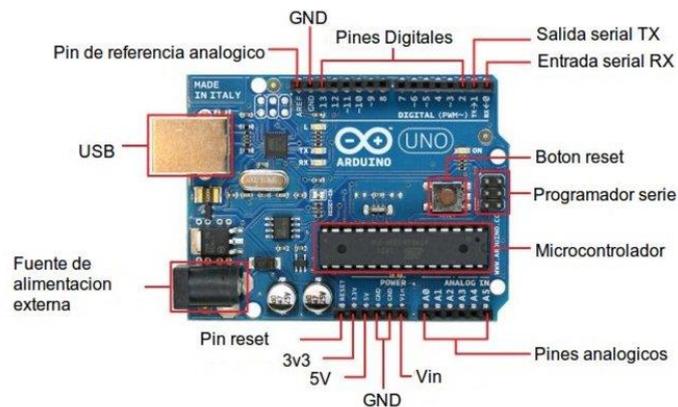


Figura 15: Partes del Arduino Uno (Fuente: Arduino.CC)

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

Arduino MEGA.

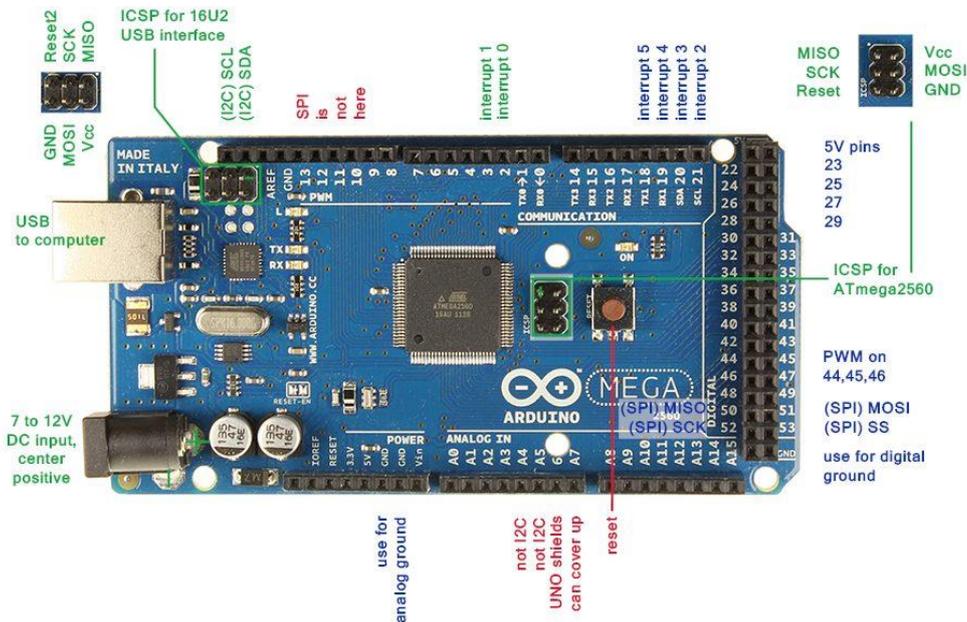


Figura 16: Partes del Arduino Mega (Fuente: Google)

Características del Arduino Uno Wifi:

Características del Arduino Uno Wifi	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Microcontrolador</li> <li>▪ Velocidad del reloj</li> <li>▪ Módulo Wifi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ATmega328</li> <li>▪ 16 MHz</li> <li>▪ ESP8266EX @ 80 MHz 802.11 b/g/n 2.4 GHz</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tensión de operación</li> <li>▪ Tensión entrada (recomendada)</li> <li>▪ Tensión entrada (límites)</li> <li>▪ Pines E/S digitales</li> <li>▪ Pines entradas analógicas</li> <li>▪ Consumo</li> <li>▪ EEPROM</li> <li>▪ SRAM</li> <li>▪ Memoria Flash</li> <li>▪ Longitud</li> <li>▪ Anchura</li> <li>▪ Peso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 5V</li> <li>▪ 7-12V</li> <li>▪ 6-20V</li> <li>▪ 14 (6 salidas PWM)</li> <li>▪ 6</li> <li>▪ 93 mA</li> <li>▪ 1 Kb</li> <li>▪ 2 Kb</li> <li>▪ 32 Kb</li> <li>▪ 68,6 mm</li> <li>▪ 53,4 mm</li> <li>▪ 25 gramos</li> </ul>

Tabla 2: Características del Arduino Uno Wifi (Fuente: Arduino.CC)

Características del Arduino Mega 2560:

<b>Características del Arduino Mega 2560</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Microcontrolador</li><li>▪ Velocidad del reloj</li><li>▪ Tensión de operación</li><li>▪ Tensión entrada (recomendada)</li><li>▪ Tensión entrada (límites)</li><li>▪ Pines E/S digitales</li><li>▪ Pines entradas analógicas</li><li>▪ Corriente CC por pin I/O</li><li>▪ Corriente CC para pin 3.3V</li><li>▪ EEPROM</li><li>▪ SRAM</li><li>▪ Memoria Flash</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ ATmega2560</li><li>▪ 16 MHz</li><li>▪ 5V</li><li>▪ 7-12V</li><li>▪ 6-20V</li><li>▪ 54 (15 salidas PWM)</li><li>▪ 16</li><li>▪ 20 mA</li><li>▪ 50 mA</li><li>▪ 4 Kb</li><li>▪ 8 Kb</li><li>▪ 256 Kb de los cuáles 8 Kb son utilizados por el gestor de arranque</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ LED_BUILTIN</li><li>▪ Longitud</li><li>▪ Anchura</li><li>▪ Peso</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 13</li><li>▪ 101,52 mm</li><li>▪ 53,3 mm</li><li>▪ 37 gramos</li></ul>

Tabla 3: Características del Arduino Mega 2560 (Fuente: Arduino.CC)

#### Formas de alimentación del Arduino [8].

El Arduino puede ser alimentado por:

- Por la conexión USB.
- Por una fuente de alimentación externa.
  - La fuente de alimentación se selecciona automáticamente.
  - La fuente de alimentación externa puede ser un adaptador CA a CC o una batería.
  - El adaptador se puede conectar con un conector de 2,1 mm al Jack de potencia de la placa.
  - La alimentación de la batería puede ser insertada por los terminales Vin-Gnd del conector de potencia.
  - El rango de tensión de suministro externo es de 7V a 12V.

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

- **Vin.** Voltaje de entrada de la placa de arduino (positivo Jack).
- **5V.** Alimentación regulada para el microcontrolador y otros componentes de la placa arduino. Puede venir, a través, de un regulador de placa, del USB o de otra fuente regulada de 5V.
- **3V3.** Alimentación de 3,3V, regulada por la placa de arduino (corriente máxima 50 mA).
- **GND.** Pines de tierra (-).

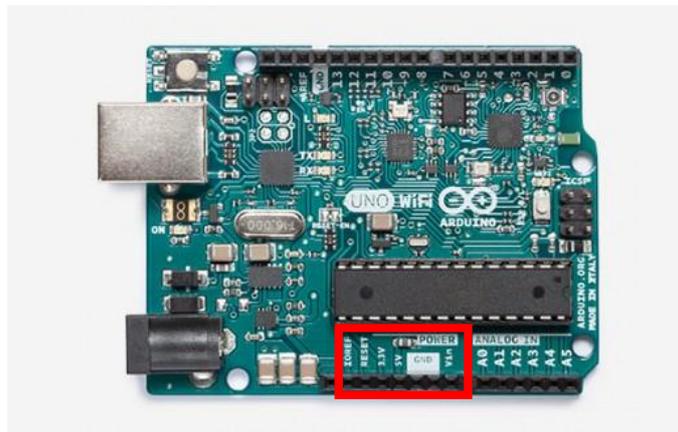


Figura 17: Alimentación del Arduino Uno Wifi (Fuente: Arduino.CC)

### Entradas y salidas digitales de la placa Arduino Uno Wifi.

Cada uno de los 14 pines digitales de la placa Arduino Uno Wifi se puede usar como una entrada o salida digital. Estos pines operan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir un máximo de 40 mA y tiene una resistencia interna pull-up (desconectada por defecto) de 20 a 50 k $\Omega$  [8].



Figura 18: Entradas y salidas digitales de la placa del Arduino Uno Wifi (Fuente: Arduino.CC)

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

Algunos pines tienen funciones específicas:

- **Serial: 0 (RX) y 1 (TX).** Estos pines son usados para recibir (RX) y transmitir (TX) datos serie TTL.
- **Interrupciones externas: 2 y 3.** Se tratan de pines encargados de interrumpir el programa secuencial establecido por el usuario.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10 y 11.** Proporcionan una salida PWM (modulación de ancho de pulso) de 8-bit PWM.
- **SPI: 10 (SS), 11(MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** Estos pines son de apoyo a la comunicación SPI.
- **LED: 13.** Hay un LED interno conectado al pin digital 13. Cuando el pin está en valor ALTO, el LED está encendido, cuando el pin está BAJO, el LED está apagado.

### Entradas analógicas de la placa Arduino Uno Wifi.

El Arduino Uno Wifi tiene 6 entradas analógicas, cada una de las cuales proporciona 10 bits de resolución, es decir, 1024 valores diferentes. Por defecto, miden 5 voltios respecto a GND (puesta a tierra), aunque es posible cambiar el límite superior de su rango usando un pin AREF y la función `analogReference()` [8].

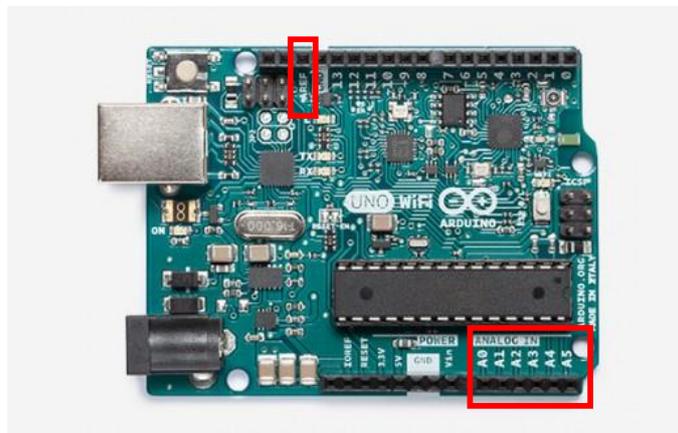


Figura 19: Entradas analógicas de la placa del Arduino Uno Wifi (Fuente: Arduino.CC)

Algunos pines tienen una funcionalidad especializada:

- **I2C: 4 (SDA) y 5 (SCL).** Soporta comunicación I2C (TWI) usando la librería Wire.

Hay otro par de pines en la tarjeta:

- **AREF.** Voltaje de referencia para las entradas analógicas. Usando con la función `analogReference()`.

- **Reset.** Lleva esta línea a LOW para resetear el microcontrolador. Se usa típicamente para añadir un botón de reset a los shields, los cuales bloquean la tarjeta.

#### Comunicación de la placa Arduino Uno Wifi.

El Arduino Uno Wifi tiene una serie de infraestructuras para la comunicación con un ordenador, otro arduino, u otros tipos de microcontroladores, como son [8]:

- El ATmega328 provee comunicación serie UART TTL (5V), la cual está disponible en los pines digitales 0 (RX) y 1 (TX).
- Un FTDI FT232RL en la placa canaliza esta comunicación serie al USB y los drivers FTDI (incluidos con el software Arduino) proporcionan un puerto de comunicación virtual al software del ordenador.
- El software Arduino incluye un monitor serie que permite enviar y recibir datos de texto simples a la placa Arduino.

#### Software Arduino [8]:

- Escrito en Java y basado en otros programas de código abierto.
- Librerías de clases:
  - IDE.
  - Multiplataforma.
- Se programa en C/C++.

### 1.4.5.1. ARDUINO - DATE LOGGING SHIELD.

Date Logging Shield es un pequeño Shield para placas Arduino UNO, MEGA y, además, incluye el almacenaje de registros de cualquier dato que se esté obteniendo en un momento concreto.

Dispone de un reloj de tiempo real RTC, con batería de respaldo incluida, y lector de tarjetas SD. Incorpora, además, una zona de prototipos para montar circuitos en la propia placa de Shield, ya que se puede conectar los sensores de un modo más sencillo y sin cables de por medio [33].

Características del Date logging Shield [33]:

- Interface para tarjetas SD: FAT16 y FAT32.
- Reloj a tiempo real, incluido, basado en el RTC (“Real Time Clock”) integrado DS1307.
- Porta pilas, incluido, para mantener la fecha durante años.
- Regulador propio de 3,3V para alimentar la tarjeta SD.
- Zona de prototipos para incluir los transductores o sensores.
- Librerías ad hoc, para arrancar rápido con la lectura de datos.

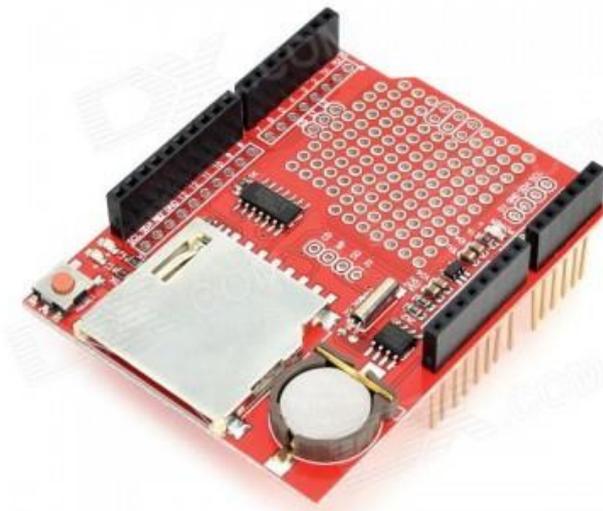


Figura 20: Date Logging Shield (Fuente: Google)

## 1.4.5.2. COMPONENTES DE CONEXIÓN.

Fuente de alimentación AC-DC, módulo reductor.

La fuente de alimentación se define como el instrumento que transforma la corriente alterna en corriente continua. Son utilizadas para alimentar los diferentes componentes electrónicos, como por ejemplo las placas de Arduino.

Las fuentes de alimentación se clasifican de la siguiente manera:

- **Fuentes de alimentación lineales.** Este tipo de fuentes de alimentación están diseñadas de manera sencilla, pero pueden llegar a ser un tanto complejas, a medida que la corriente que suministra se incrementa, aunque la regulación de tensión no es muy eficaz.

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

- **Fuentes de alimentación conmutadas.** Este tipo de fuentes de alimentación se caracterizan por tener una fuerza igual a la de tipo lineal, pero con un tamaño más reducido. Son un tipo de fuente de alimentación más eficiente, pero compleja, lo que, es decir, son más débiles a los impactos. Son las más utilizadas por su tamaño reducido y es más económica [42].

### Características:

- Voltaje de entrada: AC 85 ~ 265V, 50/60 Hz a DC 100 ~ 370V.
- Corriente de entrada: 0.0273A (AC 110V) – 0,014<sup>a</sup> (AC 220V).
- Con protección de temperatura.
- Protección contra cortocircuitos, aislamiento de alto y bajo voltaje.
- Entrada de voltaje amplio: AC 85 ~ 265V.
- Corriente CA / CC.
- Intensidad de entrada: 20A.
- Tensión de salida: CC 12V (+ / - 0,2V).
- Intensidad de salida: 500 mA.
- Corriente máxima admisible: 600 mA.
- Potencia de salida: 0-6W.

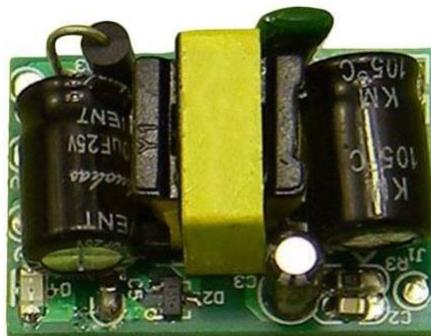


Figura 21: Fuente de alimentación AC-DC (Fuente: Amazon)

### Fusibles.

Los fusibles son dispositivos utilizados para la protección de componentes eléctricos y electrónicos. Este componente permite el paso de la corriente, mientras está no supere un valor establecido.

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad



Figura 22: Fusible encapsulado de vidrio (Fuente: Google)



Figura 23: Portafusible (Fuente: Google)

Si el valor de la corriente, es superior a la del fusible, éste se derrite, se abre el circuito y no pasa la corriente. Si esto no sucede, el equipo que alimenta, se puede sobrecalentar por consume excesivo de corriente. Puede haber corto circuito y causar un incendio. El fusible, normalmente, se coloca entre la fuente de alimentación y el circuito que lo alimenta.

En los equipos eléctricos y electrónicos, los fusibles están colocados dentro de un portafusibles, como se observa en la figura23. El fusible está constituido por una lámina o hilo metálico que se funde con el calor producido por el paso de la corriente.

El fusible debe de tener la capacidad de conducir la corriente ligeramente superior a la que se debe de “cortar la corriente” y que tiene una duración mínima. Con lo cual, se permite picos de corriente que son normales en algunos equipos.

Cuando el fusible esté averiado, siempre hay que remplazarlo por uno con las mismas características, para dar revisión al equipo y para determinar la causa de la avería del fusible.

Hay gran variedad de fusibles en el campo de la electrónica y la eléctrica. Se explicarán los más utilizados en estos campos, que son los siguientes [43]:

- **Fusible desnudo.** Fusible formado por un hilo metálico, generalmente de plomo, que se funde por el efecto del calor.
- **Fusible encapsulado de vidrio.** Fusible utilizado, principalmente, en equipos electrónicos.
- **Fusible de tapón enroscable.** Fusible formado por una pieza cilíndrica de porcelana o similar, se pone una camisa roscada que sirve para introducirlo en el circuito. El fusible está colocado internamente, fijado con tornillos y protegido por una tapa roscada.
- **Fusible de cartucho.** Fusibles constituidos por una base de material aislante, en el cual quedan fijados unos soportes metálicos, que sirven para introducir el fusible a presión.

A continuación, se observa en la figura 24, la simbología de los fusibles:

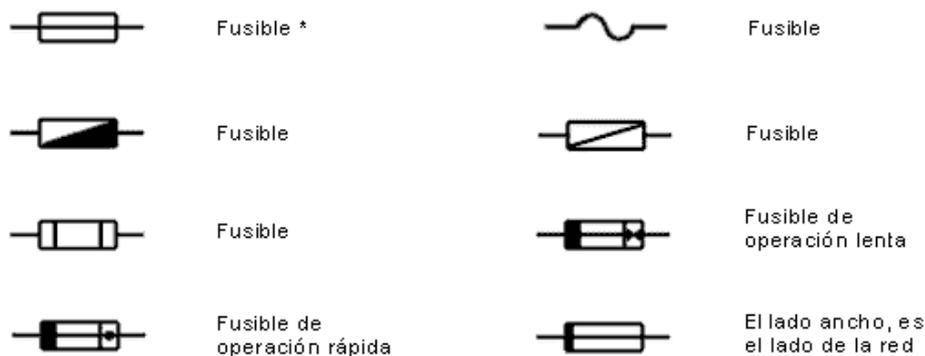


Figura 24: Simbología de fusibles (Fuente: simbología-electrónica)

### Potenciómetro.

El potenciómetro es un resistor eléctrico con valor de resistencia variable, con ajuste manual. Los potenciómetros se componen de tres terminales y se utilizan, normalmente, en circuitos de poca corriente, ya que para circuitos con una corriente considerable se utilizan los reóstatos. En la mayoría de componentes eléctricos, los potenciómetros son los que establecen el nivel de salida. Por ejemplo, un display LCD para controlar el brillo de dicho componente.

Las unidades de un potenciómetro vienen expresadas en ohmios ( $\Omega$ ), y la resistencia del componente es siempre la máxima que puede tener. La mínima será cero.

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

Existen dos tipos de construcción de un potenciómetro, que son las siguientes:

- **Construcción impresa.** Constituidas por una pista de carbón o de cermet sobre un soporte duro de cartón prespan, fibra de vidrio, baquelita, etc. La pista tiene contactos en sus extremos y un cursor que se desliza por un paso resistivo.
- **Construcción bobinada.** Formado por arrollamientos toroidales de un hilo resistivo con un cursor que se desliza por una pista.

Los potenciómetros se pueden clasificar de dos maneras, que son las siguientes:

- **Según su aplicación.**
  - **Potenciómetros de mando.** De uso adecuado para el control de la tensión en aparatos electrónicos. Dentro de este tipo de potenciómetros, se pueden encontrar los siguientes:
    - **Giratorios.** La variación de voltaje se controla mediante un eje, son los más usados por su reducido tamaño y tienen una larga vida útil.



Figura 25: Potenciómetro de mando giratorio (Fuente: Ingmecafenix)

- **Deslizantes.** El recorrido del cursor es lineal, se utilizan en ecualizadores gráficos.

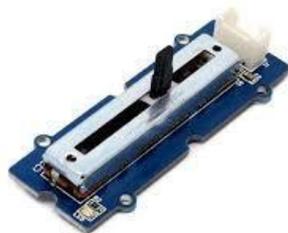


Figura 26: Potenciómetro de mando deslizante (Fuente: Ingmecafenix)

- **De ajuste.** Controlan la tensión pre ajustándola. El usuario, normalmente, no suele ajustarla, por tanto, no suelen ser accesibles desde el exterior. Existen tanto encapsulados en plástico, como sin cápsula. Se suelen distinguir por su ajuste, se puede realizar dicho ajuste tanto vertical (cuyo eje de giro es vertical), como horizontal (eje de giro paralelo al circuito).



Figura 27: Potenciómetro de mando de ajuste (Fuente: Ingmecafenix)

- **Según la ley de variación de la resistencia.**
  - **Variación lineal.** La resistencia es directamente proporcional al ángulo de giro.



Figura 28: Potenciómetro de variación lineal (Fuente: Ingmecafenix)

- **Variación logarítmica.** Este tipo de potenciómetros son utilizados para el campo del sonido, por su manera asimétrica de comportarse ante la variación del paso del eje. Primero incrementa la resistencia de forma muy leve hasta que el incremento es mayor. Usados, por ejemplo, para subir o bajar el volumen de una radio.

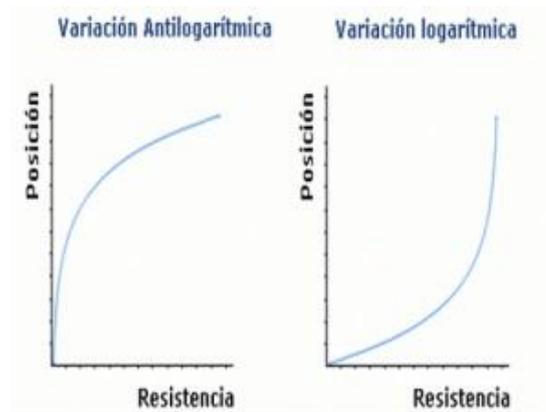


Figura 29: Potenciómetro de variación logarítmica (Fuente: Ingmecafenix)

- **Variación senoidal.** La resistencia es proporcional al seno del ángulo de giro. Dos potenciómetros de este tipo, solidarios y girados 90 grados, conduce al seno y coseno del ángulo de giro. Pueden tener finales de carrera.

También existen potenciómetros digitales, se usan para sustituir a los anteriores, simulando su funcionamiento y evitando averías de este tipo. Está constituido por un circuito integrado, que realiza el mismo comportamiento que el mecánico, y un divisor de tensión con  $n+1$  resistencias [20].

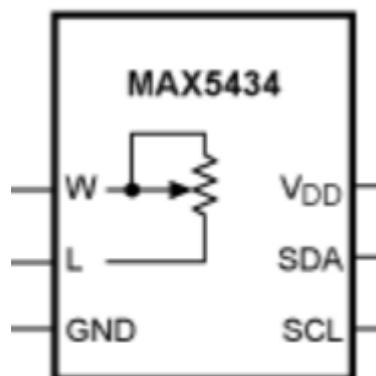


Figura 30: Potenciómetro digital (Fuente: Ingmecafenix)

A continuación, se observa en la figura 31, la simbología de los potenciómetros:

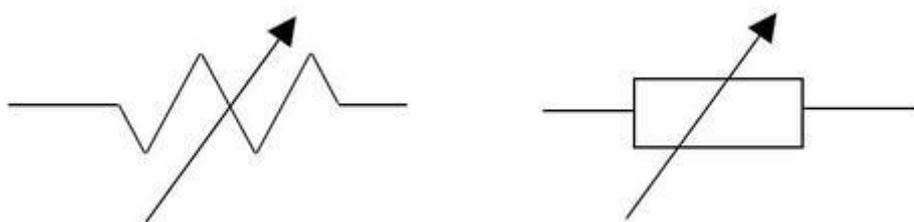


Figura 31: Simbología del potenciómetro (Fuente: área-tecnología)



Figura 32: Otra simbología del potenciómetro (Fuente: simbología-electrónica)

Displays LCD (liquid crystal display).

Los displays LCD son un tipo de componente electrónico para la visualización de información, sin estar conectado el Arduino con el ordenador.

A continuación, se nombrarán los tipos de display LCD, ya que en el mercado hay gran variedad y cada uno tiene una forma de mostrar la información y, por tanto, el conexionado que usa para mostrarla en el display LCD.

- **Display LCD de líneas.** Son pantallas formadas por una serie de pixel de colores monocromo, usualmente, se colocan delante de una luz reflectora. Son muy utilizados debido a su bajo consumo y su larga vida útil. Este tipo de display LCD es muy común en proyectos con Arduino, ya que son asequibles y sencillos de utilizar.

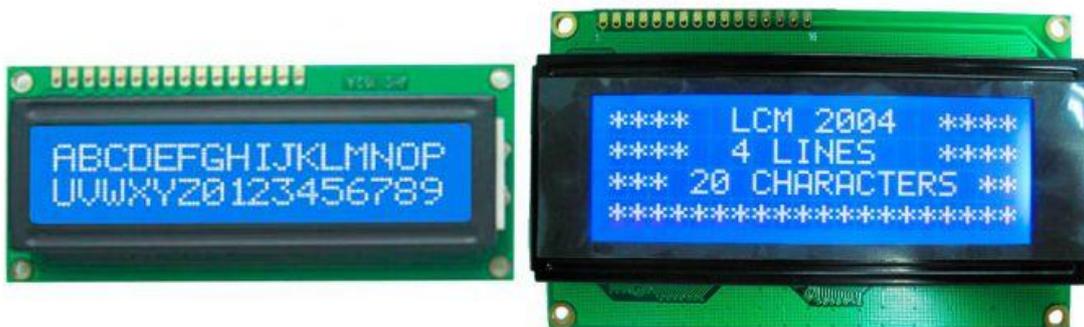


Figura 33: Displays LCD de línea (Fuente: zonamaker)

Hay que tener en cuenta, que según tipo de displays LCD de línea muestra un tipo de dato, lo cual solo permite mostrar caracteres y símbolos dentro de una posición definida. Cada carácter está formado por una matriz de pixeles de 5x8, el cual es quién acota los caracteres. Toda la información que se muestre en el display LCD de línea debe estar dentro de la matriz de carácter (letras, números, etc).

Dentro de este tipo de displays LCD se encuentra una gran familia de variantes, número de líneas, menor o mayor números de caracteres por línea, retroiluminación de un color concreto o sin iluminar, variedades de tamaños, etc. Los más comunes son los displays LCD de línea de 16x2 (16 caracteres por línea y 2 líneas) y de 20x4 (20 caracteres por línea y 4 líneas). Dentro de estos, se encuentran, también, con retroiluminación en diversos colores, según fabricante.

- **Conexión del display LCD de líneas.** Este tipo de displays posee 16 pines de conexión o 14 pines de conexión, si no tiene retroiluminación). Por los pines, el display LCD recibe la alimentación, referencia para el ajuste de contraste, recibe los datos por el bus de información, y otras funciones que se explican en la siguiente tabla.

PIN	SÍMBOLO	FUNCIÓN
1	$V_{SS}$	▪ Pin conectado a GND (tierra).
2	$V_{DD}$	▪ Alimentación (+5V).
3	$V_0$	▪ Pin para fijar el contraste de la pantalla. Conectando un potenciómetro de 10 k $\Omega$ que permita variar el brillo.
4	RS	▪ Selector de registro, conmuta entre el envío de caracteres y el envío de comandos de control. Por ejemplo, borrar la pantalla.
5	R/W	▪ Selector de modo lectura o escritura. Normalmente, el pin está conectado al GND (modo escritura).
6	E	▪ Habilitación de la pantalla para recibir información ("ENABLE").
7-10	DB0-DB3	▪ Bus de comunicación. No usado (excepto en operaciones de 8 bits).
11-14	DB4-DB7	▪ Bus de comunicación para transferir los datos (4 bits).
15	LED+	▪ Retroiluminación (+5V).
16	LED-	▪ Retroiluminación (GND).

Tabla 4: Significado y función de pines de los display LCD de línea (Fuente: zonamaker)

- **Display LCD en matriz de puntos.** Este tipo de LCD es muy usado en las impresoras 3D. Tiene similitud con los display LCD de línea, pero con la diferencia de que no existen líneas. Todo el display LCD es una matriz de punteos y de igual forma. Tiene mayor resolución que el anterior display LCD. El display LCD en matriz de puntos más común es el de 128x64, el cual permite dibujar menús y componentes gráficos, lo cual hacer una interface gráfica agradable de cara al público. La utilización de este tipo de display LCD no es muy extendido en aplicación con el software Arduino, ya que es complejo la información en la pantalla.



Figura 34: Display LCD en matriz de puntos (Fuente: zonamaker)

- **Display LCD OLED.** Este tipo de display LCD son muy atractivos para aplicaciones donde el tamaño es un factor clave, por lo general son de tamaño reducido, aportando una gran resolución y el consumo es bajo. El nombre de este tipo de display LCD proviene del inglés “organic light-emitting diode” y tiene este nombre, ya que los LED’s con el que se componen la pantalla son orgánicos (al paso de la corriente emiten luz por sí mismos).

La principal ventaja de estos display LCD está en la luz que emite, además teniendo un consumo menor. Este tipo de display LCD está formado por matrices de puntos en toda la superficie, incluso se encuentran en varios colores y con posibilidad de iluminarse en diferentes colores [23].



Figura 35: Display LCD OLED (Fuente: zonamaker)

### Sensor de efecto hall.

Los sensores de efecto hall se utilizan para la medición de velocidades o detectar la posición de un determinado componente. Estos tipos de sensores, presentan la ventaja de ofrecer datos fiables y su inconveniente principal es la complejidad de manejo.

El sensor de efecto hall KY-003 permite detectar la presencia de un campo magnético, provocada por un imán o varios imanes. El sensor está basado en un conmutador de efecto hall 3144EU e incorpora una resistencia y un LED para la indicación del campo magnético producido. Cuando se enciende el LED (hay presencia del campo magnético), y cuando el LED está apagado (no hay presencia del campo magnético) [25].

#### Características del sensor de efecto hall KY-003:

- Tensión de funcionamiento: 4.5V a 24V.
- Rango de temperatura de funcionamiento: -40°C a 85°C.
- Dimensiones: 18.5x15 mm.
- Señal digital (conectar directa a los pines digitales del Arduino).
- Consumo de corriente: 3 mA en reposo y 8 mA en funcionamiento.

#### Pines de conexión del sensor de efecto hall KY-003 [24]:

- Pin (-): El pin (-) conecta con el GND (negativo) de la placa shield o Arduino.
- Pin (+5V): Es el pin central del sensor hall KY-003 y debe estar conectado a una fuente de alimentación de +5V de la placa shield o Arduino.
- Pin (S): Es el pin de la señal, el cual conecta a la señal digital de la placa shield o Arduino.

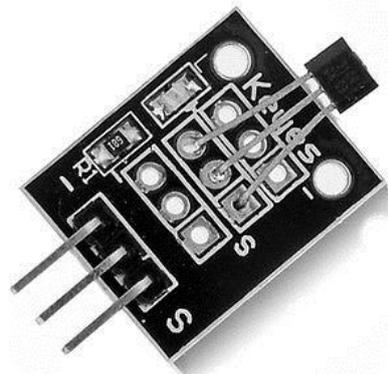


Figura 36: Sensor de efecto hall KY-003 (Fuente: Google)

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

### Módulo de RF de 433 MHz.

Los módulos de radio frecuencia (RF) de 433 MHz son transmisores/receptores inalámbricos que se utiliza como forma de comunicación entre procesadores como Arduino.

Este tipo de módulos, emisor y el receptor son muy utilizados para la comunicación, por su gran ventaja de tener un bajo coste. La frecuencia de operación es de 433 MHz, donde la frecuencia pertenece a bandas libres, con lo cual el uso es libre.

El alcance de este tipo de módulo depende, principalmente, del voltaje en el que este alimentado y la antena que se use. A +5V y con la antena del módulo, la distancia de alcance no llega a los 2 m. Si es alimentado a +12V y con una antena de cobre de 16.5 cm, la distancia de alcance puede alcanzar los 300 m aproximadamente.

La comunicación es simple, canal único y unidireccional, con una baja velocidad de transmisión (normalmente 2400 bps). Se realiza por modulación ASK (amplitude shift keying). Estos módulos no disponen de filtro, ni ID por hardware. Para una comunicación robusta, se implementa al software.

Aplicaciones de este módulo son la de activación de ficheros, activación de dispositivos como iluminación, control de maquinaria, motorización de robots y vehículos, etc [26].

Hay variedad de módulos de RF 433 MHz. Ahora se hará una breve explicación del receptor digital 433 MHz/XY-DJM-5V.



Figura 37: Kit de comunicación simple, mando con XY-DJM-5V (Fuente: Google)

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

Este kit de comunicación tiene hasta 4 señales digitales, a partir de un mando de control remoto. Este kit de comunicación está formado por un receptor de 4 canales y un mando de control remoto.

Las salidas están dispuestas de la siguiente forma:

- **D0.** Corresponde a la letra B del mando de control remoto.
- **D1.** Corresponde a la letra D del mando de control remoto.
- **D2.** Corresponde a la letra A del mando de control remoto.
- **D3.** Corresponde a la letra C del mando de control remoto.
- **VT.** Se activa cada vez que se acciona el mando de control remoto.
- **GND.** Conexión a tierra (-).
- **+5V.** Conexión a +5V.

Características del kit de comunicación, son las siguientes [27]:

- **Frecuencia de transmisión:** 433 MHz.
- **Consumo de corriente:** 128 mA.
- **Distancia de alcance:** 100 m con una antena de 17 cm o 7 m sin antena.
- **Dimensiones:** 20.5x41x23 mm.

### Célula de carga.

Una célula de carga (o celda de carga) es un sensor o transductor que convierte la fuerza aplicada, sobre ella, en una señal eléctrica medible. Existen gran variedad de células de carga.

Los diseños de células de carga se pueden distinguir de la siguiente forma [13]:

- Según el tipo de señal de salida generada:
  - Neumático.
  - Hidráulico.
  - Eléctrico.
- Según la forma de detectar la fuerza.
  - Flexión.
  - Cizalladura.
  - Compresión.
  - Etc.

Por ejemplo, el modelo 333 es una célula de carga de acero para herramientas, niquelada y ambientalmente sellada, diseñada para detectar la fuerza a tracción y compresión. La construcción IP65 soporta condiciones de alta humedad.

Este tipo de producto se encuentra en aplicaciones de una amplia variedad de entornos hostiles, ideal para la conservación de escalas mecánicas existentes [36].

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

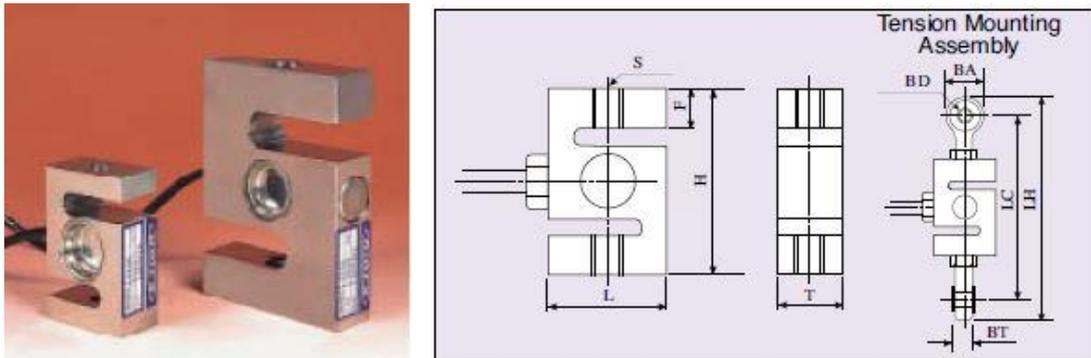


Figura 38: Célula de carga modelo 333 (Fuente: Catálogo Ktoyo)

**Dimensions**

(mm)

Load cell		BA	BD	BT	F	H	L	LC	LH	S	T	wt (kg)	Rod End
Model No	Rated Capacity												
333A(333B)-50	490.3N(50kgf)	30	12	16	16.1	76.2	50.8	135	165	M12 * 1.75	19	0.6	RE33-2
333A(333B)-100	980.7N(100kgf)	30	12	16	16.1	76.2	50.8	135	165	M12 * 1.75	19	0.6	RE33-2
333A(333B)-200	1.961KN(200kgf)	30	12	16	16.1	76.2	50.8	135	165	M12 * 1.75	19	0.6	RE33-2
333A(333B)-300	2.942KN(300kgf)	30	12	16	16.1	76.2	50.8	135	165	M12 * 1.75	19	0.6	RE33-2
333A(333B)-500	4.903KN(500kgf)	30	12	16	16.1	76.2	50.8	135	165	M12 * 1.75	28.2	0.8	RE33-2
333A(333B)-1000	9.807KN(1000kgf)	30	12	16	16.1	76.2	50.8	135	165	M12 * 1.75	28.2	0.8	RE33-2
333A(333B)-2000	19.61KN(2t)	46	20	25	19	108	88.9	210	256	M20 * 1.5	28.2	2.2	RE33-3
333A(333B)-5000	49.03KN(5t)	64	22	28	22	120.7	88.9	240	304	M24 * 2.0	31.8	2.8	RE33-4
333A(333B)-10000	98.07KN(10t)	70	32	28	38	177.8	125	312	382	M30 * 2.0	50.8	8.9	RE33-5

Figura 39: Dimensiones célula de carga modelo 333 (Fuente: Catálogo Ktoyo)

**Specification**

Model	333A	333B
Rated Capacity	490.3N(50kgf)~98.07KN(10t)	
Rated Output	2mv/v ± 0.5%	3mv/v ± 0.5%
Non-linearity	0.03% R.O.	
Hysteresis	0.03% R.O.	
Repeatability	0.02% R.O.	
Excitation	10V nominal, 15V max.	
Zero Balance	± 1% R.O.	
Resistance Input	400 Ω ± 25 Ω	
Resistance Output	350 Ω ± 5 Ω	
Temp. Range Compensated	-10 ~ 50°C	
Temp. Range Operating	-20 ~ 70°C	
Temp. Coef. Output	± 0.1% Load/10°C	
Temp. Coef. Zero	± 0.05% R.O./10°C	
Safe Overload	150% R.C.	
Cable	∅ 5mm x 4C x 3m	
Creep Error (20min)	0.03% max. Load	
Insulation Resistance Minimum @50V DC	2000 MΩ	
Protection Class	Environmentally Sealed(IP65)	

Figura 40: Especificaciones célula de carga modelo 333 (Fuente: Catálogo Ktoyo)

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

### Transmisor HX711 para célula de carga.

Este módulo transmisor HX711 es una interface entre la célula de carga y la placa de Arduino o la shield (microcontrolador), ya que permite leer la fuerza de la célula de carga.

Internamente posee una electrónica para la lectura del puente de Wheatstone formado por la célula de carga, ya que convierte la lectura analógica a lectura digital con su convertor A/D interno, de 24 bits.

Muy utilizado en aplicaciones de procesos industriales, sistemas de medición de parámetros industriales y la industria médica.

Se comunica con la placa Arduino o shield (microcontroladores) mediante 2 pins, llamados "Clock" y "Data", de forma serial.

Características del transmisor HX711:

- Voltaje de operación: 5 V DC.
- Consumo de corriente: menor a 10 mA.
- Voltaje de entrada diferencial:  $\pm 40$  mV.
- Resolución de conversión A/D: 24 bits.
- Frecuencia de refresco: 80 Hz.
- Dimensiones: 38mm X 21 mm X 10 mm.
- Tamaño compacto.
- Rango de temperatura: -40 - +85 °C
- En el chip se encuentra incorporado un oscilador, por lo tanto, no se requieren componentes externos.
- Posee 2 canales de entrada.
- Incluye Pin Headers.

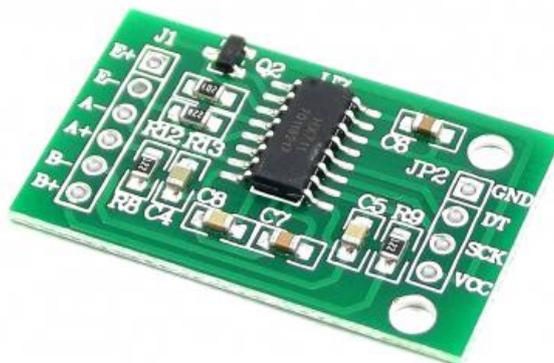


Figura 41: Transmisor HX711 para célula de carga (Fuente: Naylampmechatronics)

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

Conexionado entre el módulo HX711 y el microcontrolador.

<b>Módulo HX711</b>	<b>Microcontrolador</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pin VCC</li><li>▪ Pin GND</li><li>▪ Pin SCK</li><li>▪ Pin DT</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pin +5V</li><li>▪ Pin GND</li><li>▪ Pin A0</li><li>▪ Pin A1</li></ul>

Tabla 5: Conexionado entre el módulo HX711 y el microcontrolador (Fuente: Naylampmechatronics)

Conexionado entre el módulo HX711 y la célula de carga.

<b>Módulo HX711</b>	<b>Célula de carga</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pin A+</li><li>▪ Pin A-</li><li>▪ Pin E+</li><li>▪ Pin E-</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Cable negro</li><li>▪ Cable gris</li><li>▪ Cable rosa</li><li>▪ Cable blanco</li></ul>

Tabla 6: Conexionado entre el módulo HX711 y la célula de carga (Fuente: Naylampmechatronics)

Para que la función de este módulo sea efectiva, se debe tener la librería HX711 e incluirla en la programación [35].

## 1.4.6. CAJA PARA LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS.

La caja tiene las funciones de almacenar, proteger y posicionar todos los componentes eléctricos y electrónicos.

La caja tiene las siguientes características:

- La caja está diseñada para protección, de componentes eléctricos y electrónicos, frente a agentes externos.
- Si se fabrica, a gran escala, el proceso realizado es la de moldeo por inyección, con material ABS, de dos piezas, la cual están diseñadas específicamente para los diferentes componentes. Si se realiza como un prototipo inicial, se realiza la caja por el proceso de impresión 3D, con materiales como el PLA o ABS.
- Los diferentes componentes eléctricos y electrónicos se posicionan con silicona.
- Proporciona resistencia mecánica.
- Acceso a todos los conectores de cada componente.
- La tapa superior, normalmente, fijada por tornillos rosca chapa.



Figura 42: Ejemplos de cajas para los componentes eléctricos y electrónicos (Fuente: Google)

## 2. ESTUDIO DE MERCADO

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par  
y velocidad

## 2.1. ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE.

Entre las diversas posibilidades de sistemas de adquisición de datos de bajo coste, para la medición de par y velocidad es la de realizarla mediante componentes electrónicos, con Arduino, con sensores de efecto hall y con células de carga (LOAD CELL), para medición de velocidad y fuerza respectivamente, ya que se puede conseguir lecturas de datos de forma precisa y continua y obtener una amplia gama de componentes eléctricos y electrónicos, gracias a la gran variedad de combinaciones en el sector de la electrónica.

Para el almacenaje de datos, no hay grandes combinaciones en este aspecto, con una tarjeta SD se almacenan los datos.

Con lo cual, se busca precisión en las lecturas y almacenaje de datos para evitar las máximas pérdidas durante las mediciones.

Este tipo de sistema no es tan popularizado en el mercado, ya que es un campo donde tiene que ser muy preciso y la mano de obra, en este aspecto, suele ser elevado. Con lo cual, todo esto lleva al desarrollo de elaborar un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad, que permita que sea preciso la lectura y adquisición de datos, con un aparato autónomo y con el almacenaje, de ficheros que se deseen, en la tarjeta SD.

En la actualidad, este sistema de adquisición de datos se apuesta por la fiabilidad y la precisión de adquirir las lecturas y almacenaje de los datos, esto lleva a la elaboración de sistemas de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad, que mediante este método de medición de par y velocidad lleva a descubrir errores de funcionamiento, y el propio funcionamiento, en máquinas y mecanismos.

Este sistema permite evaluar, de una manera, rápida y segura el funcionamiento de máquinas y mecanismos.

## 2.2. ANÁLISIS DE LA COMPETENCIA.

Se elaborarán dos procesos de investigación, el primer proceso a elaborar es un estudio centralizado en las empresas del mercado, es decir, empresas que desarrollan sistemas de adquisición de datos.

Además, el segundo proceso de investigación se centra en analizar los productos que tienen cierta similitud, a la que se pretende llegar en este producto.

Con toda la información recogida, se estudiará la programación, dimensión, forma, etc... que utilizan en los productos del mercado, para tener una pauta, a la hora, de elaborar el producto.

La finalidad de este análisis de la competencia es elaborar un estudio de investigación para las diferentes partes del proceso de decisiones, para minimizar gastos y tiempo de realización del proyecto. Además, el análisis de la competencia permite visualizar nuevas ideas, solucionar problemas y conocer el producto de mercado.

### **Análisis de empresas desarrolladoras de sistemas de adquisición de datos, en el sector industrial.**



Empresa fundada en 1950, cuya actividad es la elaboración de productos que engloban toda la cadena de mediciones y ofrecen soluciones para obtener medidas eléctricas de magnitudes mecánicas.

HBM es una empresa de excelencia en pruebas y mediciones. Líder en tecnología y comercialización, con productos y servicios para un amplio rango de aplicaciones de medición en numerosas industrias [44].

Figura 43: Logo de la empresa HBM (Fuente: HBM)



SENSING es una empresa que se caracteriza por la venta de productos de calidad y servicio, para medición y ensayos. Cuenta con un amplio catálogo de empresas de instrumentación, que cuentan con todo tipo de instrumentación para la medida de parámetros físicos, principalmente mecánicos [15].

Figura 44: Logo de la empresa SENSING (Fuente: SENSING)



Empresa nacional fundada en el año 2000. Es la empresa líder en España que ofrece productos y servicios en el área de la calibración, potencia y energía, mantenimiento eléctrico y validación térmica [14].

Figura 45: Logo de la empresa MEGACAL (Fuente: MEGACAL)



Empresa que dio inicio en 1962, líder establecido en el mercado mundial de instrucción técnica. Generando productos para la medición y control de temperatura, humedad, presión, tensión, fuerza, etc... incluidos productos para la adquisición de datos e ingeniería personalizada [13].

Figura 46: Logo de la empresa OMEGA (Fuente: OMEGA)

### **Análisis de sistemas de adquisición de datos actuales**

Debido a la dificultad de procesamiento de datos encontrados en la elaboración del estudio de los sistemas de adquisición de datos, para mediciones, de parámetros del sector industrial. No se encuentra disponible en el mercado un sistema de adquisición de datos para la medición de velocidad y par, que tenga una cierta similitud con este proyecto. Por esta causa, se realiza un informe de la competencia, con lo cual, se tendrá como resultado otros sistemas de adquisición de datos.

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad



HBM edrive Testing es un sistema de medida para hacer pruebas con inversores y máquinas eléctricas, en el cual, se compone de un analizador de potencia y un sistema de adquisición de datos de medición (DAQ). Teniendo la gran ventaja de la fácil integración en bancos de pruebas [44].

Figura 47: Sistema de adquisición de datos para la medición de potencia (Fuente: HBM)



Sistema de adquisición de datos FLUKE 2639 (HYDRA III). Sistema de adquisición de datos de múltiples canales y alta exactitud para medidas de parámetros eléctricos, temperatura y sensores en entornos industriales, calidad y producción. Incorpora entradas de medida frontales y pantalla gráfica a color para ser usado como multímetro de banco. Con comunicación USB y Ethernet [14].

Figura 48: Sistema de adquisición de datos para mediciones de parámetros industriales (Fuente: MEGACAL)

## 2.3. DETERMINACIÓN DEL SEGMENTO DE MERCADO.

En todo producto, servicio, máquina o mecanismo es relativamente importante diseñarla y fabricarla, teniendo en mente que irá hacia el público. Para poder vender el producto, servicio, máquina o mecanismo al mercado con seguridad. En este proyecto, se realiza un producto de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad, en el cuál, va dirigida a las empresas del sector industrial y para las actividades educativas.

El segmento de mercado sería, como citado anteriormente, a empresas del sector industrial y las actividades educativas, en el cuál, se puedan acoplar los sensores (sensor efecto hall y célula de carga) para el sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad. Por otro lado, también en el sector de la biomecánica para las lecturas en bancos de ensayos para las bicicletas, incluso, realizando banco de ensayos para motocicletas y vehículos.

En general, para todo tipo de aplicaciones e actividades industriales y educativas, a las cuáles, se les puedan acoplar dichos sensores para el equipo de adquisición de datos de bajo coste, ya que equipos de este calibre los costes son elevados.

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par  
y velocidad

### 3. REQUISITOS Y ESPECIFICACIONES

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par  
y velocidad

## 3.1. REQUISITOS DEL EQUIPO PARA SU FUNCIONAMIENTO.

En este apartado, se habla sobre los aspectos básicos del equipo, que influyen sobre las mediciones de par y velocidad en los ensayos, son los siguientes:

### 3.1.1. MONTAJE DE LA CÉLULA DE CARGA.

Para el montaje de la célula de carga se tiene que tener en cuenta que su posicionamiento debe ser perpendicular al brazo de palanca, del motor-reductor. Cualquier posición que no sea perpendicular al brazo de palanca, los resultados de las pruebas se verán afectados, por el tipo de montaje puesto de dicho sensor, ya que serán unas lecturas más complejas, ya que interactúa un cierto ángulo, respecto al brazo de palanca. Los resultados a obtener son más complejos en este caso. Para las pruebas, el montaje de la célula de carga debe ser perpendicular al brazo de palanca, ya que la obtención de los resultados es más directa. Finalmente, el sensor irá montado a la máquina o mecanismo, en este caso, una cinta transportadora, mediante piezas mecanizadas y compradas.

### 3.1.2. MONTAJE DEL SENSOR DE EFECTO HALL.

Para el montaje del sensor de efecto hall se tiene que tener en cuenta la distancia entre el imán de neodimio y el propio sensor hall, para que haga una buena lectura de datos. El sensor de efecto hall está montado en la propia carcasa del reductor, en el cual, se encuentra enfocado al imán de neodimio. El imán de neodimio irá imantado al eje de salida del reductor.

### 3.1.3. SISTEMA DE CONTROL.

La adquisición de datos se obtiene mediante un sensor de efecto hall y la célula de carga.

Las lecturas de los sensores están controladas mediante Arduino, el cual, manda señales a la placa Data Logging Shield, que lleva acoplada un lector grabador de tarjetas SD para el almacenamiento de los datos de los sensores.

Las lecturas se almacenan en un archivo de bloc de notas, para su respectivo análisis de datos. Con el mando, cada vez que se habrá un fichero, al mismo tiempo, se crea un nuevo archivo de bloc de notas.

### 3.1.4. OTRAS CONSIDERACIONES.

Las consideraciones adicionales que permiten el buen uso y a la obtención de los resultados con exactitud son:

- Proteger el equipo contra sustancias externas y de daño ambiental y/o accidental.
- Colocar el equipo en un lugar sin riesgo de impactos o caídas.
- Evitar un peso excesivo de la caja del equipo, para colocarla en lugares de difícil acceso.
- Asegurar el correcto almacenaje y lectura de datos de los sensores.
- Para el correcto funcionamiento del equipo se puede comprobar las lecturas dadas en la pantalla, display LCD.

## 4. DESARROLLO DEL EQUIPO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par  
y velocidad

## 4.1. NORMATIVA APLICABLE.

Este apartado, refleja la normativa vigente que sirve para la elaboración del desarrollo del proyecto, las cuales son obtenidas en la base de datos del BOE y AENOR.

La Directiva 2014/30/UE regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos que puedan crear perturbaciones electromagnéticas, o cuyo normal funcionamiento puede verse perjudicado por dichas perturbaciones, exigiendo que cumplan un nivel adecuado de compatibilidad electromagnética a fin de garantizar el funcionamiento del mercado interior. La directiva 2014/30/UE, adoptada según los principios del Nuevo Marco Legislativo, armoniza los requisitos esenciales relacionados con la compatibilidad electromagnética aplicables al diseño y fabricación de los equipos eléctricos y electrónicos.

Comunicación de la comisión europea en el marco de la aplicación Directiva 2004/108/CE del Parlamento Europeo y del consejo, de 15 de diciembre de 2004, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética y por la que se deroga la Directiva 89/336/CEE.

Real Decreto 186/2016, de 6 de mayo, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos.

Real Decreto 188/2016, de 6 de mayo, por lo que se aprueba el Reglamento por el que se establecen los requisitos para la comercialización, puesta en servicio y uso de equipos radioeléctricos, y se regula el procedimiento para la evaluación de la conformidad, la vigilancia del mercado y el régimen sancionador de los equipos de telecomunicación.

UNE-EN ISO 225:2011. Elementos de fijación. Pernos, tornillos, espárragos y tuercas. Símbolos y designación de las dimensiones.

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

UNE-ISO 690:2013. Información y documentación. Directrices para la redacción de referencias bibliográficas y de citas de recursos de información.

UNE 1039:1994. Acotación. Principios generales, definiciones, métodos de ejecución e indicaciones especiales.

UNE 17703:2004. Rosca métrica ISO para usos generales. Selección de diámetros y pasos para tornillería.

UNE-EN 27721:1992. Tornillos de cabeza avellanada. Configuración y calibración de la cabeza.

UNE-EN 60204-1:2007. Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de máquinas. Requisitos generales.

UNE 66916:2003. Sistemas de gestión de calidad. Directrices para la gestión de calidad en los proyectos.

UNE 157001:2014. Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.

## 4.2. FASE DE DISEÑO.

En este apartado, con la aclaración de todos los requisitos y especificaciones, se empieza con varios diseños y/o ideas iniciales para solucionar los problemas presentados. Con lo cual, en los puntos siguientes se explicará y representará la solución para el desarrollo de este proyecto.

### 4.2.1. CAJA ARDUINO.

Para el diseño de la caja arduino se pretende obtener un diseño sencillo, el cual tenga una disposición para el posicionamiento de los diferentes componentes eléctricos y electrónicos. La caja arduino sea capaz de tener las salidas de conexión tanto para los sensores, como para las fuentes de alimentación.

La caja arduino está compuesta por dos componentes, son los siguientes:

- Tapa superior.
- Caja arduino.

Con varios diseños realizados, se llega a la obtención del diseño deseado, que se puede observar en la figura 49 y 50.

Diseño caja arduino:

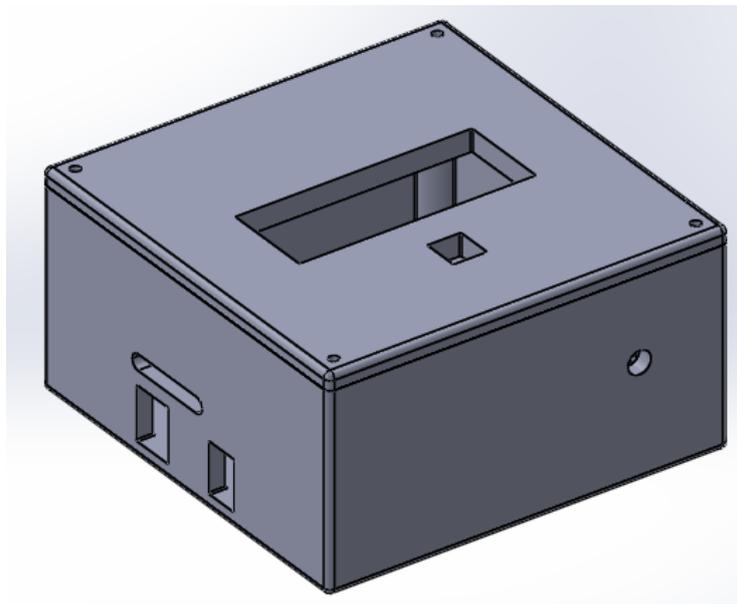


Figura 49: Diseño final de la caja arduino (Fuente: Propia)

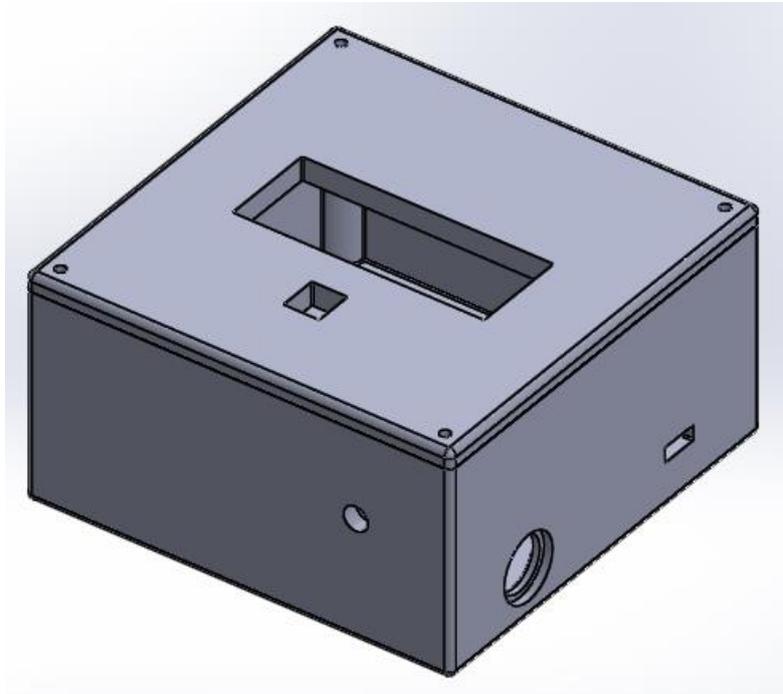


Figura 50: Diseño final de la caja arduino (Fuente: Propia)

## 4.2.2. CIRCUITO ELÉCTRICO.

Para el diseño del circuito eléctrico se pretende que sea compacto, el cual disponga del menor número de cables, y los componentes eléctricos y electrónicos queden en una disposición ordenada en la caja arduino, y además tengan las funciones que se pretenden en el proyecto, como son la visualización de las medidas, alimentación del equipo, almacenamiento de las lecturas, etc.

Después de realizar varios diseños iniciales del circuito eléctrico, se llega a un diseño final para llegar a lo nombrado anteriormente.

En la figura 51, se puede observar el circuito eléctrico, de una forma más vistosa.

En el apartado apéndices, en planos acotados y eléctricos se observan los planos eléctricos, de una forma más esquemática.

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

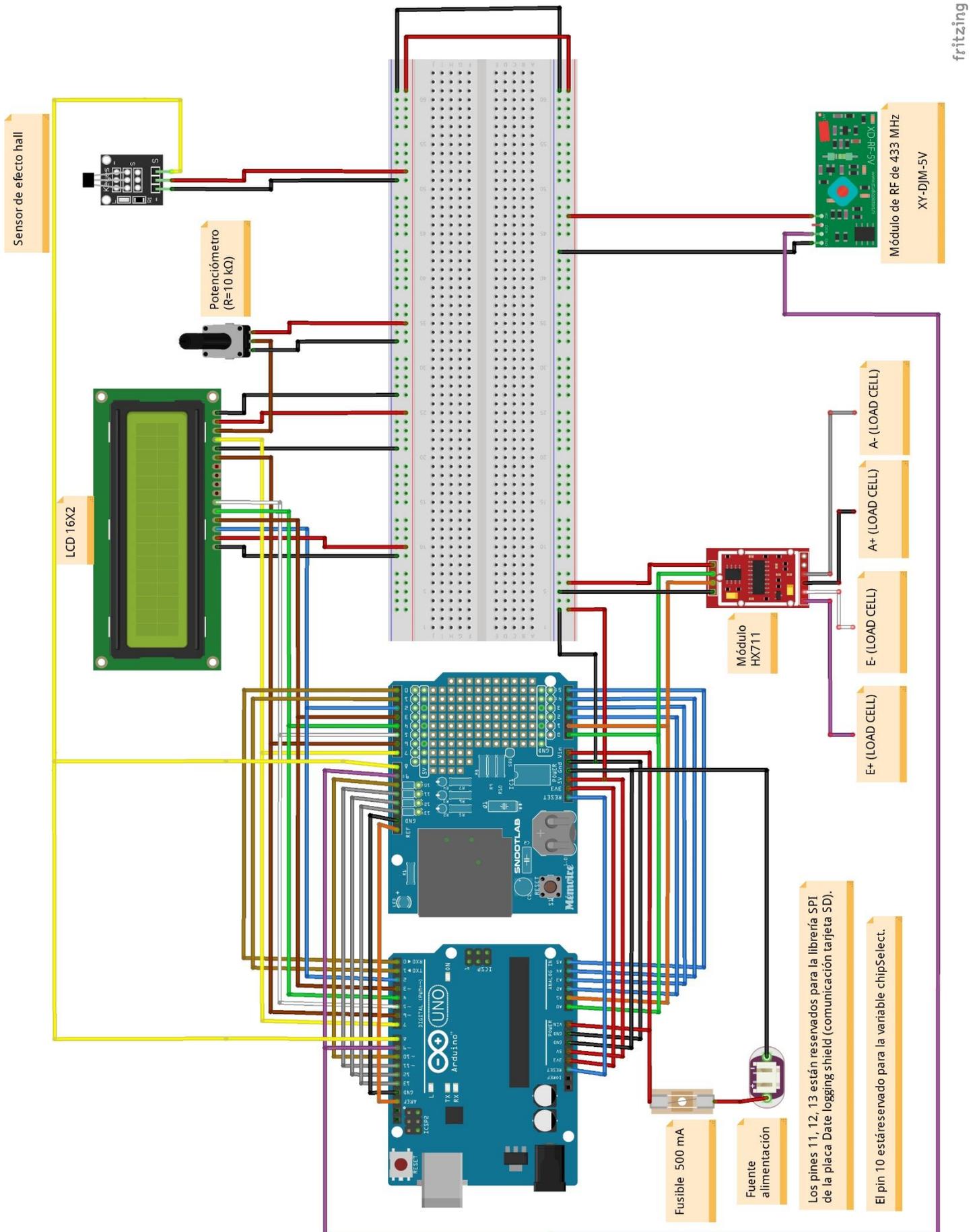


Figura 51: Diseño final del circuito eléctrico (Fuente: Propia)

### 4.2.3. PROGRAMACIÓN.

Con varios diseños realizados para el código de programación. El diseño final tiene un código efectivo para los objetivos que se requiere para este proyecto.

Para el código de programación se pretenden obtener las medidas de fuerza (N) y velocidad (rpm), y las lecturas queden almacenadas en una tarjeta SD. Por tanto, dichas medidas son realizadas mediante un código de programación. Además, el código tiene realizado la parte de almacenamiento para la tarjeta SD y el mando remoto, el cual es el componente que abre y cierra los ficheros que se almacenan. Finalmente, el código de programación tiene la parte de visualización de las medidas en el display LCD.

En el apartado apéndices se observa el código de programación.

### 4.3. SELECCIÓN DE MATERIALES.

En este apartado, se verán los distintos materiales que se pueden utilizar para la caja arduino. Finalmente, se nombra y se justifica el porqué de utilizar dicho material para tal fin.

#### 4.3.1. MATERIALES DE LA CAJA ARDUINO.

De primero, la caja arduino, para este proyecto, será un prototipo para el soporte, almacenamiento y posicionamiento de los diferentes componentes eléctricos y electrónicos. Con lo cual, los materiales utilizados para un prototipo para este tipo de piezas son los siguientes:

- Ácido poliláctico (PLA).
- Poliamida (NYLON).
- Tereftalado de polietileno modificado (PET-G).
- Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS).
- Acetato de polivinilo (PVA).
- Poliuretano termoplástico (TPU).

Como lo que se requiere es un prototipo, el cual haga de soporte, almacenamiento y posicionamiento de los diferentes componentes eléctricos y electrónicos. Se llega a que la caja arduino no va a ser una pieza, la cual tenga que soportar esfuerzos, presiones o fuerzas que propicie a obtener unas cualidades específicas de material para dar soporte a dichos esfuerzos, presiones o fuerzas. Con lo que se requiere en la caja arduino es que el material sea para un prototipo, ligereza (baja densidad) y que tenga un coste mínimo.

Con un análisis de los diferentes materiales, anteriormente nombrados, se llega a la conclusión de que el material seleccionado para tal fin es el ácido poliláctico (PLA).

El ácido poliláctico (PLA) es un polímero biodegradable, sostenible al medio ambiente y reciclable. Fabricado a partir de fuentes orgánicas. Este tipo de material, más común, utilizado en las impresoras 3D FFF por la facilidad de uso y la amplia gama de aplicaciones (como, por ejemplo: maquetas arquitectónicas, prototipos conceptuales y estéticos, prototipos que no requieren de altas propiedades mecánicas y térmicas, etc.). Definitivamente, es un buen punto de inicio para realizar prototipos de este tipo de aplicación.

En el capítulo de apéndices, se puede observar las propiedades del material, llamado ácido poliláctico (PLA).

## 4.4. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE ESTADOS TENSIONALES.

Con el diseño de la caja arduino, a través del software SolidWorks, quedan las piezas correctamente definidas y preparadas para su fabricación. Con esto, se realizará un estudio de un comportamiento de impacto de la caja arduino. Por tanto, se determinará si la caja arduino es adecuada y se pueda fabricar. Si no fueran adecuadas las piezas de la caja arduino, se tendrá que rediseñar y volver a realizar estos comportamientos hasta que cumpla los requerimientos del proyecto.

Se realiza una simulación, con el objeto de observar el comportamiento que tendrá la caja arduino (análisis de impacto).

#### 4.4.1. ANÁLISIS DE IMPACTO.

En esta simulación, se comete a la caja arduino a un comportamiento de impacto, el cual se interpone una barra rígida (suelo) a la pieza, que está a 45° respecto al suelo. Se deja caer la pieza verticalmente desde la altura de la mesa (1,30 m), de las cuales las condiciones iniciales son las siguientes.

$$E_p = E_c;$$

$$m \cdot h \cdot g = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2;$$

$$v^2 = 2 \cdot h \cdot g;$$

$$g = 9,81 \text{ [m}^2/\text{s]}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \text{ [m}^2/\text{s}] \cdot 1,30 \text{ [m]};}$$

$$v = 5,05 \text{ [m/s]}$$

Finalmente, se extraerán las soluciones de deformación total (mm), tensión equivalente (MPa) y la tensión plástica equivalente (mm/mm).

## 4.5. SIMULACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (FEM).

Con los diseños de las piezas obtenidas y los materiales debidamente seleccionados, que se utilizarán para la fabricación, se realiza la simulación de impacto para ver el comportamiento de las diferentes piezas y su conjunto.

### 4.5.1. SIMULACIÓN DE IMPACTO.

En esta simulación, se analiza el comportamiento de la caja arduino frente a un impacto con condiciones aproximadas a la realidad. Se realiza la simulación mediante el método de elementos finitos (FEM), a través del software Ansys Workbench. La simulación se realiza con el material que se ha seleccionado para los componentes de la caja arduino con el espesor del diseño realizado, ya que el modelo de la simulación es de tipo cáscara.

En la simulación de impacto se interpone una barra rígida (suelo) a la pieza, que está a 45° respecto al suelo. Se deja caer la pieza verticalmente desde la altura de la mesa (1,30 m), cuya velocidad (condición inicial) es 5,05 [m/s].

Después se extraerán las soluciones de deformación total (mm), tensión equivalente (MPa) y deformación unitaria (mm/mm).

Se detallarán los pasos realizados para la introducción de los diferentes datos. Se realiza la simulación con el material que se selecciona anteriormente, ácido poliláctico (PLA).

Con el diseño del ensamblaje realizado y pasado a formato de cáscara, se abre el Ansys Workbench.

Una vez abierto el Ansys Workbench, en la pestaña "Toolbox", se arrastra hacia el esquema de proyecto el "Explicit Dynamics" (pestaña de "Toolbox": "Analysis Systems"), "Engineering Data" (pestaña de "Toolbox": "Component Systems") y "Geometry" (pestaña de "Toolbox": "Component Systems").

En la figura 52, se observa el esquema del proyecto de la simulación de impacto, con el "Engineering Data" y "Geometry" enlazados con el "Explicit Dynamics".

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

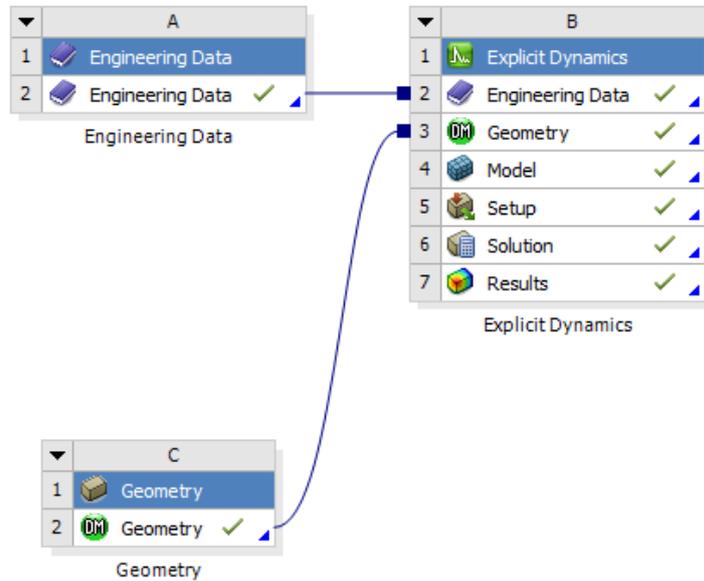


Figura 52: Esquema de proyecto de la simulación de impacto (Fuente: Propia)

Después de realizar el esquema del proyecto, en la parte de “Engineering Data” se selecciona el material, en este caso “Concreto” y “PLA”, del suelo y la caja arduino respectivamente. En la figura 53, se observa la selección del material.

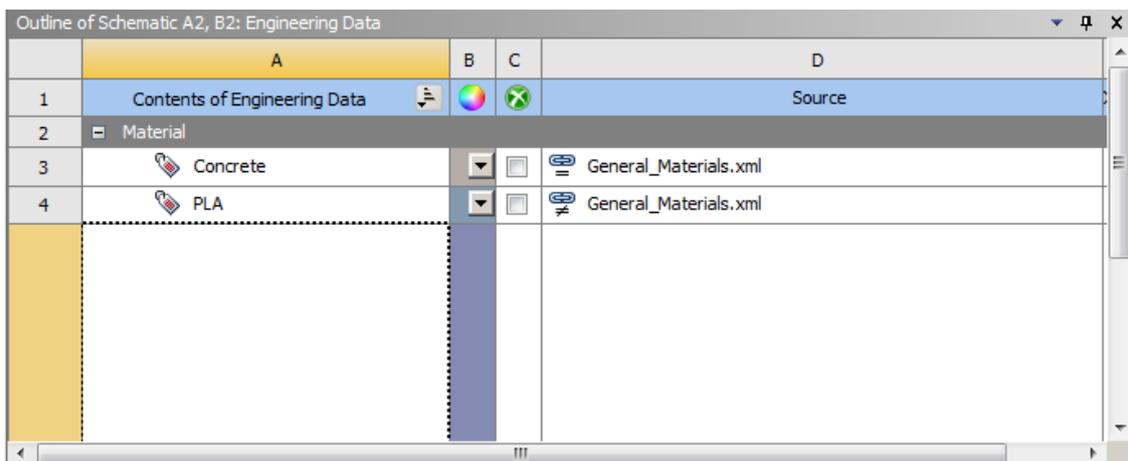


Figura 53: Selección del material (Fuente: Propia)

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

Con la selección del material realizada, se procede a la introducción del diseño que se realiza en la simulación de impacto.

Con el botón derecho del ratón en la pestaña “Geometry”, se introduce el diseño editado desde “DesignModeler” para que este en formato cáscara. Cambiando el formato .STEP (sólido) a formato cáscara.

En la figura 54, se observa cómo se introduce la geometría de la simulación de impacto.

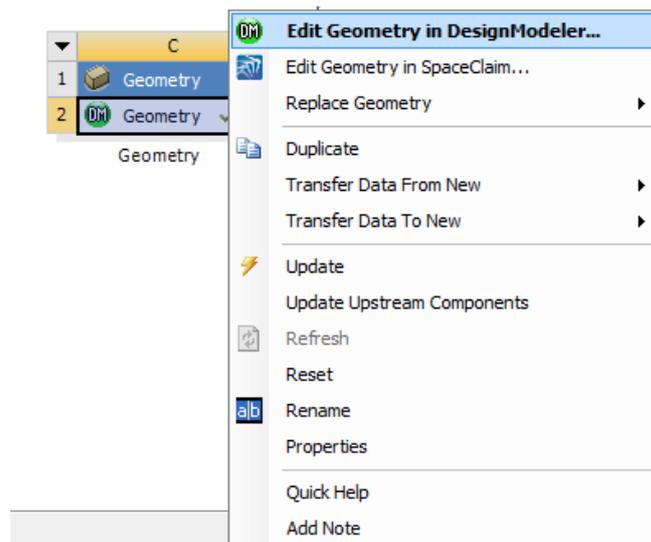


Figura 54: Introducción del diseño de la simulación estática (Fuente: Propia)

Con todo esto realizado, se da doble clic en la pestaña “Model” del “Explicit Dynamics” para dar comienzo a la parte del “Mechanical”.

Con la parte del “Mechanical” abierta, se procede a asignar el material en cada pieza del ensamblaje. Se selecciona la pieza en la parte “Geometry” y se cliquea el material introducido.

En la figura 55, se observa un ejemplo de asignación del material en la pieza.

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

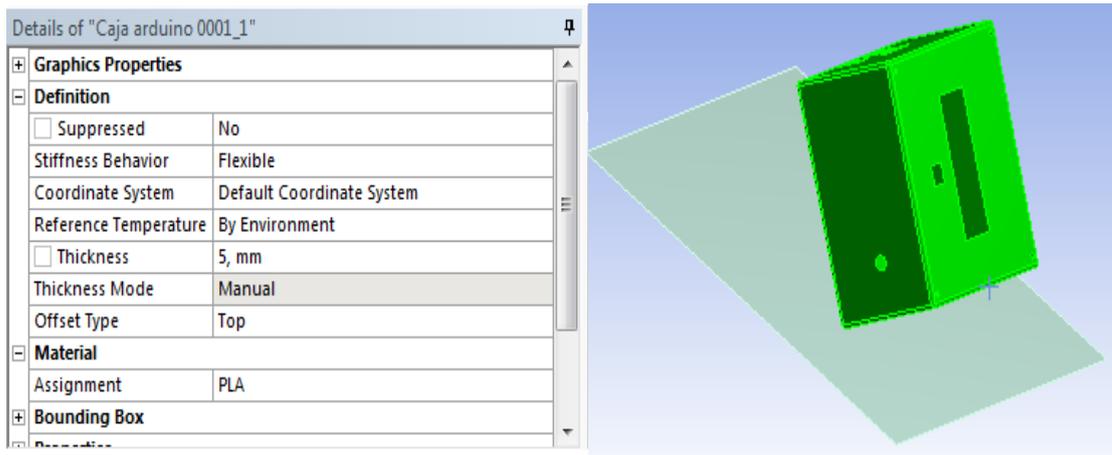


Figura 55: Asignación del material (Fuente: Propia)

Cabe nombrar que al abrir el “mechanical” hay que indicar el espesor de cada componente. Como se observa en la figura 55, en la pestaña “definition”: “Thickness”.

Después en la pestaña “Connections” > “Body Interactions” > “Body Interaction”. Se define el tipo de contacto, en este caso el tipo de contacto es “Frictionless”, con todas las geometrías escogidas. En la figura 56, se observa el ejemplo de contacto de la simulación de impacto.

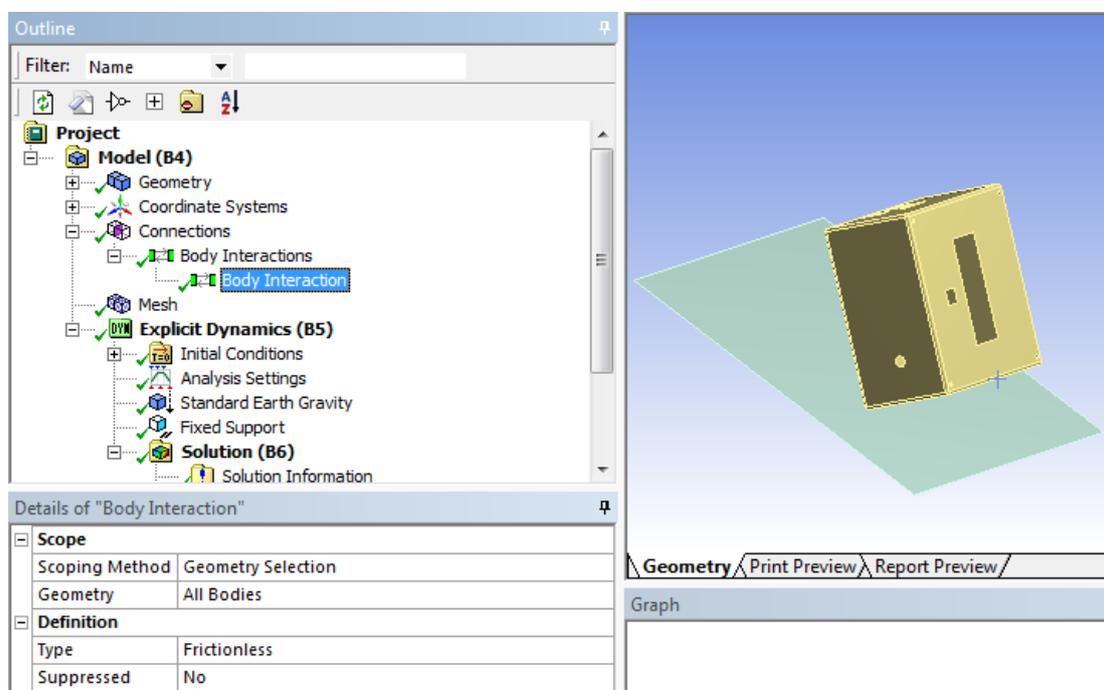


Figura 56: Asignación de contactos (Fuente: Propia)

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

Con todo esto, se realiza la parte del mallado (“Mesh”). Después de realizar el mallado, se llega a tener las siguientes características de malla, que para el ingeniero son adecuadas para la simulación de impacto:

- Número de nodos: 31870
- Número de elementos: 31488
- Calidad del elemento (“Average”): 0,98

En las siguientes figuras, se observa el mallado del ensamblaje y la gráfica de calidad de mallado.

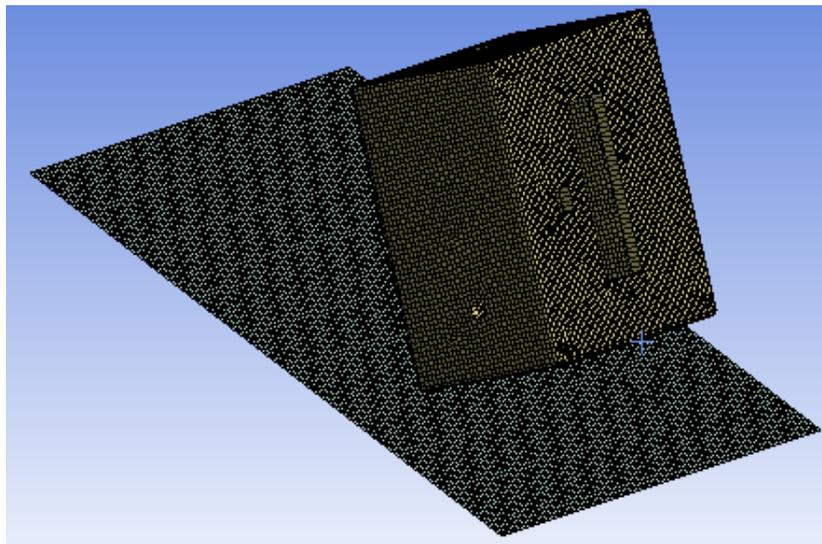


Figura 57: Mallado del ensamblaje (Fuente: Propia)

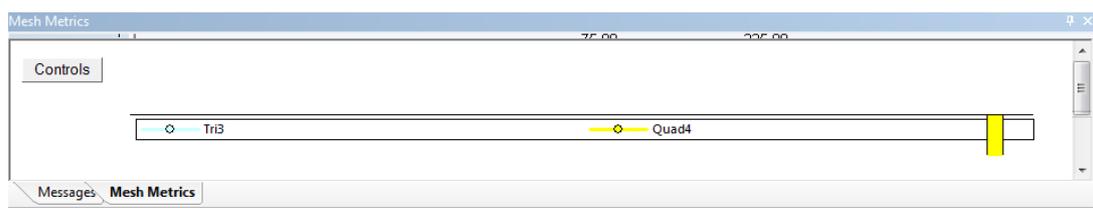


Figura 58: Gráfica de calidad de malla con un “Average” de 0,98 (Fuente: Propia)

Con todo esto realizado, se configura la parte de “Explicit Dynamics” para la simulación de impacto.

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

De primero, se configuran las condiciones iniciales la simulación de impacto. En la figura 59, se observa la condición inicial de velocidad de la simulación de impacto.

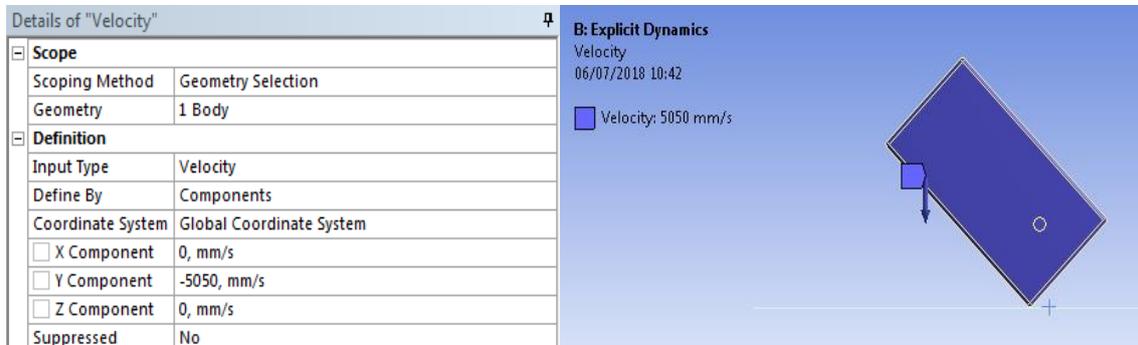


Figura 59: Condición inicial de velocidad (Fuente: Propia)

Con la configuración de los parámetros iniciales, se procede a insertar las cargas. En la simulación de impacto se inserta la gravedad. En la figura 60, se observa la inserción de la gravedad.

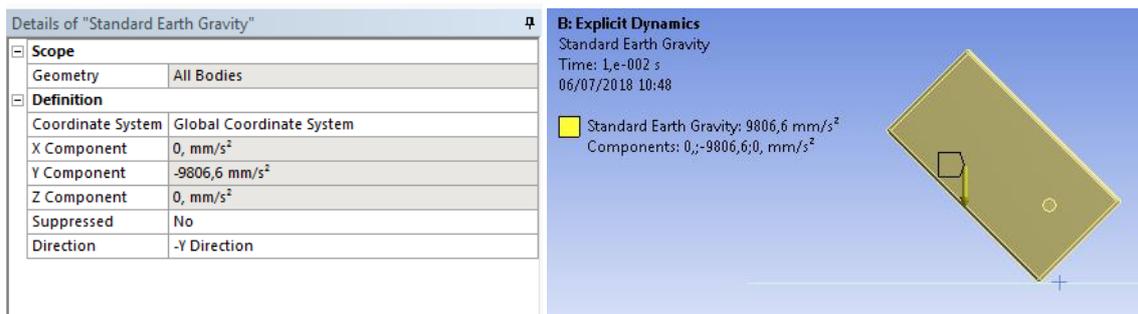


Figura 60: Inserción de las cargas en la simulación de impacto (Fuente: Propia)

Con la inserción de las cargas, se procede a la inserción de los soportes. En el cual, el soporte será el suelo. En la figura 61, se observa la inserción de los soportes.

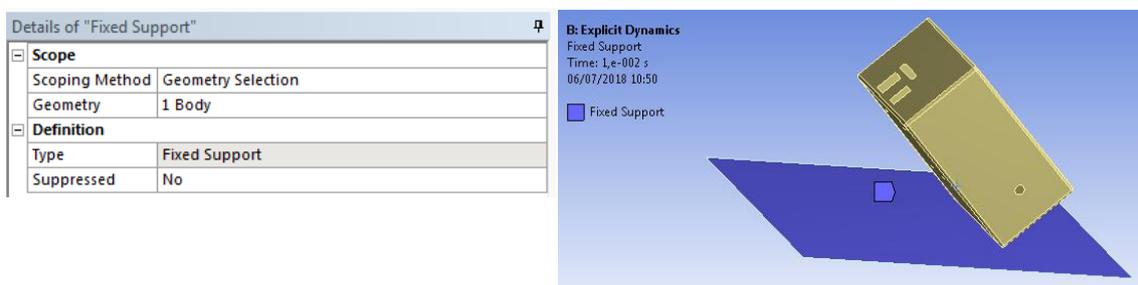


Figura 61: Inserción de los soportes en la simulación de impacto (Fuente: Propia)

Finalmente, se da clic a la pestaña de "Solve" para resolver la simulación de impacto.

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

Con todo realizado, en las siguientes figuras se observan las soluciones de deformación total (mm), tensión equivalente (MPa) y deformación unitaria (mm/mm).

- Deformación total (mm):
  - Deformación total máxima (mm): 48,33
  - Deformación total mínima (mm): 0

A continuación, en la figura 62, se observa la solución de deformación total (mm).

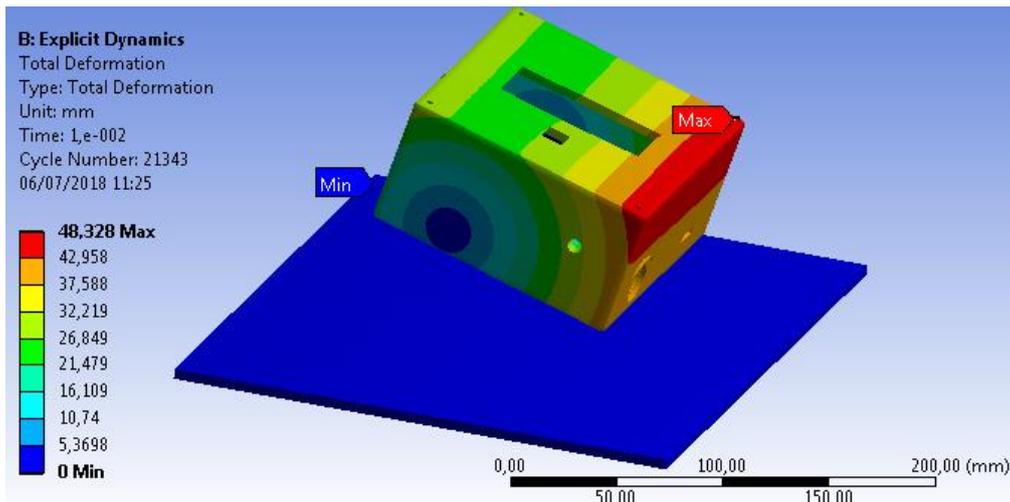


Figura 62: Solución de deformación total (mm) (Fuente: Propia)

- Deformación unitaria (mm/mm):
  - Deformación unitaria máxima (mm/mm):  $2,0245 \cdot 10^{-2}$
  - Deformación unitaria mínima (mm/mm): 0

A continuación, en la figura 63, se observa la solución de deformación plástica equivalente (mm/mm).

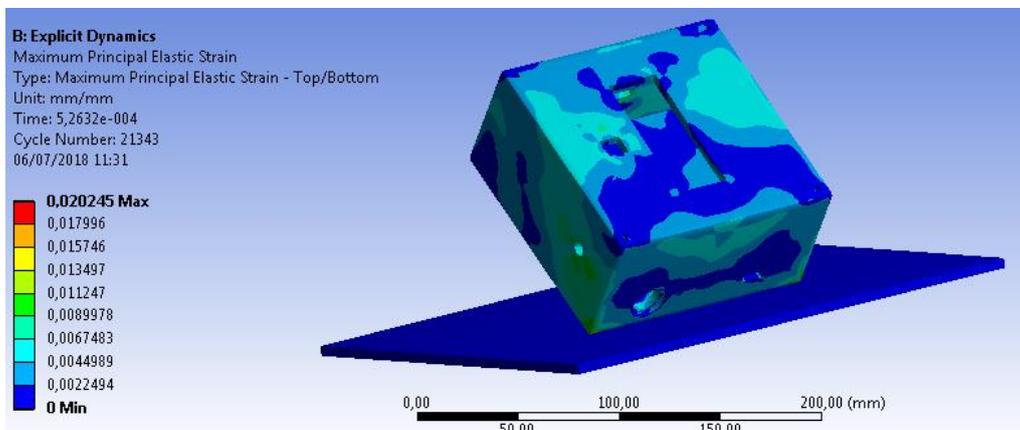


Figura 63: Solución de deformación unitaria (mm/mm) (Fuente: Propia)

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

- Tensión equivalente (MPa):
  - Tensión equivalente máxima (MPa): 68,29
  - Tensión equivalente mínima (MPa): 0

A continuación, en la figura 64, se observa la solución de tensión equivalente (MPa).

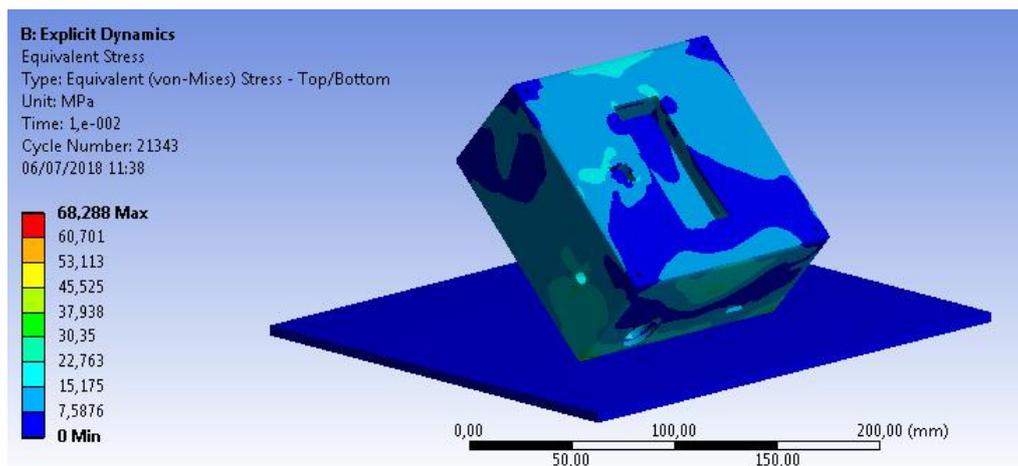


Figura 64: Solución de tensión equivalente (MPa) (Fuente: Propia)

Finalmente, se concluye en que las soluciones obtenidas de la simulación de impacto son adecuadas, ya que la caja del equipo no estará sometida a riesgo de impacto, aun con riesgo de impacto la caja arduino no romperá, solo se deformará.

## 4.6. FABRICACIÓN.

Con los materiales seleccionados correctamente, con los requerimientos de cada diseño, se determina el proceso de fabricación, el cual conformarán las piezas. Se explicará el proceso de fabricación que se realizará para la consecución del prototipo de la caja arduino.

### 4.6.1. IMPRESIÓN 3D.

La impresión en 3D es el proceso de fabricación aditiva (AM) más conocido. Por tanto, es una tecnología muy utilizada para la creación de prototipos. Para la creación de prototipo u objetos en 3D, se puede realizar en los siguientes pasos.

De primero, se diseña y prepara el prototipo u objeto antes de enviarlo a la impresora 3D. La parte de diseño se suele realizar en programas de diseño en 3D, como, por ejemplo: SolidWorks, Inventor, etc.

Una vez diseñado el prototipo u objeto, se guarda en un archivo de formato .stl.

Después de tener el diseño en un archivo de formato .stl, se abre un software para posicionar el prototipo u objeto sobre la placa de impresión, y así se sabe los soportes mínimos de material y que cabe en la placa de impresión.

De segundo, se realiza el paso de impresión en 3D. Las impresoras 3D tienen una amplia variedad de materiales. En la impresora 3D, el filamento se calienta y se extruye a través de una boquilla.

Durante la impresión en 3D, la boquilla extrudirá algunas capas, más finas, de plástico, las cuales serán el material de soporte, es decir, ayudan durante el proceso de impresión en 3D para que la pieza se mantenga y se imprima adecuadamente. El material de soporte es necesario, ya que cuando se imprimen las piezas diseñadas en 3D para ser colgadas o que sobresalen del objeto 3D a imprimir.

En la parte de la extrusión, el plástico necesita enfriarse para mantener su forma. El tiempo de la impresión puede variar, y depende, principalmente, de factores como el relleno, tamaño o complejidad del prototipo u objeto a imprimir en 3D.

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

Con el prototipo u objeto en 3D ya impreso, hay que quitar el material sobrante, que serán los soportes practicados en el proceso de impresión en 3D para mantener la pieza e imprimirla adecuadamente. Para quitar los soportes se puede usar herramientas como alicates, cúter o con las propias manos para quitarlos.

Una vez limpio de soportes, el prototipo u objeto está listo para su función [45].

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Versatilidad.</li><li>▪ Flexibilidad y prototipado rápido.</li><li>▪ Reducción de costes.</li><li>▪ Personalización.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Pérdidas de trabajo.</li><li>▪ Tiempo de producción.</li><li>▪ Dependencia de los plásticos.</li><li>▪ Contaminación de los plásticos.</li></ul>

Tabla 7: Ventajas y desventajas de la impresión en 3D (Fuente: diseño y impresión en 3D)

A continuación, se observan las siguientes figuras de la impresión en 3D de la caja arduino.



Figura 65: Diseño de la tapa superior de la caja arduino (Fuente: Propia)

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

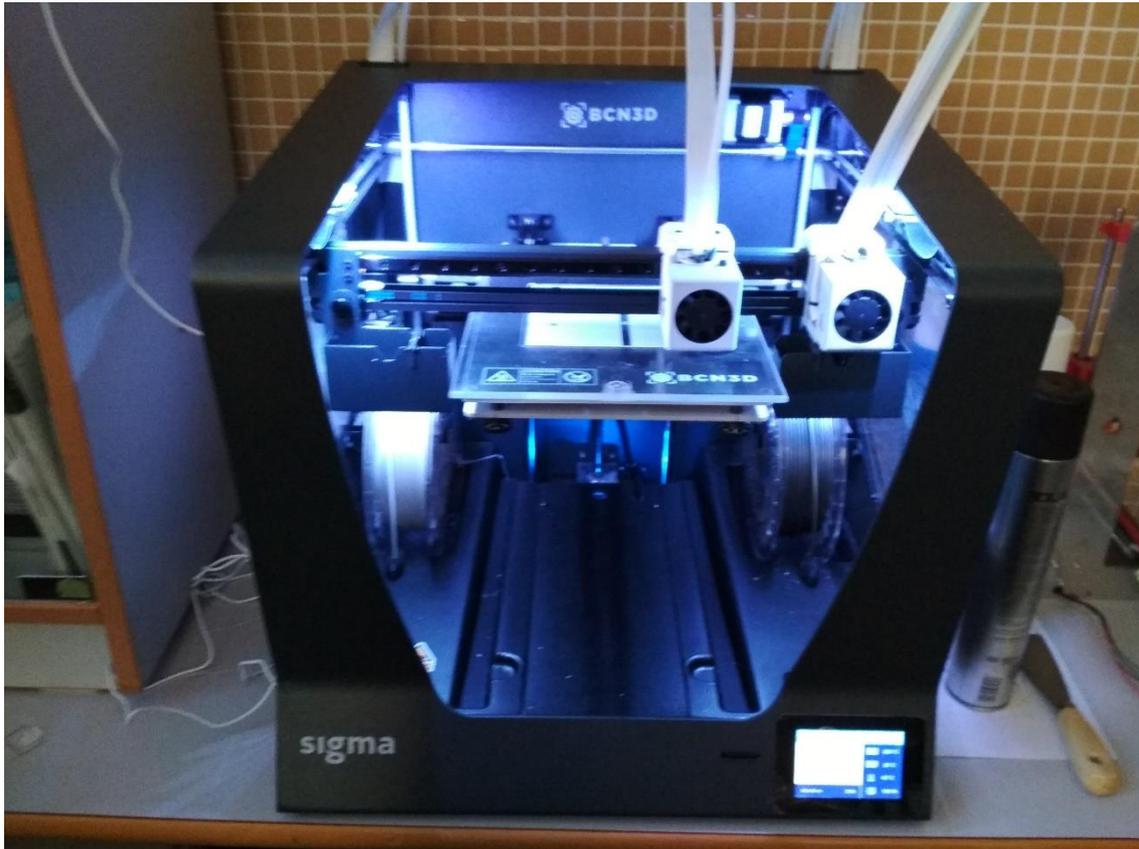


Figura 66: Diseño de la caja arduino (Fuente: Propia)

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par  
y velocidad

## 5. APLICACIÓN

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par  
y velocidad

## 5.1. CÁLCULOS.

Antes de empezar a realizar los diseños, se procede a realizar cálculos estimativos de la velocidad (rpm) y de fuerza (N), a la salida del motor-reductor y del brazo de palanca respectivamente. Con lo cual, se determina la velocidad (rpm) que debe leer el sensor hall y la fuerza (N) que debe asumir la célula de carga para la medición de la fuerza aplicada en el brazo de palanca.

En este caso, el taller de la empresa, donde se realizan las pruebas en la cinta transportadora, hay dos motores eléctricos, un motor eléctrico de 250 W y otro de 370 W, que se utilizan para el movimiento de la cinta transportadora. Con lo cual, se realizan los siguientes cálculos de cada motor eléctrico para validar que se puedan utilizar los sensores.

Los siguientes cálculos son del motor eléctrico de 370 W.

De primero, se va a recopilar todos los datos de partida.

Datos de partida	
▪ Potencia motor eléctrico (W)	370
▪ Velocidad (rpm)	1360
▪ Distancia brazo de palanca (mm)	100
▪ Relación de transmisión (i)	20

Tabla 8: Datos de partida (Fuente: Propia)

Con los datos de partida se procede a realizar el cambio de unidades de potencia, velocidad y distancia entre centros, para realizar los cálculos.

$$P_{Motor\ eléctrico} = 370 \text{ [W]}$$

$$v_{Motor\ eléctrico} = 1360 \text{ [rpm]} \cdot \frac{2 \cdot \pi \text{ [rad.]}}{1 \text{ [rev.]}} \cdot \frac{1 \text{ [min]}}{60 \text{ [s]}} = 142,42 \text{ [rad/s]}$$

$$v_{Motor\ eléctrico} = 142,42 \text{ [rad/s]}$$

$$d_{Brazo\ de\ palanca} = 100 \text{ [mm]} \cdot \frac{1 \text{ [m]}}{1000 \text{ [mm]}} = 0,1 \text{ [m]}$$

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

Con lo cual, se procede a los cálculos de velocidad angular (salida del reductor), par de transmisión y, por consiguiente, el cálculo de la fuerza que se produce en el brazo de palanca.

De primero, se realiza el cálculo de velocidad angular a la salida del reductor.

$$i = \frac{\omega_{Motor\ eléctrica}}{\omega_{Reductor}} ; \quad \omega_{Reductor} = \frac{\omega_{Motor\ eléctrica}}{i} ;$$

$$\omega_{Reductor} = \frac{142,42 \text{ [rad/s]}}{20} = 7,12 \text{ [rad/s]}$$

Para la lectura del sensor hall (rpm), se procede al cambio de unidades.

$$\begin{aligned} \omega_{Reductor} &= 7,12 \text{ [rad/s]} \cdot \frac{1 \text{ [rev.]} }{2 \cdot \pi \text{ [rad.]} } \cdot \frac{60 \text{ [s]} }{1 \text{ [min.]} } = \\ &= 67,99 \text{ [rpm]} \cong 68 \text{ [rpm]} \end{aligned}$$

De segundo, se realiza el cálculo del par de transmisión a la salida del reductor.

$$P_{Motor\ eléctrica} = T_{Reductor} \cdot \omega_{Reductor} ; \quad T_{Reductor} = \frac{P_{Motor\ eléctrica}}{\omega_{Reductor}} ;$$

$$T_{Reductor} = \frac{370 \text{ [W]}}{7,12 \text{ [rad/s]}} = 51,97 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

$$T_{Reductor} = 52 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

De tercero, se realiza el cálculo de la fuerza que se produce en el brazo de palanca.

$$T_{Reductor} = F_{Brazo\ de\ palanca} \cdot d_{Brazo\ de\ palanca} ;$$

$$F_{Brazo\ de\ palanca} = \frac{T_{Reductor}}{d_{Brazo\ de\ palanca}} ;$$

$$F_{Brazo\ de\ palanca} = \frac{52 \text{ [N} \cdot \text{m]}}{0,1 \text{ [m]}} = 520 \text{ [N]}$$

Finalmente, se obtienen los siguientes resultados:

Resultados	
▪ <b>Velocidad (rpm)</b>	68
▪ <b>Fuerza brazo de palanca (N)</b>	520

Tabla 9: Resultados finales del motor eléctrico 370 W (Fuente: Propia)

Los siguientes cálculos son para el motor eléctrico de 250 W.

De primero, se va a recopilar todos los datos de partida.

Datos de partida	
▪ <b>Potencia motor eléctrico (W)</b>	250
▪ <b>Velocidad (rpm)</b>	1380
▪ <b>Distancia brazo de palanca (mm)</b>	100
▪ <b>Relación de transmisión (i)</b>	20

Tabla 10: Datos de partida (Fuente: Propia)

Con los datos de partida se procede a realizar el cambio de unidades de potencia, velocidad y distancia entre centros, para realizar los cálculos.

$$P_{Motor\ eléctrica} = 250 \text{ [W]}$$

$$v_{Motor\ eléctrica} = 1380 \text{ [rpm]} \cdot \frac{2 \cdot \pi \text{ [rad.]}}{1 \text{ [rev.]}} \cdot \frac{1 \text{ [min.]}}{60 \text{ [s]}} = 144,51 \text{ [rad/s]}$$

$$v_{Motor\ eléctrica} = 144,51 \text{ [rad/s]}$$

$$d_{Brazo\ de\ palanca} = 100 \text{ [mm]} \cdot \frac{1 \text{ [m]}}{1000 \text{ [mm]}} = 0,1 \text{ [m]}$$

Con lo cual, se procede a los cálculos de velocidad angular (salida del reductor), par de transmisión y, por con siguiente, el cálculo de la fuerza que se produce en el brazo de palanca.

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

De primero, se realiza el cálculo de velocidad angular a la salida del reductor.

$$i = \frac{\omega_{Motor\ eléctrica}}{\omega_{Reductor}} ; \quad \omega_{Reductor} = \frac{\omega_{Motor\ eléctrica}}{i} ;$$

$$\omega_{Reductor} = \frac{144,51 \text{ [rad/s]}}{20} = 7,23 \text{ [rad/s]}$$

Para la lectura del sensor hall (rpm), se procede al cambio de unidades.

$$\begin{aligned} \omega_{Reductor} &= 7,23 \text{ [rad/s]} \cdot \frac{1 \text{ [rev.]} }{2 \cdot \pi \text{ [rad.]}} \cdot \frac{60 \text{ [s]} }{1 \text{ [min.]}} = \\ &= 69,04 \text{ [rpm]} \cong 69 \text{ [rpm]} \end{aligned}$$

De segundo, se realiza el cálculo del par de transmisión a la salida del reductor.

$$P_{Motor\ eléctrica} = T_{Reductor} \cdot \omega_{Reductor} ; \quad T_{Reductor} = \frac{P_{Motor\ eléctrica}}{\omega_{Reductor}} ;$$

$$T_{Reductor} = \frac{250 \text{ [W]}}{7,23 \text{ [rad/s]}} = 34,58 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

$$T_{Reductor} = 34,58 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

De tercero, se realiza el cálculo de la fuerza que se produce en el brazo de palanca.

$$T_{Reductor} = F_{Brazo\ de\ palanca} \cdot d_{Brazo\ de\ palanca} ;$$

$$F_{Brazo\ de\ palanca} = \frac{T_{Reductor}}{d_{Brazo\ de\ palanca}} ;$$

$$F_{Brazo\ de\ palanca} = \frac{34,58 \text{ [N} \cdot \text{m]}}{0,1 \text{ [m]}} = 345,80 \text{ [N]}$$

Finalmente, se obtienen los siguientes resultados:

Resultados	
▪ <b>Velocidad (rpm)</b>	69
▪ <b>Fuerza brazo de palanca (N)</b>	345,80

Tabla 11: Resultados finales del motor eléctrico 250 W (Fuente: Propia)

Todos los cálculos realizados, anteriormente, se realizan para la estimación de la lectura de los sensores a utilizar. Con lo cual, son cálculos de aproximación, donde los motores tienen un rendimiento del 100%, siendo los resultados lo más desfavorable. Finalmente, se observa en el sensor de efecto hall que en la lectura no habrá dificultades, ya que la velocidad es reducida y la célula de carga deberá trabajar en un rango (500-1000 N).

## 5.2. FASE DE DISEÑO.

En este apartado, con la aclaración de todos los requisitos y especificaciones, se empieza con varios diseños y/o ideas iniciales para solucionar los problemas presentados. Con lo cual, en los puntos siguientes se explicará y representará la solución para el desarrollo de este proyecto.

### 5.2.1. PIEZAS MONTAJE CÉLULA DE CARGA.

En este punto, se ven los diseños de las piezas diseñadas para el montaje de la célula de carga en la cinta transportadora. Las funciones de estas piezas son las de proporcionar la estructura y posicionamiento para la célula de carga, y quede en la posición correcta para que la medida de fuerza sea correcta.

Después de varios diseños realizados, se llega al diseño de montaje, para la sujeción, de la célula de carga en la cinta transportadora.

A continuación, se puede observar los diseños de cada pieza para el montaje de la célula de carga en la cinta transportadora.

La primera pieza diseñada, que se observa en la figura 67, llamada rodillo espaciador está diseñada para dar resistencia, estructura y espaciado para que la célula de carga este perpendicular al brazo de palanca del motor-reductor.

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

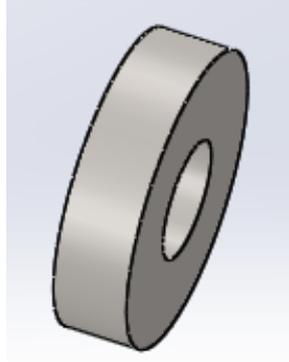


Figura 67: Diseño final de la pieza rodillo espaciador (Fuente: Propia)

La segunda pieza diseñada, que se observa en la figura 68 y 69, llamada placa de regulación avellanada está diseñada para dar resistencia, estructura y regulación a la célula de carga, dicha regulación se obtiene gracias al mecanizado de la ranura, para que este perpendicular al brazo de palanca del motor reductor.

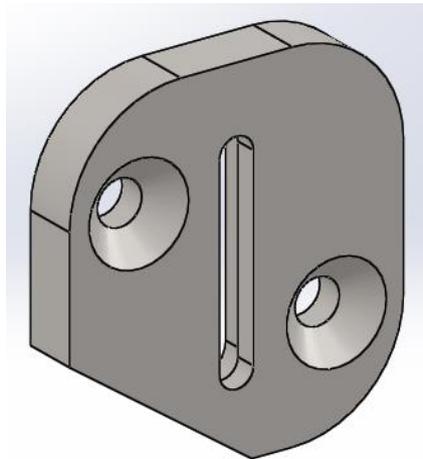


Figura 68: Diseño final de la pieza placa de regulación avellanada (Fuente: Propia)

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

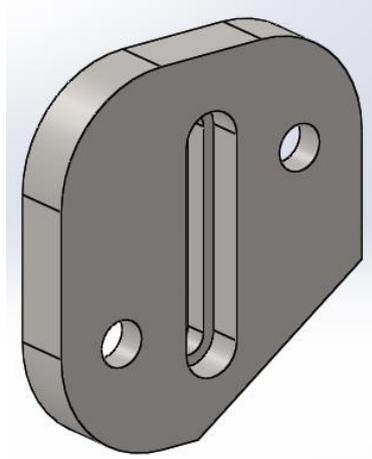


Figura 69: Diseño final de la pieza placa de regulación avellanada (Fuente: Propia)

La tercera pieza diseñada, que se observa en la figura 70, llamada rodillo rótula est  diseñada para dar la estructura y espaciado suficiente para que este la célula de carga perpendicular al brazo de palanca del motor-reductor.

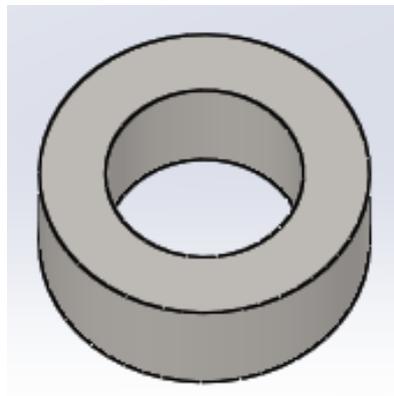


Figura 70: Diseño final de la pieza rodillo rótula (Fuente: Propia)

La cuarta pieza diseñada, que se observa en la figura 71, llamada eje mecanizado est  diseñada para la regulación de la célula de carga (si se precisa), para dar mayor libertad a la regulación de dicho sensor, misma función que la placa de regulación avellanada.

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

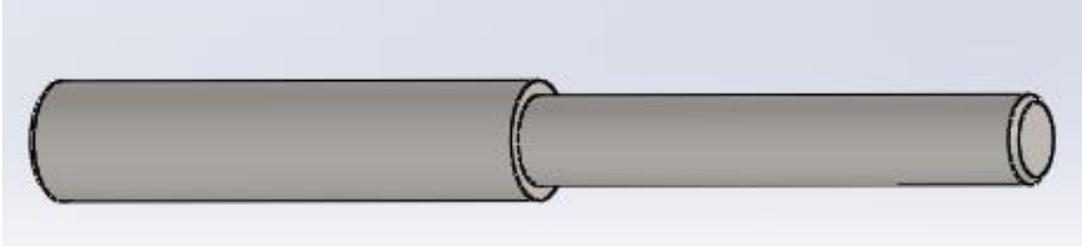


Figura 71: Diseño final de la pieza eje mecanizado (Fuente: Propia)

Finalmente, en el capítulo apéndices, en planos acotados y eléctricos, se observan los planos de diseño realizados de cada una de las piezas del montaje de la célula de carga para la cinta transportadora.

En las siguientes figuras, se observan cómo queda el montaje de las piezas diseñadas con la célula de carga y con el motor-reductor, de la cinta transportadora.

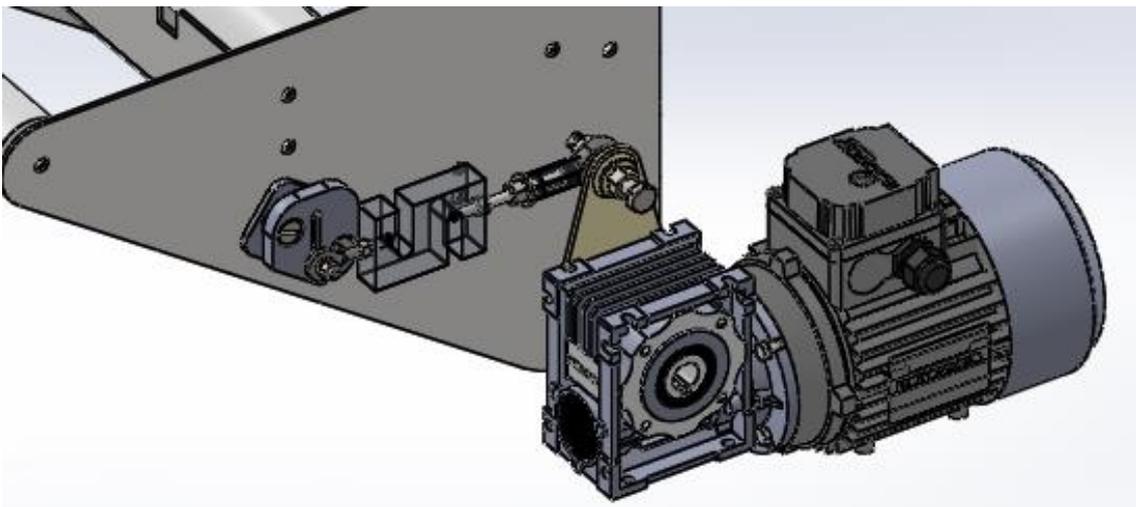


Figura 72: Diseño final del montaje de las piezas de la célula de carga (Fuente: Propia)

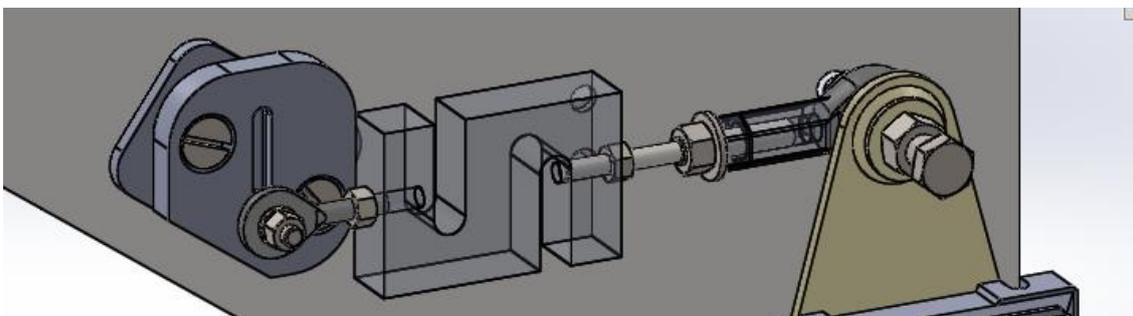


Figura 73: Diseño final del montaje de las piezas de la célula de carga (Fuente: Propia)

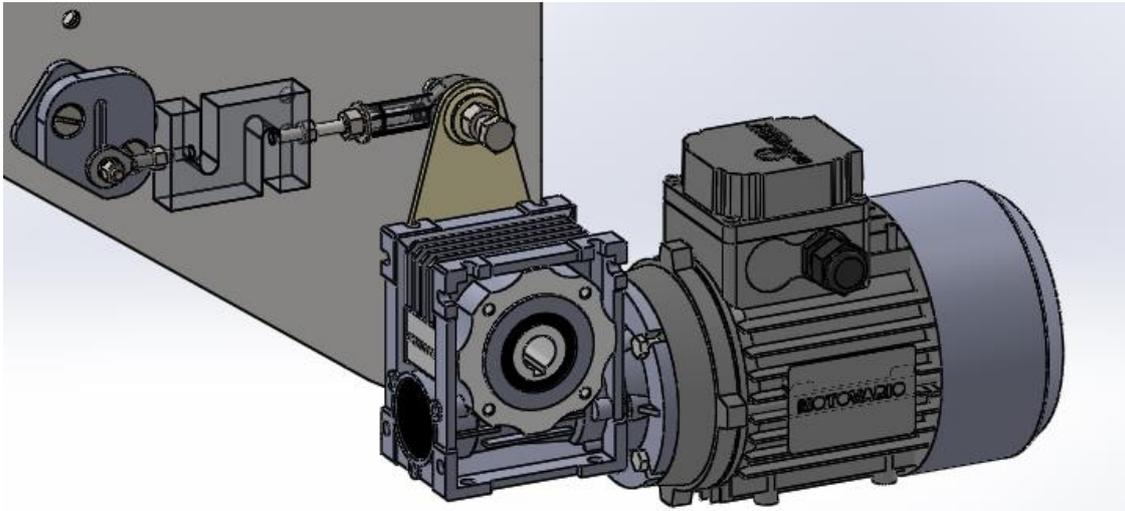


Figura 74: Diseño final del montaje de las piezas de la célula de carga (Fuente: Propia)

## 5.3. SELECCIÓN DE MATERIALES.

En este apartado, se verán los distintos materiales que se pueden utilizar para las piezas de montaje de la célula de carga. Finalmente, se nombra y se justifica el porqué de utilizar dicho material para tal fin.

### 5.3.1. MATERIALES DE LA PIEZAS DE MONTAJE DE LA CÉLULA DE CARGA.

De primero, las piezas de montaje de la célula de carga tienen la función de dar soporte y distancias para que el montaje, de dicho sensor, este perpendicular al brazo de palanca del motor-reductor, de la cinta transportadora. La cual, no va a soportar grandes esfuerzos y deformaciones. También se requiere que el coste del material sea el mínimo y ligero.

Con todo esto, los materiales que se pueden utilizar son:

- Acero de alto contenido en carbono.
- Acero de contenido intermedio en carbono.
- Acero de bajo contenido en carbono.

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

Como lo que se requiere es un material que soporte (aproximadamente una fuerza de 50 – 100 N), sea de uso general, peso ligero y con el mínimo coste.

Con el análisis de los diferentes materiales, anteriormente nombrados, se llega a la conclusión de que el material seleccionado para tal fin es el acero de bajo contenido en carbono (S235 J2G2).

El acero de bajo contenido en carbono (S235 J2G2) son aceros en bajo contenido en carbono, por debajo de los 0,25 %. Son fuertes, tenaces, fáciles de mecanizar, admiten la soldadura, acero de base no aleada y es de bajo coste. Las aplicaciones de este material son para usos generales, como el de este proyecto.

Con todas las propiedades del material analizadas, este material es idóneo para suplir los requerimientos de dichas piezas para el montaje de la célula de carga.

En el capítulo de apéndices, se puede observar las propiedades del material, llamado acero de bajo contenido en carbono (S235 J2G2).

## 5.4. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE ESTADOS TENSIONALES.

Con el diseño de las piezas, para el montaje de la célula de carga, a través del software SolidWorks, quedan las piezas correctamente definidas y preparadas para su fabricación. Con esto, se realizará un estudio de un comportamiento estático, de las piezas para el montaje de la célula de carga. Por tanto, se determinará si las piezas son adecuadas y se puedan fabricar. Si no fueran adecuadas, se tendrá que rediseñar y volver a realizar estos comportamientos hasta que cumpla los requerimientos del proyecto.

Se realiza la simulación, con el objeto de observar el comportamiento que tendrán las piezas (análisis estático).

### 5.4.1. ANÁLISIS ESTÁTICO.

En el análisis estático, se somete una parte del montaje de la célula de carga producida por la fuerza resultante del brazo de palanca del motor-reductor.

Las condiciones iniciales son de 76 N de fuerza en el brazo de palanca. Para que las piezas del montaje sean seguras, se considera un factor de seguridad de mayor o igual a 1, con el material ya seleccionado. Con esto, se asegura que las piezas del montaje no superen el valor máximo de tensión admisible, con el objeto de que el montaje de las piezas sea seguro. Finalmente, se extraerán las soluciones de deformación total (mm), tensión equivalente (MPa), error estructural (mJ) y el factor de seguridad (FS).

## 5.5. SIMULACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (FEM).

Con los diseños de las piezas obtenidas y los materiales debidamente seleccionados, que se utilizarán para la fabricación, se realiza la simulación estática para ver el comportamiento de las diferentes piezas y su conjunto.

### 5.5.1. SIMULACIÓN ESTÁTICA.

En la simulación estática, se analiza el comportamiento de la parte de montaje de la célula de carga, con condiciones aproximadas a la realidad. Se realiza la simulación mediante el método de elementos finitos (FEM), a través del software Ansys Workbench. Se aplica una fuerza de 76 N, resultante del brazo de palanca del motor-reductor, y finalmente, se analizan los resultados obtenidos.

En dicha simulación estática, se realizará el análisis de la deformación (mm), tensión equivalente (MPa), el error estructural (mJ) y el factor de seguridad, a través de los resultados se puede observar si el material es apto para la fabricación de las piezas.

Se detallarán los pasos realizados para la introducción de los diferentes datos. Se realiza la simulación con el material que se selecciona anteriormente, acero de bajo contenido en carbono (S235 J2G2).

Con el diseño del ensamblaje realizado y pasado a formato .STEP, se abre el Ansys Workbench.

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

Una vez abierto el Ansys Workbench, en la pestaña “Toolbox”, se arrastra hacia el esquema de proyecto el “Static Structural” (pestaña de “Toolbox”: “Analysis Systems”), “Engineering Data” (pestaña de “Toolbox”: “Component Systems”) y “Geometry” (pestaña de “Toolbox”: “Component Systems”).

En la figura 75, se observa el esquema del proyecto de la simulación estática, con el “Engineering Data” y “Geometry” enlazados con el “Static Structural”.

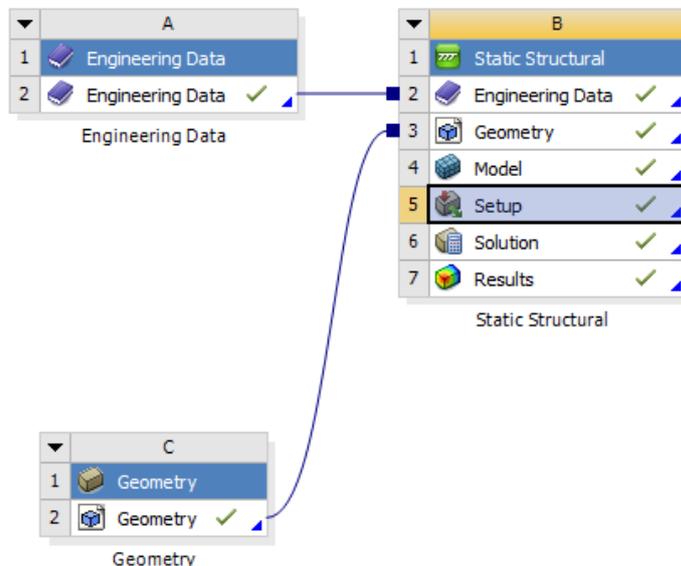


Figura 75: Esquema de proyecto de la simulación estática (Fuente: Propia)

Después de realizar el esquema del proyecto, en la parte de “Engineering Data” se selecciona el material, en este caso “Structural Steel”. En la figura 76, se observa la selección del material.

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

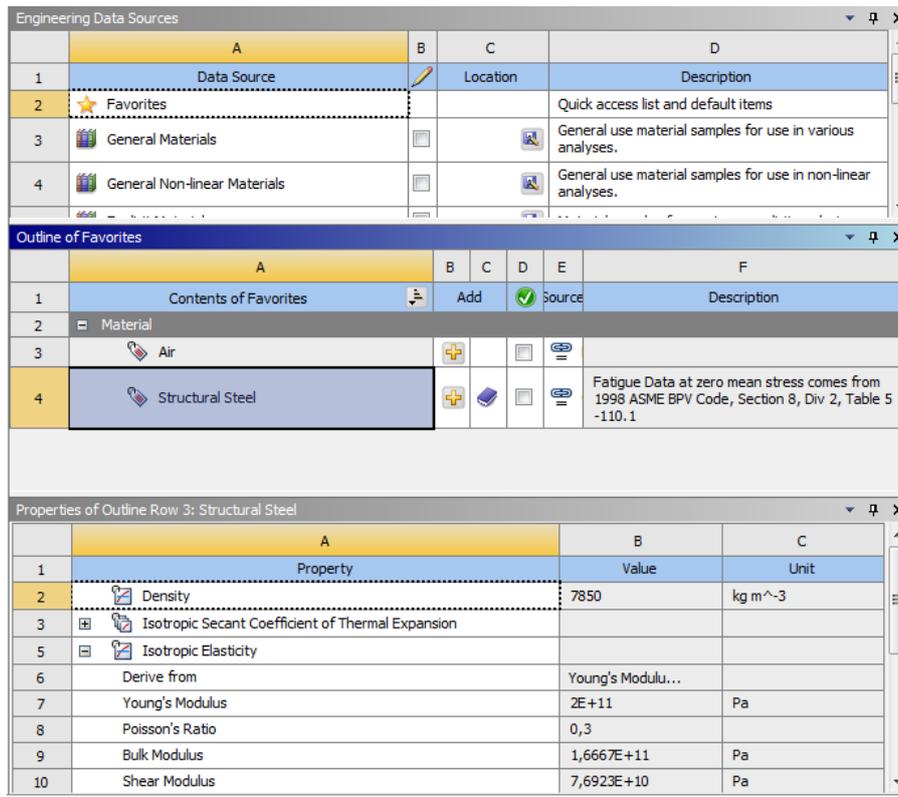


Figura 76: Selección del material (Fuente: Propia)

Con la selección del material realizada, se procede a la introducción del diseño que se realiza en la simulación estática.

Con el botón derecho del ratón en la pestaña "Geometry", en la parte de "Replace Geometry" se busca el diseño en formato .STEP.

En la figura 77, se observa cómo se introduce la geometría de la simulación estática.

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

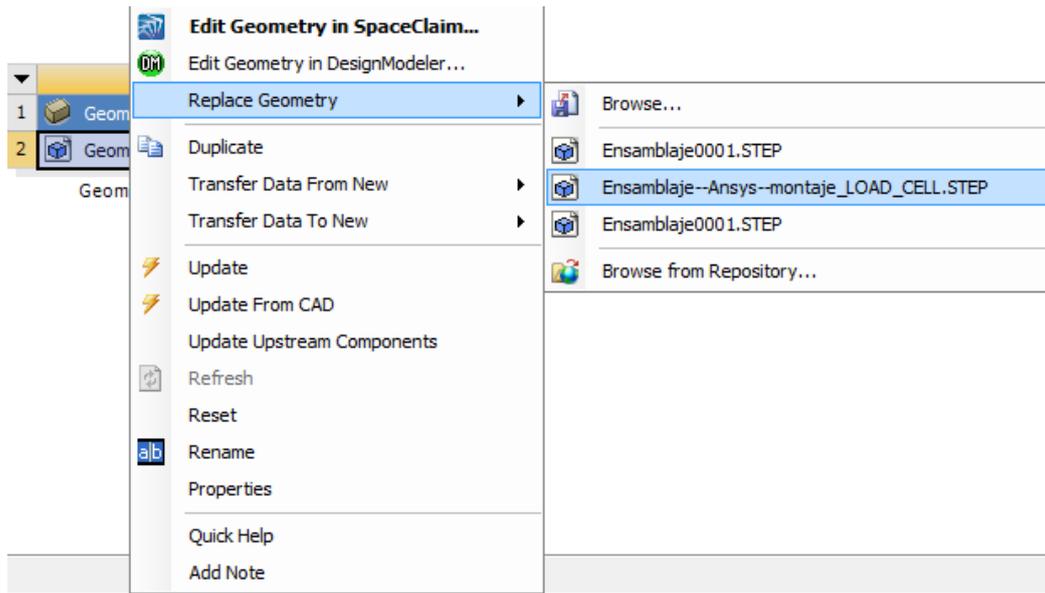


Figura 77: Introducción del diseño de la simulación estática (Fuente: Propia)

Con todo esto realizado, se da doble clic en la pestaña “Model” del “Static Structural” para dar comienzo a la parte del “Mechanical”.

Con la parte del “Mechanical” abierta, se procede a introducir el material en cada pieza del ensamblaje. Se selecciona la pieza en la parte “Geometry” y se cliquea el material introducido.

En la figura 78, se observa un ejemplo de cómo se asigna el material en la pieza.

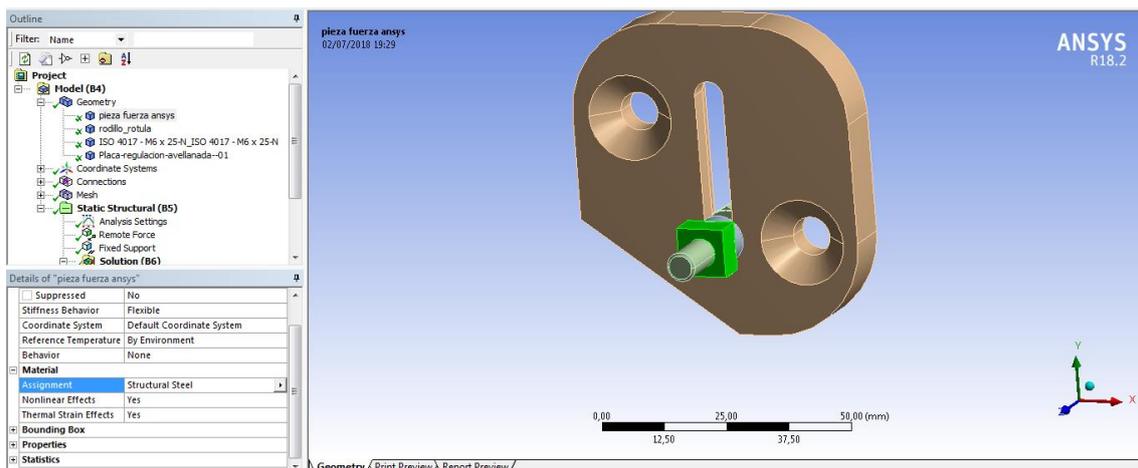


Figura 78: Asignación del material (Fuente: Propia)

Después en la pestaña “Connections” > “Contacts”. Todos los tipos de contacto del ensamblaje son “Bonded”. En la figura 79, se observa el ejemplo de contacto de la simulación estática.

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

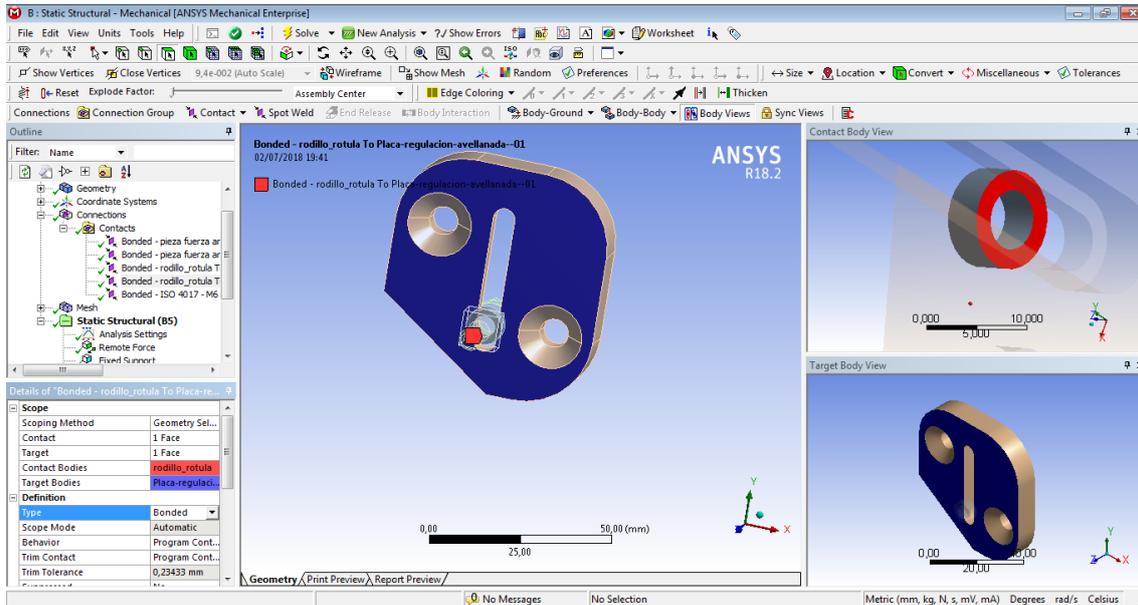


Figura 79: Asignación de contactos (Fuente: Propia)

Con todo esto, se realiza la parte del mallado ("Mesh"). Después de varias optimizaciones de mallado, se llega a tener las siguientes características de malla, que para el ingeniero son adecuadas para la simulación estática:

- Número de nodos: 31515
- Número de elementos: 17369
- Calidad del elemento ("Average"): 0,74

En las siguientes figuras, se observa el mallado del ensamblaje y la gráfica de calidad de mallado.

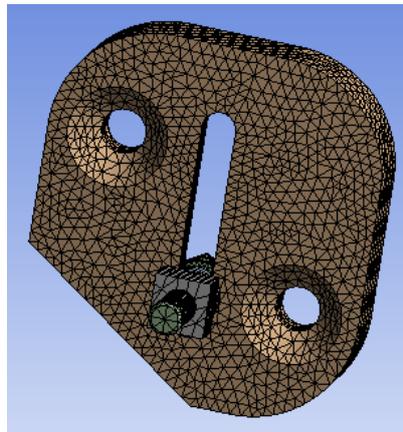


Figura 80: Mallado del ensamblaje (Fuente: Propia)

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

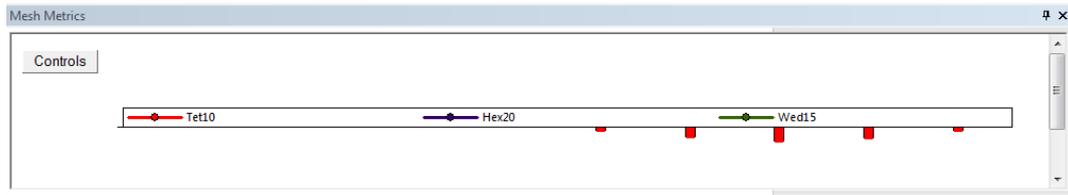


Figura 81: Gráfica de calidad de malla con un “Average” de 0,74 (Fuente: Propia)

Con todo esto realizado, se va a la parte de “Static Structural” y se procede a insertar las cargas y soportes, adecuados para la simulación estática.

De primero, se inserta la carga, en este caso la carga será una fuerza de 76 N. En la pestaña “Loads” se inserta la fuerza, en este caso será un “Remote Force” para que la carga este en las componentes x, y, z que desee el usuario. En la figura 82, se observa lo realizado para insertar el “Remote Force”.

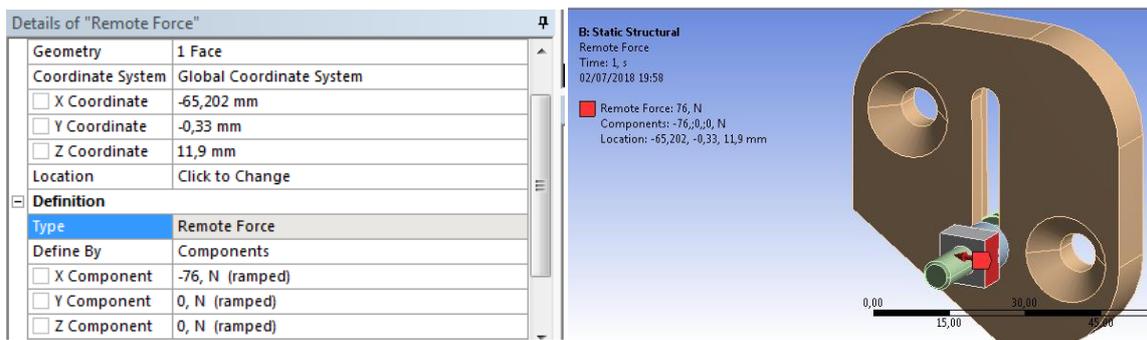


Figura 82: Inserción de las cargas en la simulación estática (Fuente: Propia)

Después de las cargas, se insertan los soportes. En este caso, dentro de la pestaña “Supports” se elige de tipo de soporte, llamado “Fixed Support” para la zona de los tornillos.

A continuación, en la figura 83, se observa la inserción de los soportes en el ensamblaje.

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

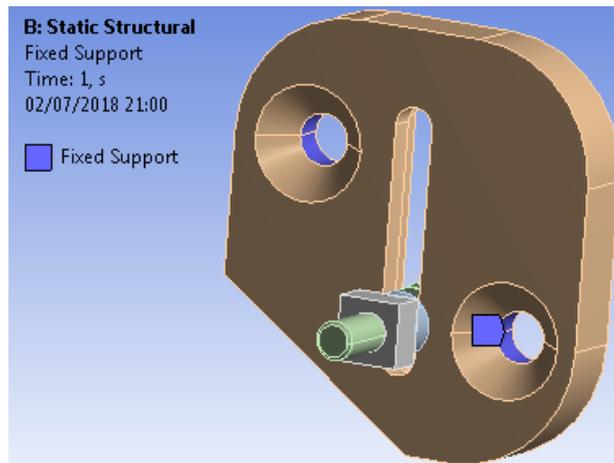


Figura 83: Inserción de los soportes en la simulación estática (Fuente: Propia)

Finalmente, se da clic a la pestaña de “Solve” para resolver la simulación estática.

Con todo realizado, en las siguientes figuras se observan las soluciones de deformación (mm), tensión equivalente (MPa), error estructural (mJ) y el factor de seguridad obtenido.

- Deformación total (mm):
  - Deformación máxima (mm): 0,0015
  - Deformación mínima (mm): 0

A continuación, en la figura 84, se observa la solución de deformación total (mm).

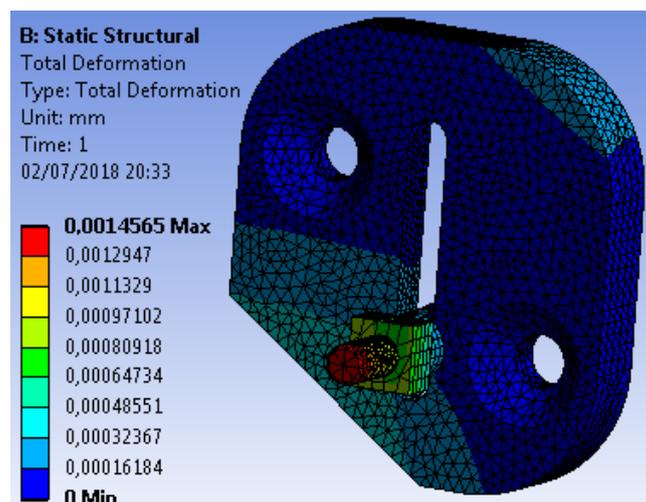


Figura 84: Solución de deformación total (mm) (Fuente: Propia)

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

- Tensión equivalente (MPa):
  - Tensión equivalente máxima (MPa): 14,15
  - Tensión equivalente mínima (MPa):  $3,16 \cdot 10^{-5}$

A continuación, en la figura 85, se observa la solución de tensión equivalente (MPa).

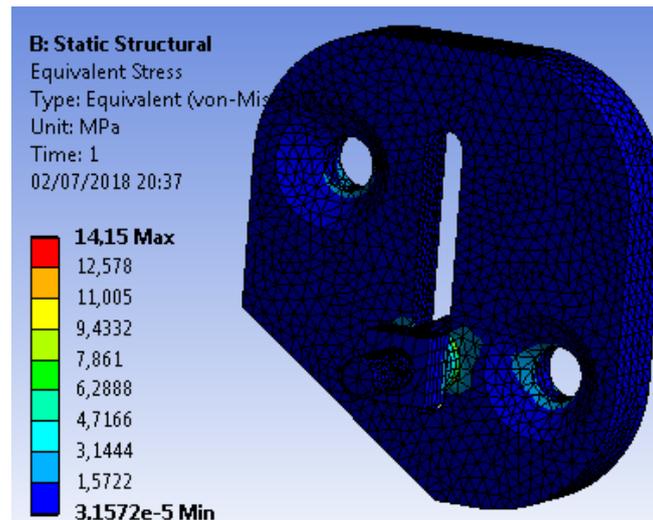


Figura 85: Solución de tensión equivalente (MPa) (Fuente: Propia)

- Error estructural (mJ):
  - Error estructural máximo (mJ):  $6,34 \cdot 10^{-5}$
  - Error estructural mínimo (mJ):  $5,53 \cdot 10^{-16}$

A continuación, en la figura 86, se observa la solución de error estructural (mJ).

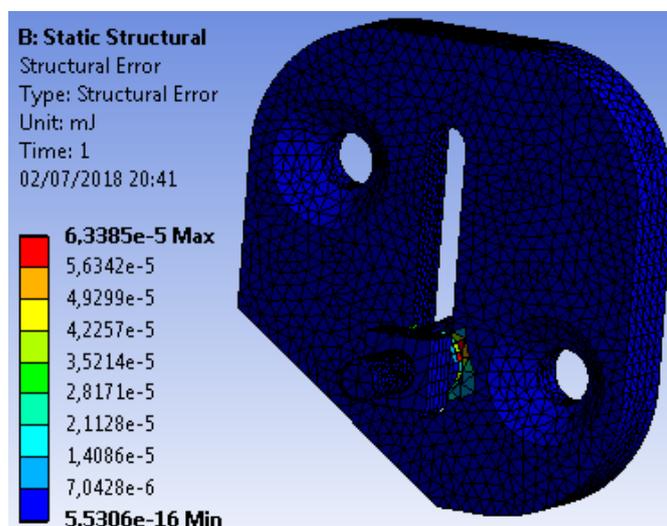


Figura 86: Solución de error estructural (mJ) (Fuente: Propia)

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

- Factor de seguridad (FS):
  - Factor de seguridad (FS) máximo: 15
  - Factor de seguridad (FS) mínimo: 15

A continuación, en la figura 87, se observa la solución de factor de seguridad (FS).

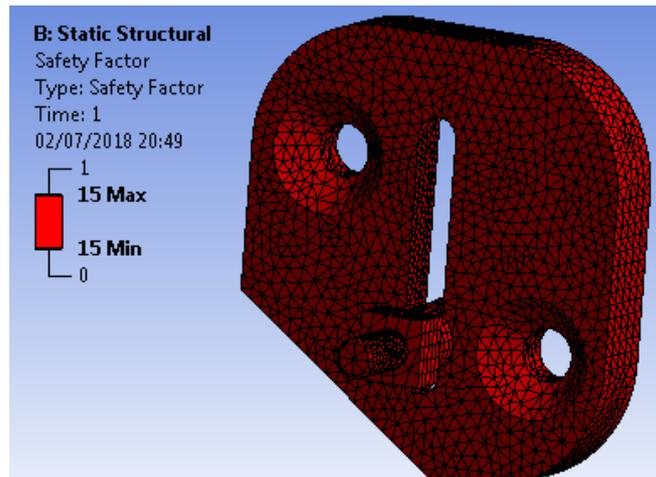


Figura 87: Solución de factor de seguridad (FS) (Fuente: Propia)

Finalmente, se concluye en que las soluciones obtenidas de la simulación estática son más que satisfactorias, ya que todas las soluciones extraídas están dentro del rango permitido, dando un factor de seguridad (FS) igual o mayor a 1.

## 5.6. FABRICACIÓN.

Con los materiales seleccionados correctamente, con los requerimientos de cada diseño, se determina el proceso de fabricación, el cual conformarán las piezas. Se explicarán los procesos que se realizarán para las piezas del montaje de la célula de carga.

### 5.6.1. TORNEADO.

El torneado es un proceso de mecanizado por arranque de viruta, es decir, parte del material en bruto es eliminado hasta darle el diseño deseado a la pieza. La máquina del proceso de torneado, se llama torno [46].

El proceso de torneado, la herramienta actúa y se desplaza sobre el material, movimiento de avance, y esta gira sobre sí mismo, movimiento de corte [7].

Etapas del proceso [46]:

- Tiempo de carga y descarga. Fijación de la pieza en bruto en el torno.
- Tiempo de corte. Las herramientas de corte realizan todos los arranques de viruta para obtener la pieza deseada.
- Tiempo de ocio.
- Tiempo de sustitución de herramienta. Tiempo que se emplea para cambiar una herramienta por otra nueva.

Con este proceso se puede aplicar tratamientos de acabado posterior, pero otras veces tienen un buen acabado, ya que se obtiene una buena calidad superficial y con baja tolerancia [46].

Durante el proceso de torneado se puede realizar las siguientes operaciones [7]:

- Desbaste.
- Acabado.
- Cilindrado.
- Refrentado.
- Ranurado.
- Tronzado.
- Roscado interior y exterior.

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

El torno puede ser controlado mediante control numérico (CNC). En el caso de estar programado por control numérico, los movimientos de la pieza y de la herramienta de corte están programado en código de programa de CNC, el cual se produce una pieza de precisión y minimizando los tiempos [46].

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Buen acabado superficial.</li><li>▪ Requiere menos energía que otros procesos.</li><li>▪ Control de viruta.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Limitado a geometrías de revolución.</li><li>▪ Considerable desgaste de la herramienta.</li><li>▪ Coste elevado de las herramientas y accesorios.</li></ul>

Tabla 12: Ventajas y desventajas del proceso de mecanizado de torno (Fuente: industrial sourcing)



Figura 88: Máquina para el proceso de torneado, llamada torno (Fuente: Google)

## 5.6.2. FRESADO.

El proceso de fresado es un proceso de mecanizado por arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta, de varios filos, llamada fresa. Mediante el proceso de fresado se pueden mecanizar multitud de materiales como madera, acero, fundición de hierro, metales no férricos, etc. Incluso las piezas que se han mecanizado por este proceso pueden ser desbastadas [47].

En el proceso de mecanizado de fresado, la herramienta se desplaza sobre el material, movimiento de avance, y esta gira entorno al eje, movimiento de corte para realizar el arranque de material. Por tanto, la pieza permanece inmóvil [7].

La máquina del proceso de mecanizado de fresado, se llama fresadora.

En las fresadoras tradicionales, la pieza se desplaza acercando la herramienta a la zona a mecanizar, permitiendo obtener formas tanto sencillas como complejas.

Con el uso creciente de máquinas de fresadora de CNC, aumenta las operaciones de esta máquina [47].

Durante el proceso de fresado se puede realizar las siguientes operaciones:

- Desbaste.
- Acabado.
- Planeado.
- Contorneado.
- Ranurado.
- Vaciado.

El proceso de fresado tiene dos modos distintos de realizarse, en función del sentido de avance de la herramienta o pieza: en concordancia o en oposición [7].

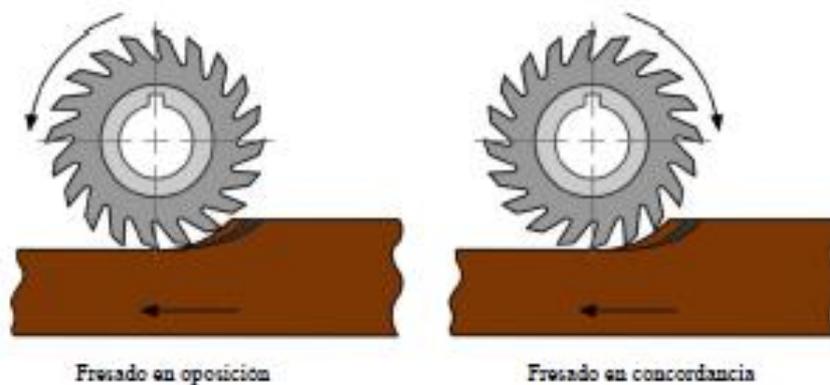
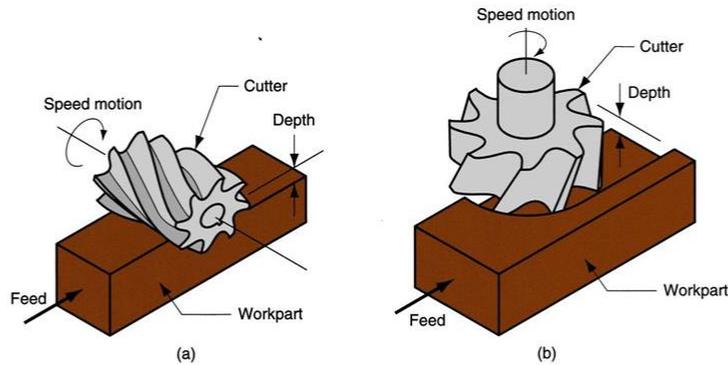


Figura 89: Fresado en concordancia y en oposición (Fuente: Tema 5: arranque de viruta)

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

Dependiendo de la disposición de la herramienta con la pieza, hay dos tipos: periférico y frontal [7].



(a) Fresado periférico; (b) Fresado frontal

Figura 90: Fresado periférico y frontal (Fuente: Google)

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Precisión y acabado superficial de piezas.</li><li>▪ Cualquier geometría.</li><li>▪ Variedad de materiales a mecanizar.</li><li>▪ Alta flexibilidad.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Coste de la maquinaria.</li><li>▪ Tamaño de maquinaria.</li><li>▪ Costes de mantenimiento.</li><li>▪ Considerable desgaste de herramienta.</li></ul>

Tabla 13: Ventajas y desventajas del proceso de mecanizado de fresado (Fuente: Icardiel.blogspot)



Figura 91: Máquina de fresado vertical (Fuente: Google)

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par  
y velocidad

## 6. RESULTADOS OBTENIDOS

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par  
y velocidad

## 6.1. CALIBRACIÓN DE LA CÉCULA DE CARGA.

Para la calibración de la célula de carga se realizará de dos maneras, que son las siguientes:

- Por puntos de lectura.
- Media de cada valor de lectura.

### 6.1.1. POR PUNTOS DE LECTURA.

De primero, calibrar la célula de carga que es hallar el valor de escala, en el cual, se usa para hallar el factor de conversión, para convertir dicho valor de lectura en un valor de unidad de fuerza (N).

Con ello, para la calibración se necesita conocer un objeto de peso (kg) conocido, se debe saber el peso real del objeto para realizar bien la calibración. Para que la calibración sea efectiva, el peso conocido será cercano al valor máximo del rango de trabajo de la célula de carga. En este caso, se realiza varias mediciones de lectura, en el cual, está dentro del rango de trabajo de la célula de carga.

El paso siguiente es cargar la siguiente programación a la placa Arduino, realizando la siguiente programación:

```
// Librerías.  
  
#include "HX711.h"  
  
#include <SD.h>  
  
#include <LiquidCrystal.h>  
  
  
LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12); // Crea un Objeto LCD.  
  
  
  
// Declaración de variables.  
  
const int chipSelect = 4;  
  
unsigned int numeroarchivo=0;  
  
String nombreambrado;  
  
bool disparo =false;
```

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

```
File dataFile;

#define DOUT A1

#define CLK A0

HX711 balanza(DOUT, CLK);

// Definición de las entradas digitales del mando.
const int pinDisparador = A2;

void setup() {
    lcd.begin(16, 2); //Inicia el LCD.

    pinMode(chipSelect, OUTPUT);

    //Serial.begin(9600);

    // Si hay un error al leer la tarjeta informamos por el puerto serie.
    if (!SD.begin(chipSelect))
    {
        Serial.println("Error al leer la tarjeta");
        return;
    }

    //Serial.print("Lectura del valor del ADC: ");
    balanza.read();

    //Serial.println("No poner ningún objeto sobre la célula de carga");
    //Serial.println("Destarando...");

    balanza.set_scale(); //La escala por defecto es 1.
    balanza.tare(0); //El peso actual es considerado tara.
```

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

```
        //Serial.println("Coloque un peso conocido:");
    }

void loop() {
    //Lectura de datos en el LCD.
    lcd.clear();
    lcd.print("Val.=" );
    lcd.print(balanza.get_value(10),0);

    //Serial.print("Valor de lectura: ");
    //Serial.println(balanza.get_value(10),0);
    //delay(100);

    // Lectura del mando.
    disparo = digitalRead(pinDisparador);
    //Serial.println(dataFile);

    if(disparo){
        lcd.clear();
        lcd.println("Disparador pulsado");
        if (dataFile){
            dataFile.close();
            lcd.clear();
            lcd.println("Fichero cerrado");
            delay(1000);
        }
    }
}
```

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

```
else {  
    // Se abre el fichero donde se va a guardar los datos (Si no existe se  
    crea automáticamente).  
    nombreadchivo=String("Datos_") + String(numeroarchivo++);  
    dataFile = SD.open(nombreadchivo, FILE_WRITE);  
    lcd.clear();  
    lcd.println("Fichero abierto");  
    delay(1000);  
}  
  
// Si el fichero es correcto, se escribe en él.  
if (dataFile){  
    // Se escribe por serial los datos.  
    Serial.print("Valor de lectura = ");  
    Serial.println(balanza.get_value(10),0);  
    // Se escribe en el fichero el siguiente texto.  
    dataFile.print("Valor de lectura = ");  
    // A continuación, se escribe el valor y salta a la línea siguiente.  
    dataFile.println(balanza.get_value(10),0);  
    // Se cierra el archivo.  
    // Se avisa de que se puede escribir correctamente.  
    Serial.println("Valor almacenado");  
    // Si no se puede escribir en el fichero, se avisa por el puerto serie.  
}  
  
else{  
    //Serial.println("Error al escribir en Datos.TXT");  
}  
}
```

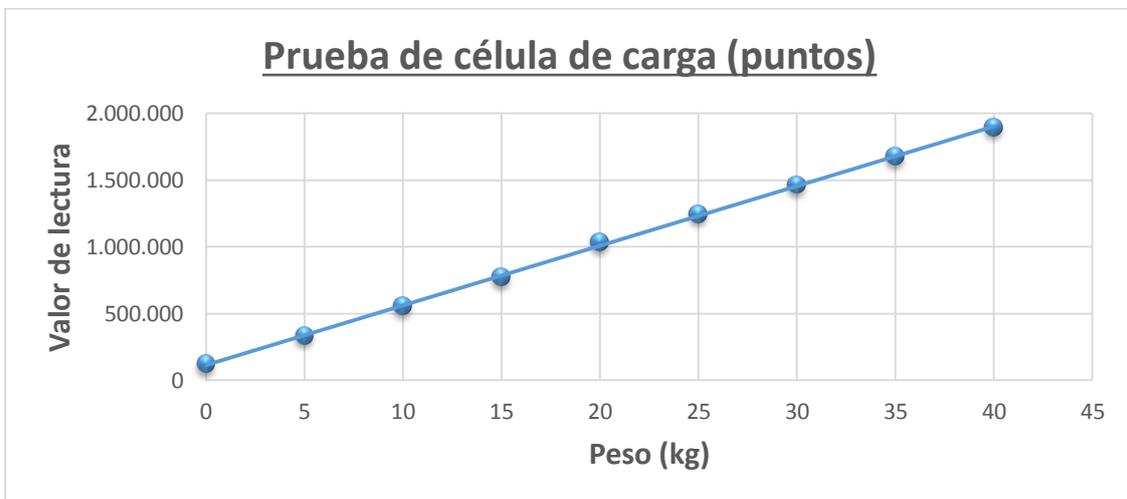
## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

El programa debe funcionar sin ningún peso colocado, ya que al inicio del programa calcula la tara. Después de abrir el monitor serial, del programa Arduino, y esperar para que reste la tara. Finalmente, se pone el peso con el que se este trabajando. Este último paso se realiza desde 0 kg hasta 40 kg, como se observa en la tabla 14.

Valor de lectura	Peso (kg)
114.197	0
331.063	5
550.319	10
768.408	15
1.030.375	20
1.240.886	25
1.460.922	30
1.670.922	35
1.892.366	40

Tabla 14: Valores de lectura con cada peso (kg) medido (Fuente: Propia)

Con estas pruebas, ya realizadas, se procede a realizar la gráfica que relaciona el valor de lectura (eje Y) con el peso en kg (eje X). En la gráfica siguiente, se observa la recta de regresión lineal.



Gráfica 1: Gráfica de regresión lineal, de la prueba de célula de carga, por puntos (Fuente: Propia)

Con la gráfica realizada, se obtiene la siguiente ecuación ( $y = a \cdot x + b$ ):

$$y = 44753 \cdot x - 111544$$

Con un valor R cuadrado en el gráfico de:

$$R^2 = 0,9996$$

Con los valores “a” y “b”, se procede al cálculo del valor “x”. Que es el siguiente:

$$y = 0;$$

$$0 = 44753 \cdot x - 111544$$

$$x = \frac{111544}{44753} = 2,49$$

Según las anotaciones de la librería del transmisor de la célula de carga, “HX711”, el valor que es considerado tara es el valor de “a”, según la fórmula obtenida por la regresión lineal. Por tanto, el valor de tarado es 44753.

## 6.1.2. MEDIA DE CADA VALOR DE LECTURA.

A diferencia del anterior, se realiza una media de cada valor de lectura medido en la célula de carga.

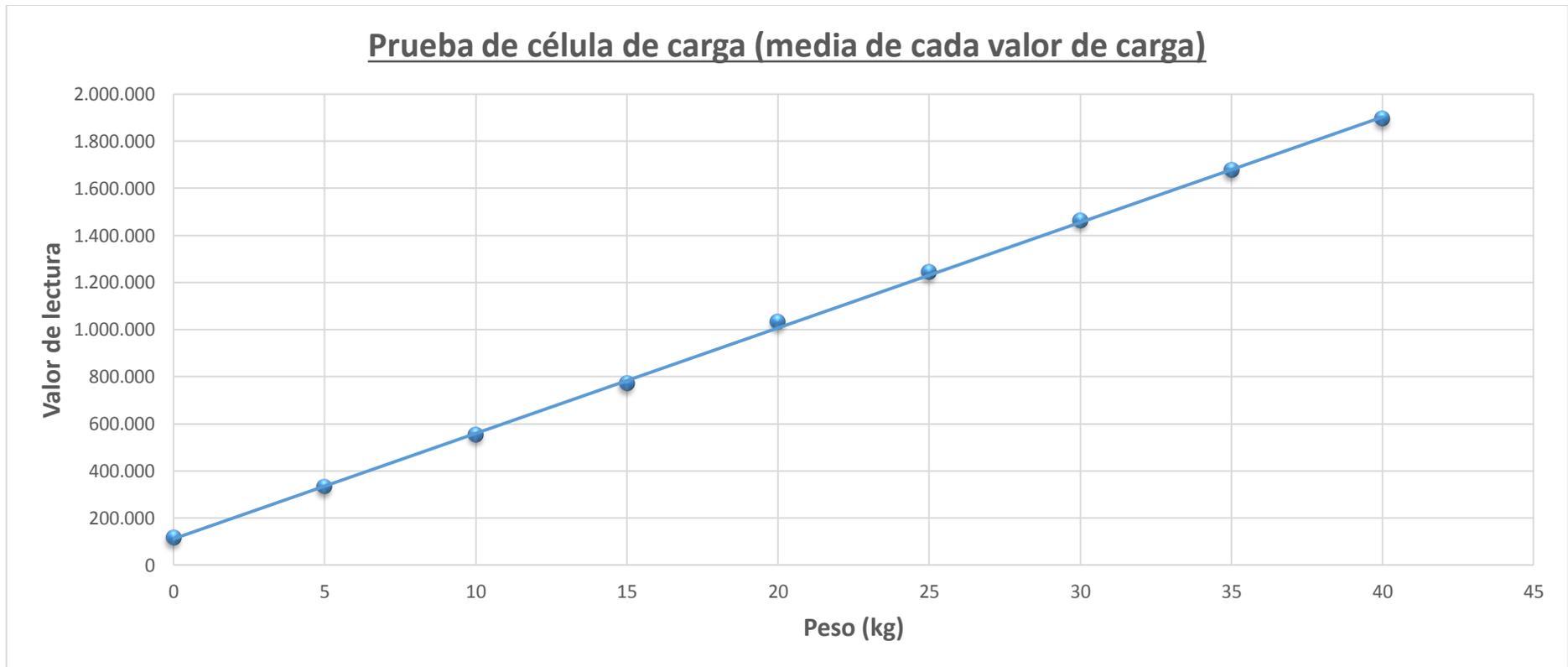
De primero, se recogen hasta 17 valores de lectura, aproximadamente un minuto de tiempo por cada almacenamiento de la tarjeta SD, para realizar la media ponderada. Esto se realiza para los pesos que van desde 0 kg hasta 40 kg, como se observa en la tabla 15.

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

<b>Peso (kg)</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>40</b>
<b>Valores de lectura</b>	114.040	330.851	550.229	768.300	1.030.610	1.240.974	1.460.751	1.673.909	1.892.307
	113.993	330.891	550.235	768.276	1.030.584	1.240.898	1.460.823	1.673.863	1.892.384
	114.076	330.850	550.187	768.323	1.030.506	1.240.888	1.460.850	1.673.882	1.892.380
	114.047	330.857	550.097	768.448	1.030.504	1.240.824	1.460.843	1.673.848	1.892.408
	114.044	330.871	550.103	768.428	1.030.433	1.240.810	1.460.841	1.673.862	1.892.445
	114.118	330.928	550.070	768.526	1.030.399	1.240.852	1.460.749	1.673.861	1.892.408
	114.124	331.001	550.090	768.448	1.030.385	1.240.946	1.460.704	1.673.860	1.892.342
	114.135	331.026	550.131	768.510	1.030.352	1.240.931	1.460.711	1.673.864	1.892.328
	114.080	331.020	550.167	768.559	1.030.355	1.240.903	1.460.701	1.673.862	1.892.268
	114.081	331.031	550.248	768.489	1.030.368	1.240.868	1.460.675	1.673.860	1.892.202
	114.087	331.013	550.284	768.499	1.030.383	1.240.831	1.460.760	1.673.845	1.892.280
	114.093	331.049	550.336	768.416	1.030.368	1.240.792	1.460.725	1.673.877	1.892.332
	114.174	331.016	550.307	768.351	1.030.395	1.240.827	1.460.700	1.673.828	1.892.324
	114.175	331.075	550.302	768.371	1.030.393	1.240.869	1.460.710	1.673.734	1.892.317
	114.172	331.072	550.315	768.388	1.030.369	1.240.821	1.460.703	1.673.663	1.892.330
	114.148	331.042	550.347	768.448	1.030.449	1.240.734	1.460.717	1.673.623	1.892.317
114.189	331.035	550.346	768.397	1.030.437	1.240.650	1.460.734	1.673.637	1.892.322	
<b>Promedio</b>	114.104,47	330.978,11	550.223,17	768.422,17	1.030.428,82	1.240.848,11	1.460.746,88	1.673.816,35	1.892.334,94

Tabla 15: Valores de lectura con cada peso (kg) promedio medido (Fuente: Propia)

Con las pruebas, ya realizadas, se procede a realizar la gráfica que relaciona el valor de lectura (eje Y) con el peso en kg (eje X). En la gráfica 2, se observa la recta de regresión lineal.



Gráfica 2: Gráfica de regresión lineal de la prueba de célula de carga, media de cada valor de lectura (Fuente: Propia)

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

Con la gráfica realizada, se obtiene la siguiente ecuación ( $y = a \cdot x + b$ ):

$$y = 44783 \cdot x - 111217$$

Con un valor R cuadrado en el gráfico de:

$$R^2 = 0,9996$$

Con los valores “a” y “b”, se procede al cálculo del valor “x”. Que es el siguiente:

$$y = 0;$$

$$0 = 44783 \cdot x - 111217$$

$$x = \frac{111217}{44783} = 2,48$$

Según las anotaciones de la librería del transmisor de la célula de carga, “HX711”, el valor que es considerado tara es el valor de “a”, según la fórmula obtenida por la regresión lineal. Por tanto, el valor de tarado es 44783.

Como se observa, no hay gran diferencia con los dos métodos realizados, ya que los puntos que se obtienen en la gráfica están sobre la línea de regresión lineal. Finalmente, en la programación se pone el valor de tarado: 44783, de la media de cada valor de lectura, ya que es más exacto, aunque como lo nombrado anteriormente, el otro valor de lectura se puede poner, también, como valor de tarado.

En las siguientes figuras, se observan partes del proceso de la calibración de la célula de carga.

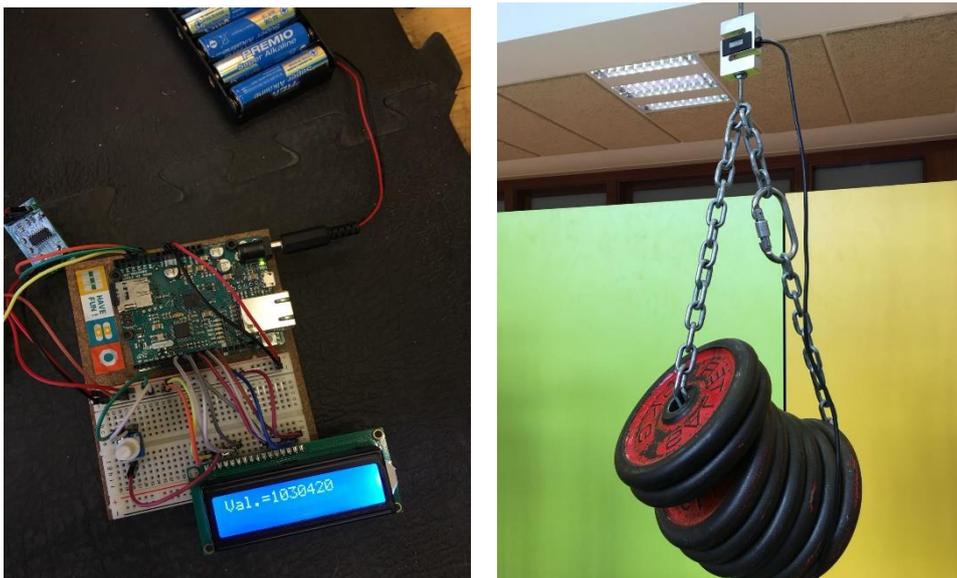


Figura 92: Obtención de valores de lectura con un determinado peso (kg) (Fuente: Propia)

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad



Figura 93: Posicionamiento de la célula de carga con un peso de 1,02 kg (Fuente: Propia)

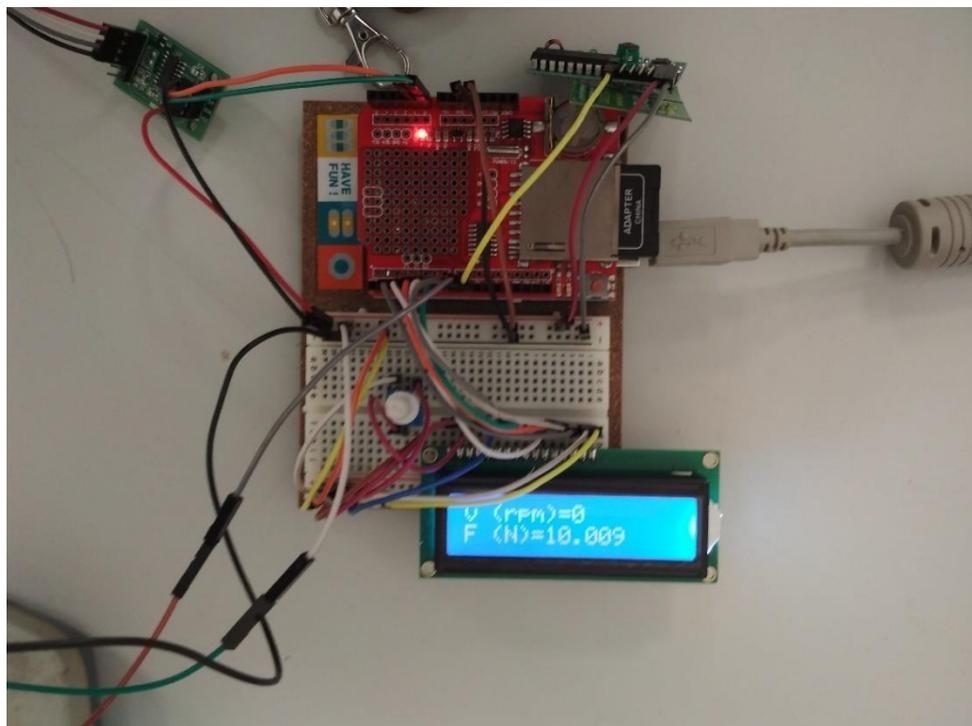


Figura 94: Valor de fuerza (N) obtenido en el monitor, con un peso de 1,02 kg (Fuente: Propia)

## 6.2. CALIBRACIÓN DEL SENSOR DE EFECTO HALL.

La calibración se realiza con un ventilador, el cual se puede comparar la velocidad, en rpm, del sensor de efecto hall con un tacómetro digital.

De primero, se debe cargar y ejecutar en la placa Arduino la programación, la cual se encuentra en el apartado apéndices.

Una vez cargada la programación, se posiciona el imán de neodimio en el ventilador, fijado con cinta aislante. A su vez, se pega el adhesivo para la lectura del tacómetro digital. Finalmente, se fija el sensor de efecto hall, mediante una abrazadera de plástico. Comprobando que el sensor de efecto hall funcione correctamente. Si se enciende el led, del sensor de efecto hall, al paso del imán de neodimio es síntoma de que funciona correctamente.



Figura 95: Posicionamiento del imán de neodimio, adhesivo del tacómetro digital y sensor de efecto hall (Fuente: Propia)

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

Con todo montado sobre el ventilador, se procede a la calibración. Primero, se enciende el ventilador y se observa la velocidad (rpm) de la pantalla LCD. El cual da una  $v \text{ (rpm)} = 1140$ . Como se observa en la figura 96.

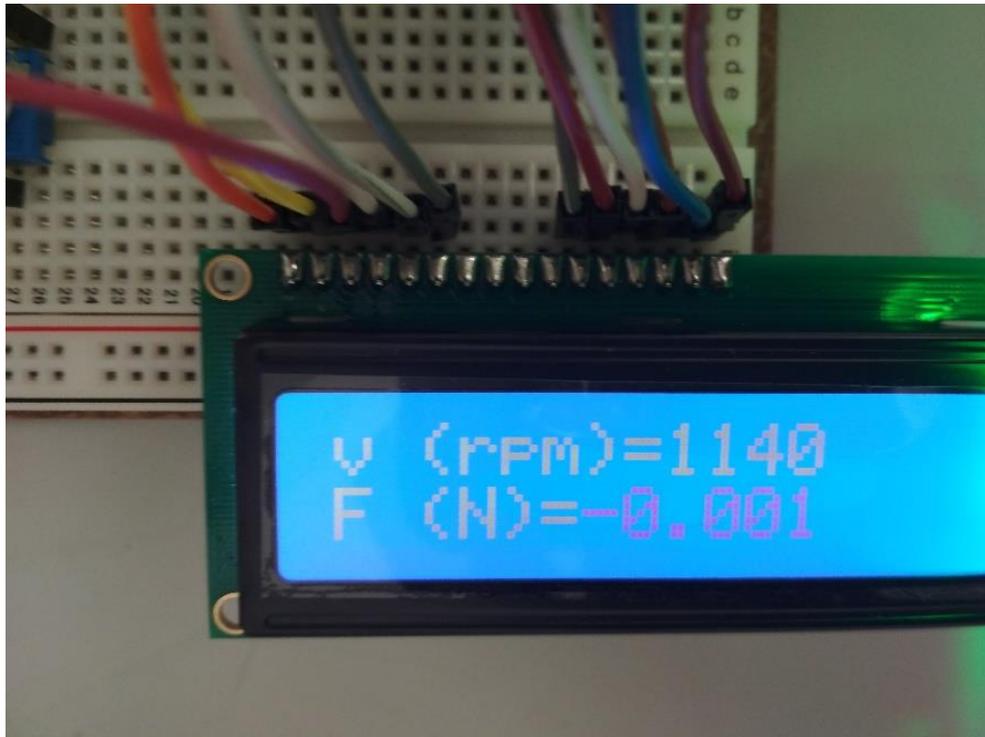


Figura 96: Calibración del sensor de efecto hall (Fuente: Propia)

Ahora, se procede a realizar la medición de velocidad (rpm) con el tacómetro digital. Hay que tener en cuenta que, para la correcta medición de velocidad (rpm), el tacómetro digital y el adhesivo correspondiente tienen que tener una distancia entre 20 y 300 mm.

Con medida de velocidad (rpm) con el instrumento, llamado tacómetro digital, es de  $v \text{ (rpm)} = 1140$ .

Finalmente, se puede observar que la velocidad (rpm) es la misma tanto con el tacómetro digital y el equipo de adquisición de datos. La calibración es correcta.

En las siguientes figuras, se observan la medición de velocidad (rpm) y la distancia del adhesivo con el tacómetro digital.

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad



Figura 97: Medida de velocidad (rpm) con el tacómetro digital (Fuente: Propia)



Figura 98: Distancia entre 20 y 300 mm entre el tacómetro digital y el adhesivo (Fuente: Propia)

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

### 6.3. ENSAYO DEL EQUIPO.

El ensayo de pruebas del equipo de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad se realiza para una cinta transportadora, que se observa en la figura 99.



Figura 99: Cinta transportadora (Fuente: PCS INNOVATIONS S.L.)

De primero, se posiciona y se ajusta la célula de carga en la bancada de la cinta transportadora, como se puede observar en la figura 100.



Figura 100. Posicionamiento de la célula de carga (Fuente: Propia)

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

Con la célula de carga posicionada y ajustada, se posiciona el sensor de efecto hall y el imán de neodimio, fijada con cinta aislante, como se observa en la figura 101.



Figura 101: Posicionamiento del sensor de efecto hall y del imán (Fuente: Propia)

Con todo los sensores posicionados y ajustados, se procede a las conexiones con la caja del equipo. Finalmente, se conectan las conexiones eléctricas de la cinta transportadora para que funcione correctamente.

Con la cinta transportadora en funcionamiento a nivel 1, se observan las mediciones de fuerza y velocidad en la pantalla LCD. Como se observa en la figura 102 y 103.



Figura 102. Sistema de adquisición de datos en funcionamiento (Fuente: Propia)

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad



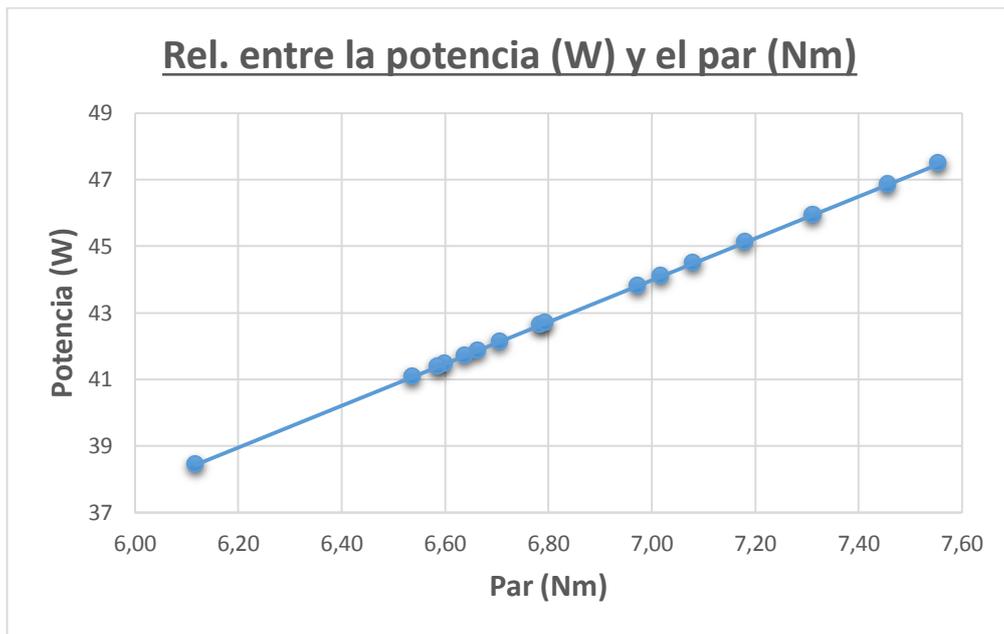
Figura 103. Sistema de adquisición de datos en funcionamiento (Fuente: Propia)

Con las mediciones de velocidad y fuerza, de las lecturas guardadas en la tarjeta SD, se realiza la siguiente tabla.

Prueba_01						
Distancia (m)	Fuerza (N)	Par (Nm)	Velocidad (rpm)	Velocidad (rad/s)	Potencia (W)	Potencia (kW)
0,1	67,85	6,79	60	6,28	43	0,043
0,1	71,81	7,18	60	6,28	45	0,045
0,1	65,99	6,60	60	6,28	41	0,041
0,1	70,81	7,08	60	6,28	44	0,044
0,1	73,13	7,31	60	6,28	46	0,046
0,1	75,56	7,56	60	6,28	47	0,047
0,1	70,19	7,02	60	6,28	44	0,044
0,1	61,18	6,12	60	6,28	38	0,038
0,1	66,63	6,66	60	6,28	42	0,042
0,1	67,94	6,79	60	6,28	43	0,043
0,1	65,38	6,54	60	6,28	41	0,041
0,1	67,06	6,71	60	6,28	42	0,042
0,1	65,87	6,59	60	6,28	41	0,041
0,1	66,39	6,64	60	6,28	42	0,042
0,1	69,74	6,97	60	6,28	44	0,044
0,1	74,57	7,46	60	6,28	47	0,047

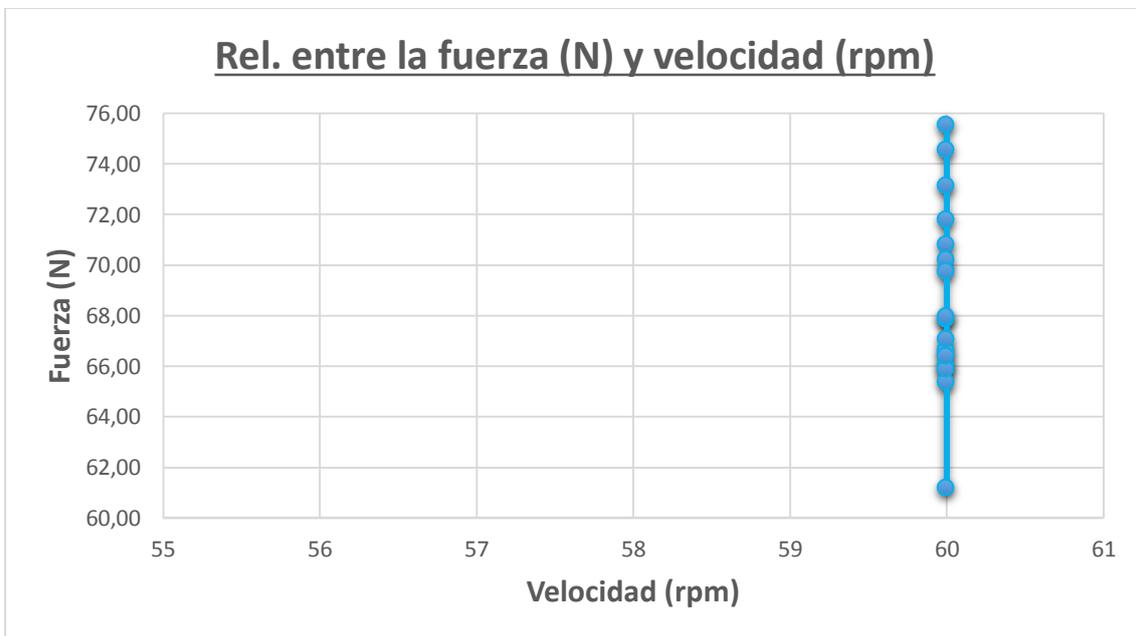
Tabla 16: Prueba\_01 del equipo de adquisición de datos en cinta transportadora sin carga (Fuente: Propia)

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad



Gráfica 3: Relación entre la potencia (W) y el par transmitido (Nm) (Fuente: Propia)

Se puede comprobar en la gráfica, como a medida que aumenta la potencia, también, aumenta el par y viceversa. Con lo cual, a medida que disminuye la potencia, también, disminuye el par y viceversa.



Gráfica 4: Relación entre la fuerza (N) y velocidad (rpm) (Fuente: Propia)

En la gráfica, se puede comprobar como la velocidad de la cinta transportadora es constante con la variabilidad de la fuerza, a nivel 1, el cual la variabilidad es debido, principalmente, por el rozamiento de la banda de la cinta transportadora.

En la tabla 17, se observan las mediciones de valor máximo.

<b>Mediciones de valor máximo</b>	
▪ Potencia máxima (W)	47
▪ Par máximo (Nm)	7,56
▪ Velocidad máxima (rpm)	60
▪ Fuerza máxima (N)	75,56

Tabla 17: Prueba\_01 valores máximos sin carga (Fuente: Propia)

En la tabla 18, se observan las mediciones de valor mínimo.

<b>Mediciones de valor mínimo</b>	
▪ Potencia mínima (W)	38
▪ Par mínimo (Nm)	6,12
▪ Velocidad mínima (rpm)	60
▪ Fuerza mínima (N)	61,18

Tabla 18: Prueba\_01 valores mínimos sin carga (Fuente: Propia)

## 7. PRESUPUESTO

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par  
y velocidad

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

En este capítulo del proyecto, se refleja los costes del sistema de adquisición de datos, el coste de la aplicación y con el presupuesto total.

El presupuesto se separa en tres apartados que son los siguientes:

- Coste del sistema de adquisición de datos.
- Coste de la aplicación.
- Presupuesto total.

A continuación, se detallan los apartados nombrados anteriormente.

### 7.1. COSTE DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

Concepto	Referencia	Cant.	Empresa	Precio uni. (€)	Total comp. (€)
Arduino Uno Wifi	A00133	1	Arduino	30	30
Cable de alimentación	39175	1	PC Componentes	3,95	3,95
Fuente de alimentación AC-DC	ZC2558#00	1	Shenzhen focalvalue technology	1,07	1,07
Fusible	S500-500-R	1	Farnell	0,18	0,18
Date Logging Shield	1568248	1	Cespedes	8,18	8,18
Display LCD (16X2)	80510	1	Ociidual	2,60	2,60
Sensor de efecto hall	KY-003	1	Electro componentes	2,09	2,09
Módulo HX711	HX711	1	Electrrio	3,80	3,80
Célula de carga (100kgf)	333A	1	Ktoyo	27,48	27,48
Módulo RF de 433 MHz (XY-DJM-5V)	GA2142	1	Prometec	6,20	6,20
Cableado y conexionado	654158	1	Electrolasser	2,50	2,50
Caja arduino	786512	1	EPSA-DIMM	18,89	18,89
<b>SUMA (€)</b>				106,94	
<b>IVA 21%</b>				22,46 €	
<b>TOTAL (€)</b>				129,40	

Tabla 19: Coste del sistema de adquisición de datos (Fuente: Propia)

## 7.2. COSTE DE LA APLICACIÓN.

### 7.2.1. COSTE DE MATERIA PRIMA.

Para el presupuesto del coste de la materia prima se elabora con la colaboración con la empresa para los suministros del material, la cual corta las piezas a la medida, que se requiere para su posterior fabricación.

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Medidas</b>	<b>Precio unitario (€/kg)</b>	<b>Precio total (€)</b>
S235 JRG2	1	M8 X 73 (mm)	0,69	0,015
S235 JRG2	1	M10 X 4 (mm)	0,69	0,15
S235 JRG2	1	60 X 65 X 10 (mm)	0,69	0,0018
S235 JRG2	2	M20 X 5 (mm)	0,69	0,032
<b>SUMA (€)</b>			0,20	
<b>IVA 21%</b>			0,04 €	
<b>TOTAL (€)</b>			0,24	

Tabla 20: Presupuesto de materias primas (Fuente: Propia)

## 7.2.2. COSTE DE COMPONENTES.

Concepto	Referencia	Cant.	Empresa	Precio uni. (€)	Total comp. (€)
Cojinete de cabeza articulada	KBRM_10	1	PCS innovations	5,41	5,41
Cojinete de cabeza articulada	EARM_06	1	PCS innovations	5,13	5,13
Tuerca hexagonal M6	07210-06	3	PCS innovations	0,12	0,36
Tuerca hexagonal M8	07210-08	3	PCS innovations	0,12	0,36
Tuerca hexagonal M10	07210-10	2	PCS innovations	0,17	0,34
Tornillo de cabeza avellanada M8 X 35	FP54677	2	PCS innovations	0,08	0,16
Tornillo de cabeza hexagonal M6 X 25	4454628	1	PCS innovations	0,08	0,08
Tornillo de cabeza hexagonal M10 X 65	4585267	1	PCS innovations	0,50	0,50
Arandela plana M6	5489 M6	1	PCS innovations	0,03	0,03
Arandela plana M10	4875 M10	1	PCS innovations	0,08	0,08
<b>SUMA (€)</b>				12,45	
<b>IVA 21%</b>				2,61	
<b>TOTAL (€)</b>				15,06	

Tabla 21: Presupuesto de componentes (Fuente: Propia)

## 7.2.3. COSTE DE FABRICACIÓN.

En este punto, se describe las horas del operario encargado del mecanizado de las piezas de montaje de los sensores.

Cabe nombrar, que no se tendrá en cuenta el precio por hora (€/h), si no que se nombra el precio por hora (€/h) que cuesta fabricarlo en el exterior.

- Horas de fabricación: 2 h.
  - Precio por hora (€/h) del operario: 30 €/h.
- Precio fabricación =  $30 \left(\frac{€}{h}\right) \cdot 2 (h) = 60 €$ .

## 7.2.4. COSTE TOTAL.

$$C_{TOTAL} = C_{Fabricación} + C_{Componentes} + C_{Materia\ prima} ;$$

$$C_{TOTAL} = 60 + 15,06 + 0,24 = 75,30 \text{ €}$$

## 7.3. PRESUPUESTO TOTAL.

Para elaborar el presupuesto total, se tiene en cuenta los anteriores puntos, y al presupuesto total se incluye un porcentaje (%) por imprevistos como, por ejemplo:

- Rotura de pieza/s.
- Problemas de compra de componentes.
- Defectos de fabricación.

Coste del sistema de adquisición de datos = 129,40 €.

Coste de la aplicación = 75,30 €.

Presupuesto total =  $\sum$  Presupuestos por partes + ( $\sum$  Presupuestos total · imprevistos);

- Imprevistos al 5%.

$$P_{TOTAL} = \sum P_{PARTES} + (\sum P_{TOTAL} \cdot \text{imprevistos});$$

$$P_{TOTAL} = 129,40 + 75,30 + ((129,40+75,30) \cdot 0,05);$$

$$P_{TOTAL} = 214,94 \text{ €}.$$

## 8. CONCLUSIÓN DEL PROYECTO

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par  
y velocidad

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

Finalmente, después de analizar las pruebas de funcionamiento del sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad, se puede concluir en lo siguiente.

La adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad es un sistema efectivo para la obtención de lecturas, de medidas de par y velocidad, para máquinas y mecanismos, el cual el cálculo puede ser complejo. Incluso se puede utilizar para diagnosticar cualquier mal funcionamiento de máquinas o mecanismos, antes de que haya una avería o rotura de algún componente de este y realizar el respectivo informe, ya que las lecturas medidas quedan almacenadas en la tarjeta SD mediante la activación del mando remoto, el cual abre y cierra los ficheros.

El sistema de bajo coste y autónomo está al alcance de cualquier empresa para su respectivo uso.

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par  
y velocidad

## 9. BIBLIOGRAFÍA

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par  
y velocidad

## 9.1. LIBROS Y PUBLICACIONES.

[1] **El libro de proyectos de arduino**

Scott Fitzgerald y Michael Shiloh. Edición 2014. 2014.

[2] **Arduino: aplicaciones en robótica, mecatrónica e ingenierías**

Fernando Reyes Cortes y Jaime Cid Monjaraz. 1ª Edición. 2015.

[3] **Manufactura, ingeniería y tecnología**

Serope kalpakjian y Steven R. Schmid. 5ª Edición. 2008.

[4] **Materiales para ingeniería 1: introducción a las propiedades, las aplicaciones y el diseño**

Michael F. Ashby. Edición 2008. 2008.

[5] **ANSYS Workbench tutorial**

Kent L. Lawrence. Edición 2006. 2006.

[6] **Finite Element Simulations with ANSYS Workbench 12**

Huei-Huang Lee. Edición 2010. 2010.

## 9.2. DOCUMENTOS ELECTRÓNICOS O PÁGINAS WEB.

- [7] **Tema 5: arranque de material**  
Miguel Jorge Reig Pérez. Alcoy, 2015.
- [8] **03 Tarjetas E-S**  
Jaime Masiá Vañó. Alcoy, 2017.
- [9] **AENOR**
- [10] **Arduino.cc**
- [11] **JM Industrial Technology S.A. de C.V.**
- [12] **National Instruments (NI)**
- [13] **Omega**
- [14] **Megacal**
- [15] **Sensing**
- [16] **Programa visual: adquisición de datos analógicos y digitales**  
Rafael Hernández Tequextle Cervantes. México, 2014.
- [17] **Sistemas de adquisición de datos**
- [18] **HeTPro**
- [19] **Electrónica Unicrom**
- [20] **Ingeniería mecafenix**
- [21] **Electrónica estudio**
- [22] **Simbología electrónica**
- [23] **Zona maker**
- [24] **Mactronica**
- [25] **Robótica fácil**
- [26] **Luis llamas**

- [27] **BeetleCraft**
- [28] **PC Componentes**
- [29] **Farnell**
- [30] **Norelem**
- [31] **Electrónica Lasser Carbonell**
- [32] **Electrón perdido**
- [33] **Prometec**
- [34] **Electrrio**
- [35] **Naylampmechatronics**
- [36] **Ktoyo**
- [37] **BCN3d technologies**
- [38] **BOE**
- [39] **ZUK Gearboxes**
- [40] **Tema 30: Evolución de la instrumentación electrónica programable**  
Herlberti I. Hernández Martínez, Ángel F. González Hernández y Josué N. García  
Matías. México, 2006.
- [41] **Señales analógicas y digitales**
- [42] **Concepto definición de fuente de alimentación**
- [43] **Unicrom**
- [44] **HBM**
- [45] **Wwwhatsnew: proceso de impresión en 3D**
- [46] **Gestión de compras industrial sourcing: proceso de torneado**
- [47] **Lizdenbow.blogspot.com**
- [48] **IGUS**

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par  
y velocidad

## 10. APÉNDICES

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par  
y velocidad

## 10.1. NORMAS UTILIZADAS.

La Directiva 2014/30/UE regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos que puedan crear perturbaciones electromagnéticas, o cuyo normal funcionamiento puede verse perjudicado por dichas perturbaciones, exigiendo que cumplan un nivel adecuado de compatibilidad electromagnética a fin de garantizar el funcionamiento del mercado interior.

Comunicación de la comisión europea en el marco de la aplicación Directiva 2004/108/CE del Parlamento Europeo y del consejo, de 15 de diciembre de 2004, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética y por la que se deroga la Directiva 89/336/CEE.

Real Decreto 186/2016, de 6 de mayo, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos.

Real Decreto 188/2016, de 6 de mayo, por lo que se aprueba el Reglamento por el que se establecen los requisitos para la comercialización, puesta en servicio y uso de equipos radioeléctricos, y se regula el procedimiento para la evaluación de la conformidad, la vigilancia del mercado y el régimen sancionador de los equipos de telecomunicación.

UNE-EN ISO 225:2011. Elementos de fijación. Pernos, tornillos, espárragos y tuercas. Símbolos y designación de las dimensiones.

UNE-ISO 690:2013. Información y documentación. Directrices para la redacción de referencias bibliográficas y de citas de recursos de información.

UNE 1039:1994. Acotación. Principios generales, definiciones, métodos de ejecución e indicaciones especiales.

UNE 17703:2004. Rosca métrica ISO para usos generales. Selección de diámetros y pasos para tornillería.

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

UNE-EN 27721:1992. Tornillos de cabeza avellanada. Configuración y calibración de la cabeza.

UNE-EN 60204-1:2007. Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de máquinas. Requisitos generales.

UNE 66916:2003. Sistemas de gestión de calidad. Directrices para la gestión de calidad en los proyectos.

UNE 157001:2014. Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.

## 10.2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS.

Propiedades del ácido poliláctico (PLA)	
Propiedades generales	
Densidad [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	$1,24 \cdot 10^3$
Precio [ $\text{€}/\text{kg}$ ]	2,57 - 3,13
Propiedades mecánicas	
Módulo de Young [GPa]	3,3 - 3,6
Coefficiente de poisson	0,38 - 0,4
Límite elástico [MPa]	55 - 72
Resistencia a la tracción [MPa]	47 - 70
Resistencia a la compresión [MPa]	66 - 86
Elongación [%]	3 - 6
Dureza-vickers [HV]	17 - 27
Resistencia a la fatiga para $10^7$ ciclos [MPa]	22,2 - 27,7
Tenacidad a la fractura [ $\text{MPa} \cdot \text{m}^{0,5}$ ]	3 - 5
Propiedades térmicas	
Punto de fusión [ °C ]	145 - 177
Temperatura de vitricación [ °C ]	52 - 60
Máxima temperatura en servicio [ °C ]	45 - 55
Mínima temperatura de servicio [ °C ]	-20 - (-10)
Buen aislante	
Conductividad térmica [ $\text{W}/\text{m} \cdot \text{°C}$ ]	0,13 - 0,16
Calor específico [ $\text{J}/\text{kg} \cdot \text{°C}$ ]	$1,18 \cdot 10^3$ - $1,21 \cdot 10^3$
Coefficiente de expansión térmica [ $\mu\text{strain}/\text{°C}$ ]	126 - 145
Propiedades eléctricas	
Buen aislante	
Resistividad eléctrica [ $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ ]	$3 \cdot 10^{17}$ - $6 \cdot 10^{17}$
Propiedades ópticas	
Transparente	
Índice de refracción	1,4 - 1,48
Propiedades ambientales	
Contenido en energía, producción primara [ $\text{MJ}/\text{kg}$ ]	49 - 54,2
Huella de $\text{CO}_2$ , producción primaria [ $\text{kg}/\text{kg}$ ]	3,43 - 3,79
Material reciclable	

Tabla 22: Propiedades del ácido poliláctico (PLA) (Fuente: site.google – universidad Jaume·I)

Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

Propiedades del acero de bajo contenido en carbono	
Propiedades generales	
Densidad [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	$7,8 \cdot 10^3 - 7,9 \cdot 10^3$
Precio [ $\text{€}/\text{kg}$ ]	0,57 - 0,69
Propiedades mecánicas	
Módulo de Young [GPa]	200 - 215
Coefficiente de poisson	0,28 - 0,30
Límite elástico [MPa]	220 - 395
Resistencia a la tracción [MPa]	345 - 580
Resistencia a la compresión [MPa]	250 - 395
Elongación [% strain]	26 - 47
Dureza-vickers [HV]	108 - 173
Resistencia a la fatiga para $10^7$ ciclos [MPa]	203 - 293
Tenacidad a la fractura [ $\text{MPa} \cdot \text{m}^{0,5}$ ]	41 - 82
Propiedades térmicas	
Punto de fusión [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$1,48 \cdot 10^3 - 1,53 \cdot 10^3$
Máxima temperatura en servicio [ $^{\circ}\text{C}$ ]	350 - 400
Mínima temperatura de servicio [ $^{\circ}\text{C}$ ]	-68,2 - (-38,2)
Buen conductor	
Conductividad térmica [ $\text{W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ]	49 - 54
Calor específico [ $\text{J}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ]	460 - 505
Coefficiente de expansión térmica [ $\mu\text{strain}/^{\circ}\text{C}$ ]	11,5 - 13
Propiedades eléctricas	
Buen conductor	
Resistividad eléctrica [ $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ ]	15 - 20
Propiedades ópticas	
Opaco	
Propiedades ambientales	
Contenido en energía, producción primaria [ $\text{MJ}/\text{kg}$ ]	25 - 27,7
Huella de $\text{CO}_2$ , producción primaria [ $\text{kg}/\text{kg}$ ]	1,72 - 1,9
Material reciclable	

Tabla 23: Propiedades del acero de bajo contenido en carbono (Fuente: CES EduPack 2017)

### 10.3. INFORMACIÓN MOTORES TRIFÁSICOS.

Tablas técnicas de motores trifásicos de 4P/1.500 rpm  
4P/1500 rpm three phase motors technical tables

Tamaño Motor IEC Motor size	Potencia Nominal Pn kW	Velocidad nominal Nomin. speed Wn rpm	Intensidad Nominal Nomin. intensity In A	Par Nominal Nomin. torque Min Nm	Factor de Potencia Power factor PP Cos φ	Rendimiento Nominal Nomin. efficiency η %	Int. de arranque Int. Nominal Starting int. Nomin. int. Ia/In 1/1	Par de arranque Par Nominal Starting torque Nomin. starting torque Ma/Mn 1/1	Par Máximo Par Nominal Maximum torque Nomin. torque Mm/Mn 1/1	Momento de Inercia Moment of inertia J Kgm2	Peso motor Motor weight P Kg	Presión sonora Sound pressure Sp dB
Tensión nominal de 400V (Y) ó 400V (Δ) • 50Hz / Nominal voltage 400V (Y) or 400V (Δ) • 50Hz												
56	0,06	1370	0,36	0,43	0,62	40,0	2,25	2,53	2,35	0,00012	2,6	43
56	0,09	1370	0,42	0,63	0,65	51,0	2,55	2,59	2,40	0,00014	3,1	45
63	0,12	1320	0,51	0,86	0,70	55,0	2,31	1,98	1,95	0,00029	3,8	47
63	0,18	1300	0,71	1,36	0,68	54,0	2,21	1,78	1,69	0,00039	4,2	49
71	0,25	1380	0,93	1,73	0,68	57,0	3,26	2,45	2,29	0,00097	5,5	49
71	0,37	1360	1,19	2,61	0,74	61,0	3,40	2,33	2,05	0,00139	6,2	50
80	0,55	1390	1,59	3,76	0,75	66,0	3,60	1,76	1,95	0,00253	7,8	52
80	0,75	1400	2,16	5,08	0,72	69,0	4,03	1,65	1,95	0,00321	9,2	54
90S	1,1	1400	2,81	7,47	0,77	74,0	4,33	2,35	2,53	0,00301	11,4	58
90L	1,5	1420	3,65	10,11	0,74	80,0	5,28	2,92	2,85	0,00425	14,4	60
100	2,2	1420	5,05	14,73	0,76	81,8	5,57	2,82	2,79	0,00573	21,4	60
100	3	1410	6,60	20,45	0,79	82,5	5,34	2,58	2,57	0,00752	23,4	60
112	4	1440	9,39	26,60	0,72	84,7	6,00	3,13	3,26	0,01510	30,4	60
132S	5,5	1450	12,14	36,51	0,79	85,7	4,92	2,69	2,67	0,02937	49,2	62
132M	7,5	1450	16,18	49,68	0,79	86,2	5,18	2,39	2,82	0,03877	54,5	65
160M	11	1450	22,34	73,86	0,84	87,1	4,52	1,61	1,98	0,08478	93,8	68
160L	15	1450	30,59	98,49	0,81	88,2	4,78	1,97	2,31	0,11315	102,0	69
180M	18,5	1462	37,50	121,61	0,80	88,9	6,50	2,40	3,30	0,04000	150,0	94
180L	22	1467	44,40	144,13	0,80	89,3	7,50	2,40	3,30	0,17000	162,0	94
200L	30	1458	57,00	197,75	0,85	89,4	6,50	1,80	2,80	0,19700	231,0	96
225S	37	1468	67,80	242,23	0,87	90,5	7,00	2,00	2,80	0,22000	255,0	98
225M	45	1466	84,50	295,01	0,84	91,5	7,50	2,00	3,00	0,30000	278,0	99
250M	55	1453	93,60	363,80	0,92	92,4	7,00	2,00	2,60	0,55000	376,0	100
280S	75	1463	126,00	492,69	0,94	91,4	7,50	2,00	3,00	0,67500	423,0	101
280M	90	1464	148,80	590,83	0,95	92,4	8,00	2,00	3,20	1,65000	534,0	103
315S	110	1478	188,10	715,28	0,90	94,1	6,75	2,20	2,20	2,30000	595,0	103
315S/M	132	1469	226,50	863,60	0,89	94,2	7,00	2,60	2,40	3,00000	645,0	103
315M/L	160	1485	266,50	1035,51	0,92	94,2	7,50	1,80	2,20	3,12000	955,0	104
315M/L	200	1485	328,60	1294,39	0,92	95,5	7,50	1,80	2,20	4,50000	1045,0	106

Los datos eléctricos mostrados en las tablas son orientativos y no vinculantes. Contactar con nuestro departamento técnico para obtener una información más exacta.

The electrical data shown in tables are orientative only and not binding. Contact our technical department for more accurate information.

Figura 104. Catálogo de motores trifásicos 4P/1500 rpm (Fuente: zk gearboxes electric motors)

## 10.4. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN.

```
//Librerías utilizadas.
#include <SD.h> //Para la tarjeta SD.
#include <LiquidCrystal.h> //Para la pantalla LCD.
#include <HX711.h> //Para la célula de carga.
#include <SPI.h> //Comunicación con el lector SD.

LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2); //Crea un objeto LCD. Parámetros:(rs, enable,
d4, d5, d6, d7).

//Definición de entradas digitales del HX711.
#define DOUT A1
#define CLK A0

HX711 balanza(DOUT, CLK);

//Conexiones de pines del sensor hall y el led para indicar el funcionamiento de
ambos.
const int pinSENSOR = 8;
//const int pinLED = 13;

//Indicadores de acción del sensor hall.
int estadoSENSOR = 0;
int estadoANTERIOR = 0;

//Se declara el sensor hall como apagado.
//int estadoLED = 0;
```

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

```
//Declaración de variables.

int rpm;

const unsigned long Tiempomuestra = 1000;

const int chipSelect = 10;

unsigned int numeroarchivo=0;

String nombearchivo;

bool marcha =false;

File dataFile;

float fuerza;

//Definición de las entradas digitales del mando.

const int pinMando = 9;

//const int pinParo =9;

// Definición de una constante para depuración.

bool depuracion=true; // True imprime por serie, false no.

void setup()

{

    lcd.begin(16, 2); //Inicia la interfaz para la pantalla LCD y determina sus dimensiones (alto y ancho) del monitor.

    lcd.print("Tarando ...");

    Serial.begin(9600); //Velocidad del puerto.

    //pinMode(pinLED, OUTPUT); //Se declara el led como una salida.

    pinMode(pinSENSOR, INPUT); //Se declara el sensor hall como una entrada.
```

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

```
pinMode(pinMando, INPUT); //Se declara el pin de marcha como entrada.
//pinMode(pinParo, INPUT); //Se declara el pin de marcha como entrada.
pinMode(chipSelect, OUTPUT);

//Serial.print("Lectura del valor del ADC: ");
balanza.read();
//Serial.println("No poner ningún objeto sobre la balanza");
//Serial.println("Destarando...");
//Serial.println("...");

balanza.tare(40); //El peso actual es considerado tara.
balanza.set_scale(44783); // Se establece la escala.
balanza.set_gain(128);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Tarado Fuerza");
//Serial.println("Listo para pesar");

// Si hay un error al leer la tarjeta se informa por el puerto serie.
if (!SD.begin(chipSelect))
{
    Serial.println("Error al leer la tarjeta");
    return;
}
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Fin del tarado");
//Serial.println("Fin del tarado");
}
```

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

```
void loop()
{
    fuerza=balanza.get_units(20)*9.81;//*9.81

    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print( "F (N)=" );
    lcd.print(fuerza,3);

    // Lectura del mando.
    if(digitalRead(pinMando))
    {
        if(!marcha)
        {
            marcha=true;

            lcd.clear();
            lcd.println("Fichero abierto");
            if(depuracion){Serial.println("Fichero abierto");}
            delay(1000);
            lcd.clear();
            //nombreamchivo="datos.csv";
            nombreamchivo=String("Datos_") + String(numeroarchivo++);
        }
        else{
            marcha=false;
            dataFile.close();
            lcd.clear();
        }
    }
}
```

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

```
        if(depuracion){Serial.println("Fichero cerrado");}
        lcd.println("Fichero cerrado");
        delay(1000);
        lcd.clear();
    }
}
// Si el fichero es correcto se escribe en él.
if (marcha)
{
    // Se escribe en el fichero el siguiente texto.
    //dataFile.print("v (rpm)= ");
    //dataFile.print("F (kg)= ");
    dataFile = SD.open(nombrefichero, FILE_WRITE);
    // A continuación, se escribe el valor de rpm y la fuerza, y salta a la
    // línea siguiente.
    dataFile.print(rpm);
    dataFile.print(";");
    dataFile.println(fuerza,3);
    dataFile.close();

    if(depuracion){
        // Se escribe por serial los datos.
        Serial.print( "v (rpm)= " );
        Serial.println(rpm);

        Serial.print( "F (N)= " );
        Serial.println(fuerza,3);
    }
}
```

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

```
// Se avisa de que se puede escribir correctamente.
Serial.println("Valor almacenado");

// Si no se puede escribir en el fichero, se avisa por el puerto serie.
}
else
{
    //Serial.println("Error al escribir el fichero de datos");
}

estadoSENSOR = digitalRead(pinSENSOR); // Lee la lectura del sensor hall y
se compara con el valor anterior, en este caso será 0.

if (estadoSENSOR != estadoANTERIOR)
{
    rpm = RPM(); //Método que se crea más adelante para configurar las
    RPM.

    // estadoLED = 1 - estadoLED; //Se verifica el estado del led.

    //Se visualiza en el serial del Arduino. No hay delay, ya que se quiere
    mostrar las RPM cada vez que haya un cambio.

    //Imprime los resultados a la pantalla LCD.

    lcd.clear();

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print( "v (rpm)=" );
    lcd.print(rpm);
}
/*
estadoANTERIOR = estadoSENSOR; //Se reinicia el estado del sensor a 0,
para que se repita la condición.

if (estadoLED == 1) //Se verifica el estado del led y se enciende.
```

## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

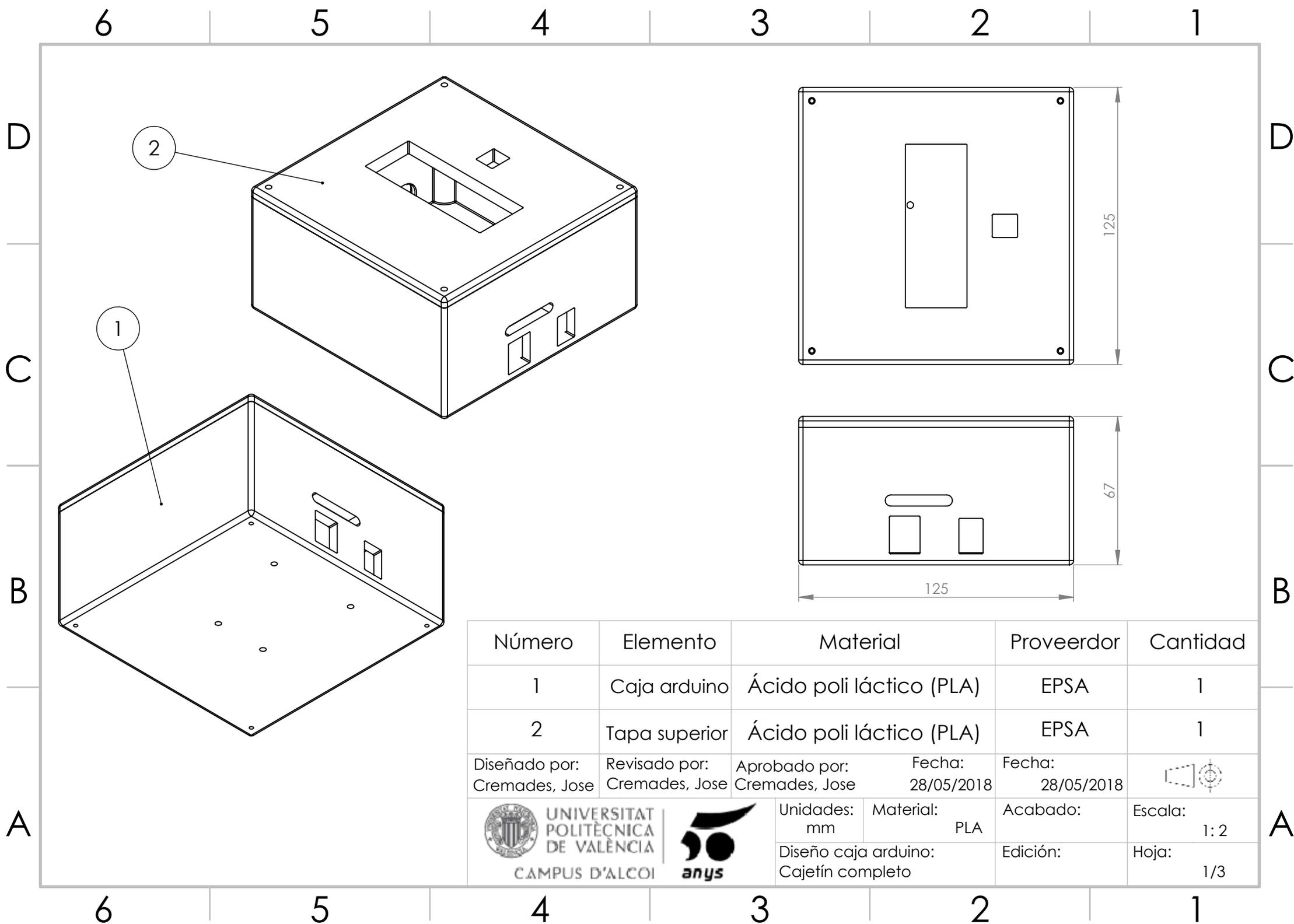
```
{
    //digitalWrite(pinLED, HIGH);
}
else
{
    //digitalWrite(pinLED, LOW); //De lo contrario se apaga.
}
*/
}

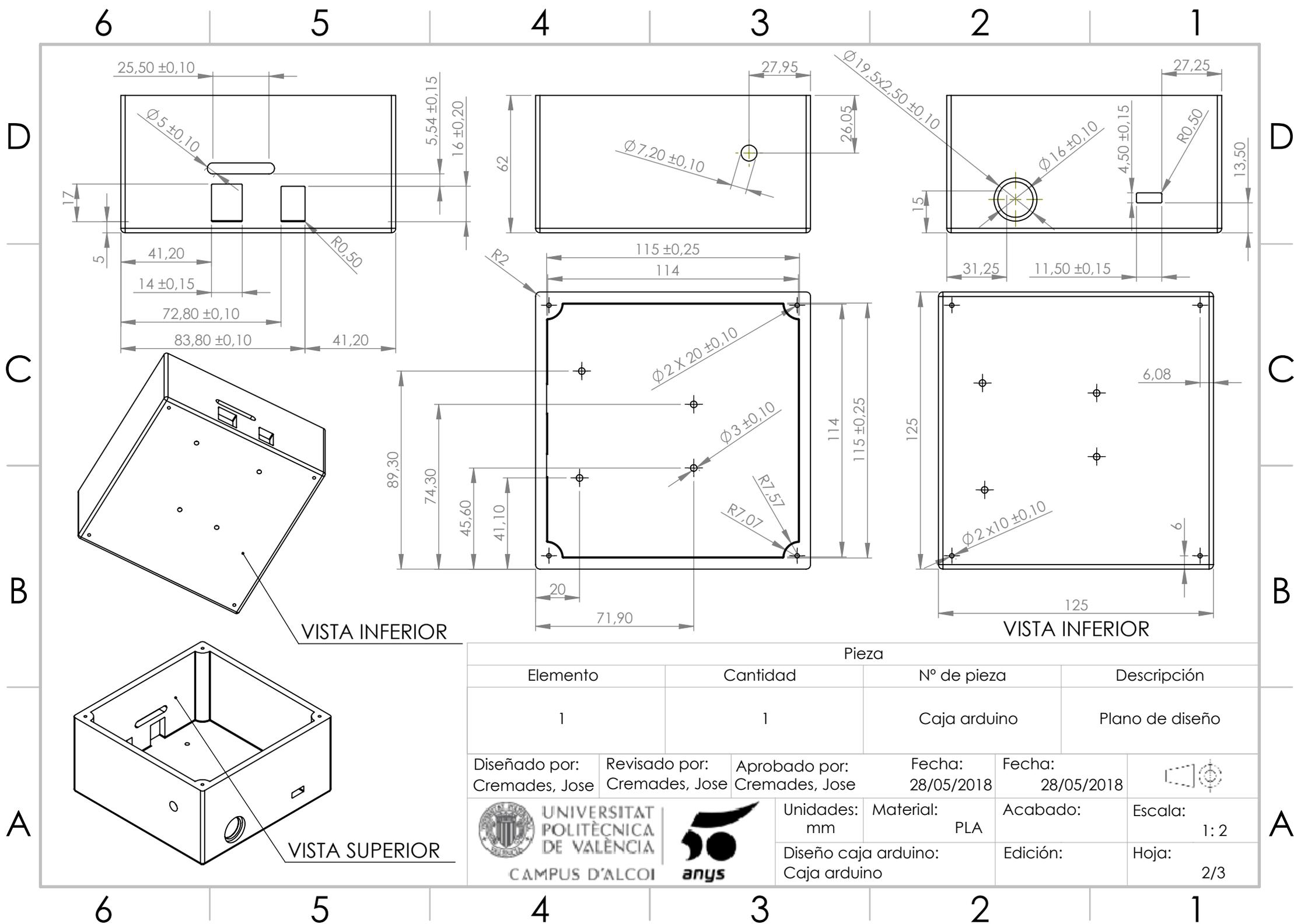
//Método para hallar las RPM.
//De primero, se incluye la función RPM.
//Millis() es aquella función que llevará el tiempo desde que se da el inicio de la programación.
int RPM()
{
    int Contador = 0;
    boolean Corriente = LOW;
    unsigned long Tiempoactual = 0;
    unsigned long Inicio = millis();
    while (Tiempoactual<=Tiempomuestra)
    {
        if(digitalRead(pinSENSOR) == HIGH)
        {
            Corriente = HIGH;
        }
        if(digitalRead(pinSENSOR) == LOW && Corriente == HIGH)
        {
```

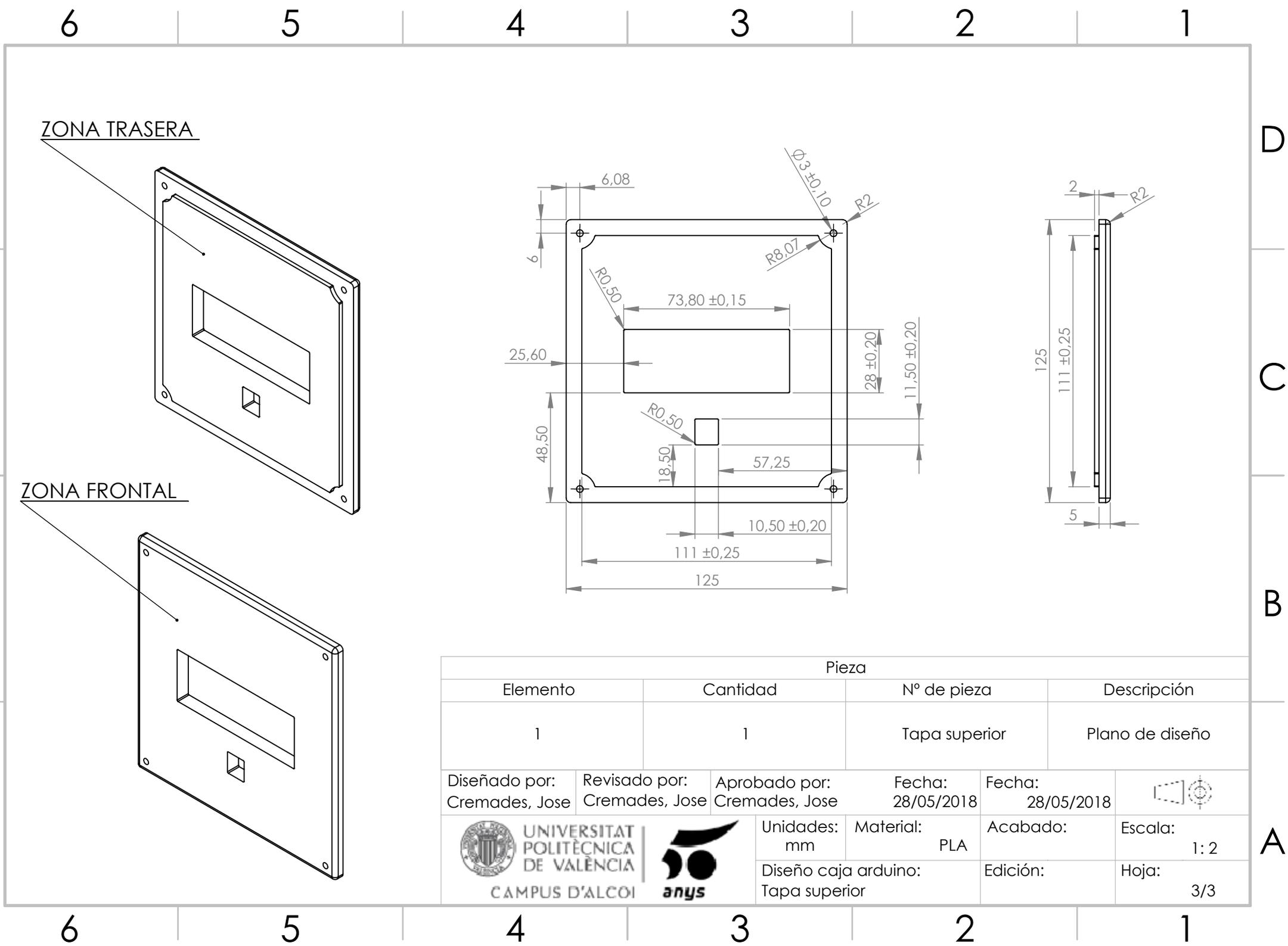
## Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de bajo coste para la medición de par y velocidad

```
        Contador++;  
        Corriente = LOW;  
        //digitalWrite(pinLED, HIGH);  
    }  
    Tiempoactual = millis() - Inicio;  
}  
//digitalWrite(pinLED, LOW);  
int Contador2RPM = int(60000./float(Tiempomuestra))*Contador;  
return Contador2RPM;  
}
```

## 10.5. PLANOS ACOTADOS Y ELÉCTRICOS.





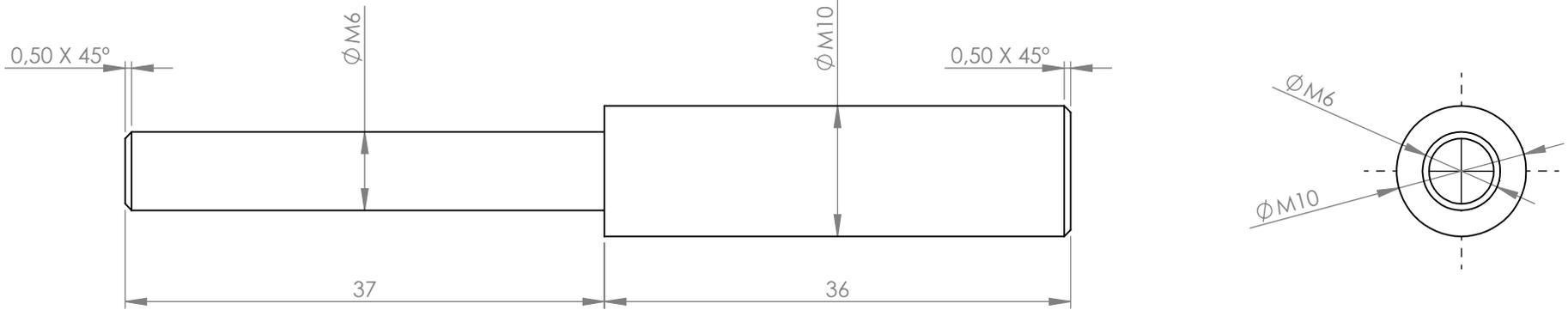


Pieza					
Elemento	Cantidad	Nº de pieza	Descripción		
1	1	Tapa superior	Plano de diseño		
Diseñado por: Cremades, Jose	Revisado por: Cremades, Jose	Aprobado por: Cremades, Jose	Fecha: 28/05/2018	Fecha: 28/05/2018	
<b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b> CAMPUS D'ALCOI		<b>anys</b>		Unidades: mm	Material: PLA
Diseño caja arduino: Tapa superior			Acabado:	Edición:	Escala: 1: 2 Hoja: 3/3

6 5 4 3 2 1

D

D

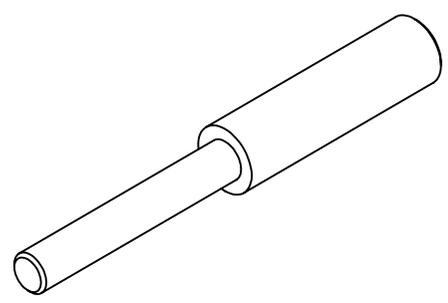


C

C

B

B



A

A

Pieza					
Elemento	Cantidad	Nº de pieza	Descripción		
1	1	Eje_mecanizado	Plano de diseño		
Diseñado por: Cremades, Jose	Revisado por: Cremades, Jose	Aprobado por: Cremades, Jose	Fecha: 04/06/2018	Fecha: 04/06/2018	
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI	 <b>ansys</b>	Unidades: mm	Material: S235 JRG2	Acabado:	Escala: 2:1
		Piezas a mecanizar: Eje_mecanizado		Edición:	Hoja: 1/4

6 5 4 3 2 1

6 5 4 3 2 1

D

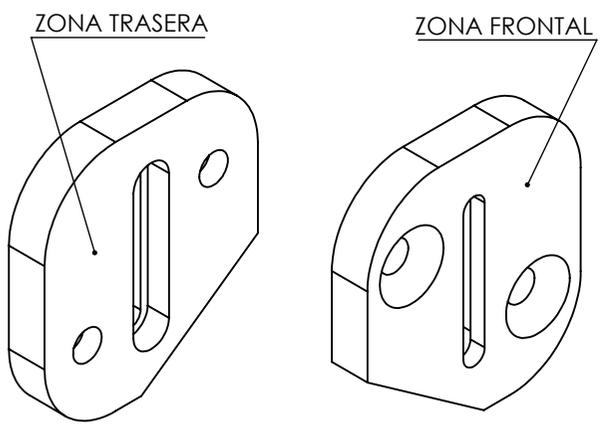
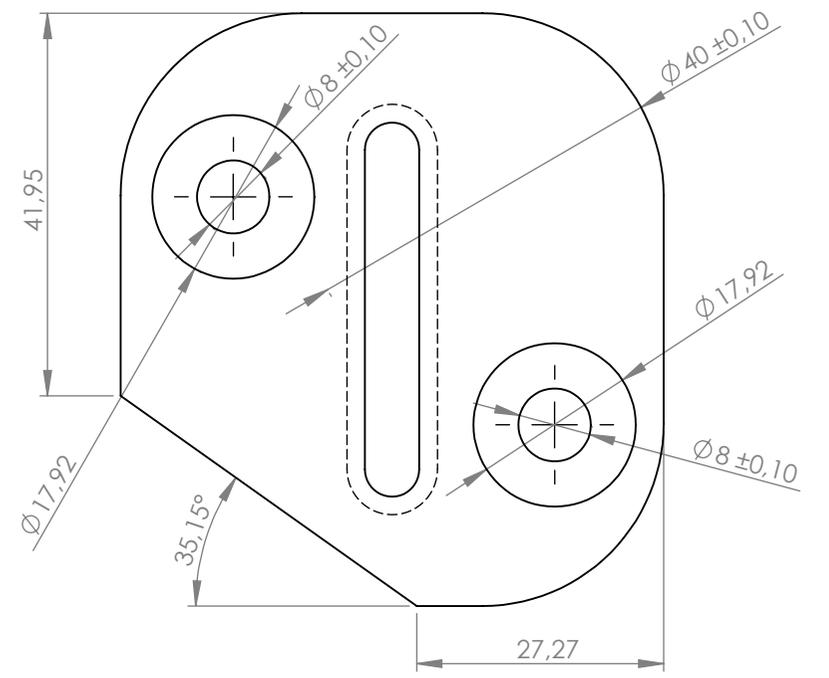
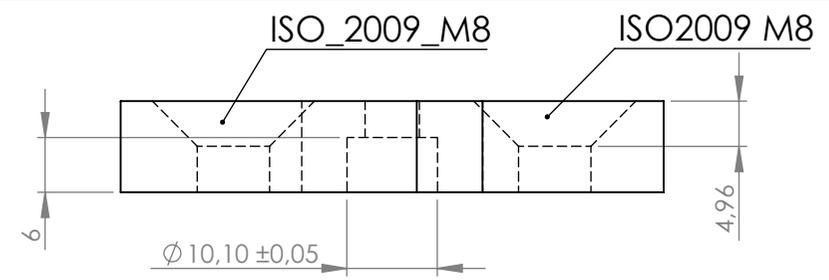
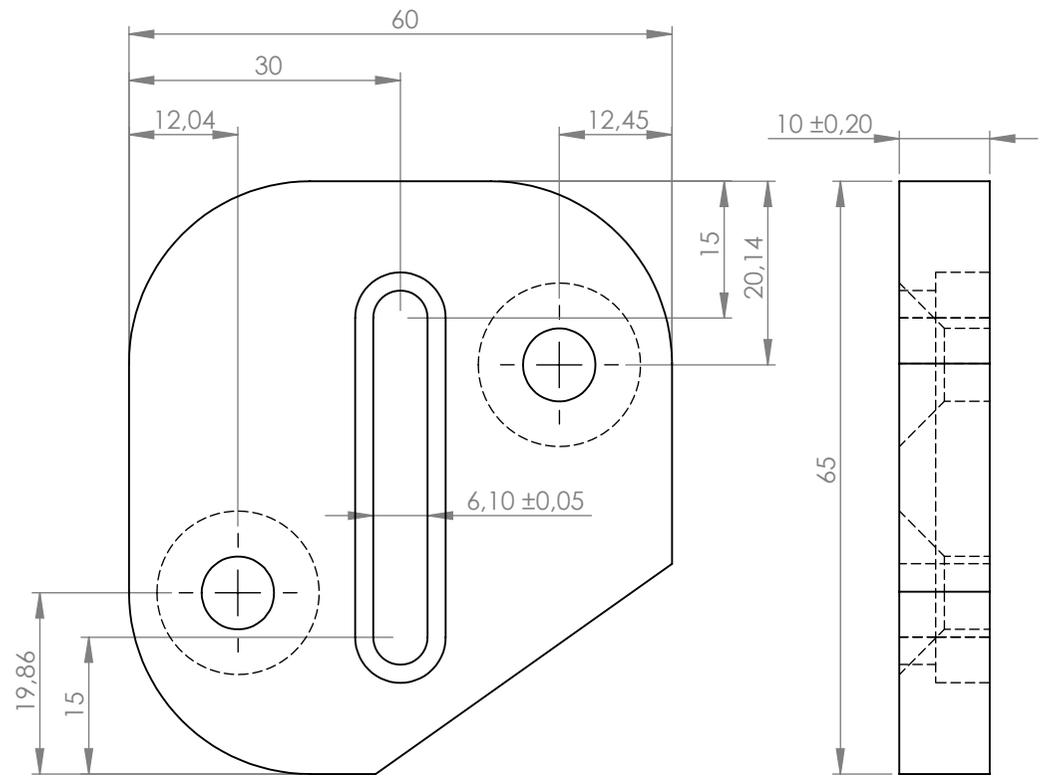
C

B

D

C

B



Pieza					
Elemento	Cantidad	Nº de pieza	Descripción		
1	1	Placa_avellanada	Plano de diseño		
Diseñado por: Cremades, Jose	Revisado por: Cremades, Jose	Aprobado por: Cremades, Jose	Fecha: 04/06/2018	Fecha: 04/06/2018	
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI		anys		Unidades: mm Material: S235 JRG2	Acabado: Edición:
Piezas a mecanizar: Placa_avellanada				Escala: 1,25:1 Hoja: 2/4	

6 5 4 3 2 1

A

A

6

5

4

3

2

1

D

D

C

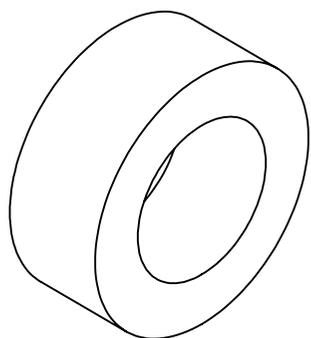
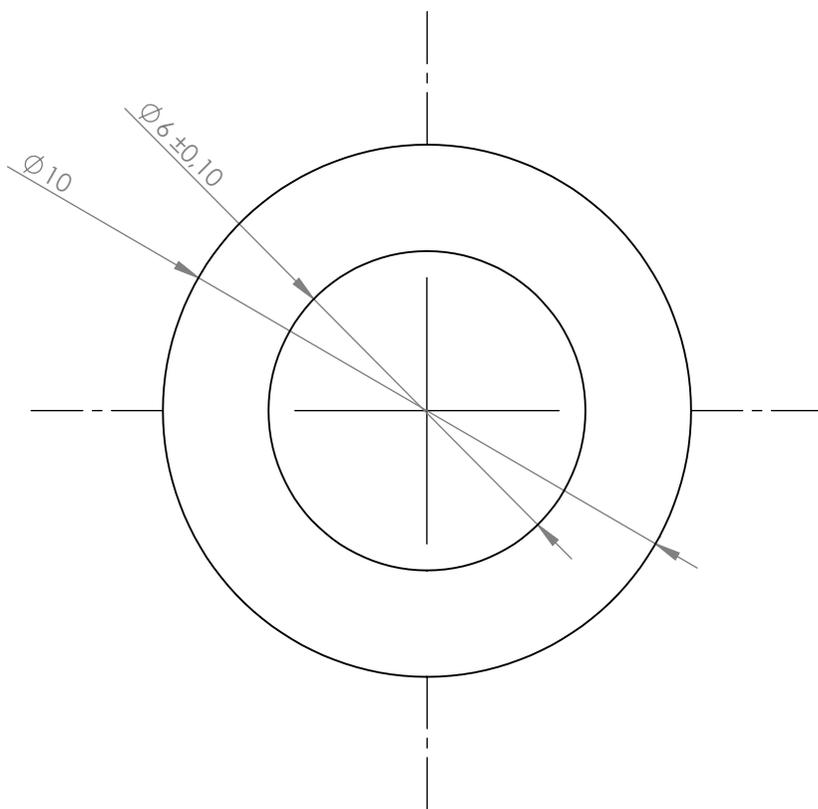
C

B

B

A

A



Pieza							
Elemento		Cantidad		Nº de pieza		Descripción	
1		1		Rodillo_rótula		Plano de diseño	
Diseñado por: Cremades, Jose		Revisado por: Cremades, Jose		Aprobado por: Cremades, Jose		Fecha: 04/06/2018	Fecha: 04/06/2018
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI		 ansys		Unidades: mm	Material: S235 JRG2	Acabado:	Escala: 7:1
				Piezas a mecanizar: Rodillo_rótula		Edición:	Hoja: 3/4

6

5

4

3

2

1

6 5 4 3 2 1

D

C

B

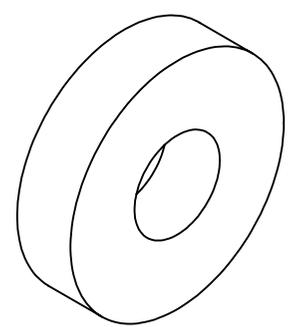
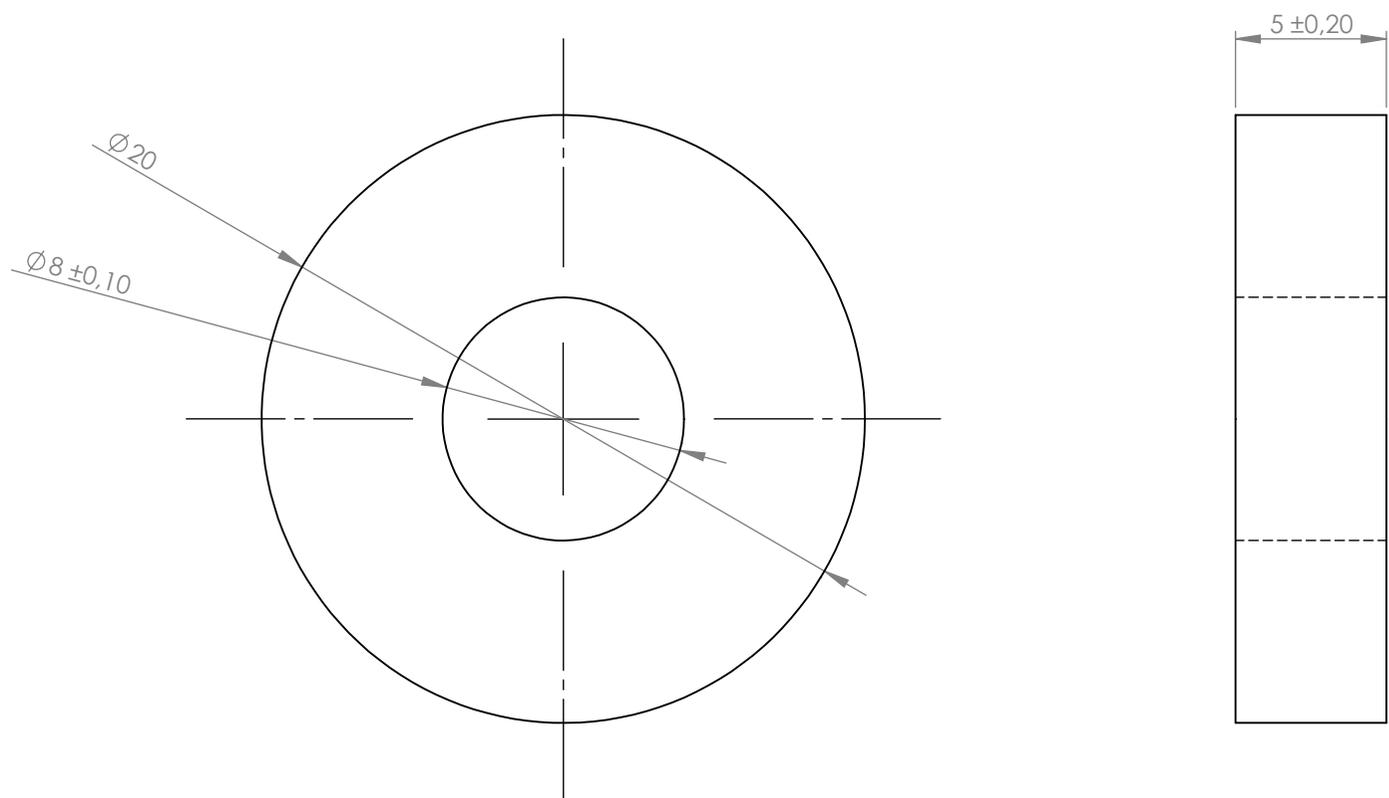
A

D

C

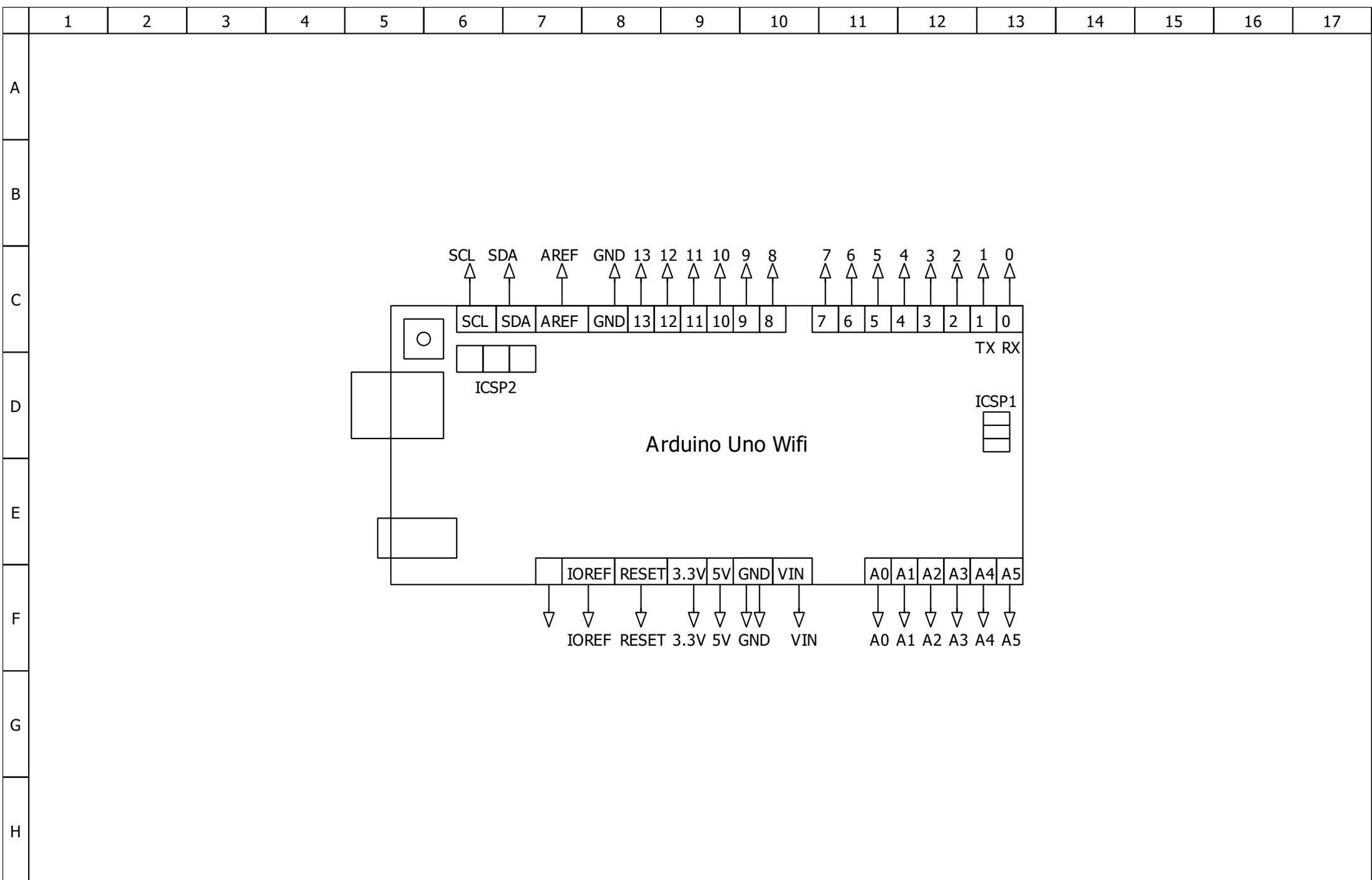
B

A



Pieza					
Elemento	Cantidad	Nº de pieza	Descripción		
1	2	Rodillo_espaciador	Plano de diseño		
Diseñado por: Cremades, Jose	Revisado por: Cremades, Jose	Aprobado por: Cremades, Jose	Fecha: 04/06/2018	Fecha: 04/06/2018	
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI		Unidades: mm Material: S235 JRG2		Acabado:	Escala: 4:1
		Piezas a mecanizar: Rodillo_espaciador		Edición:	Hoja: 4/4

6 5 4 3 2 1



A

B

C

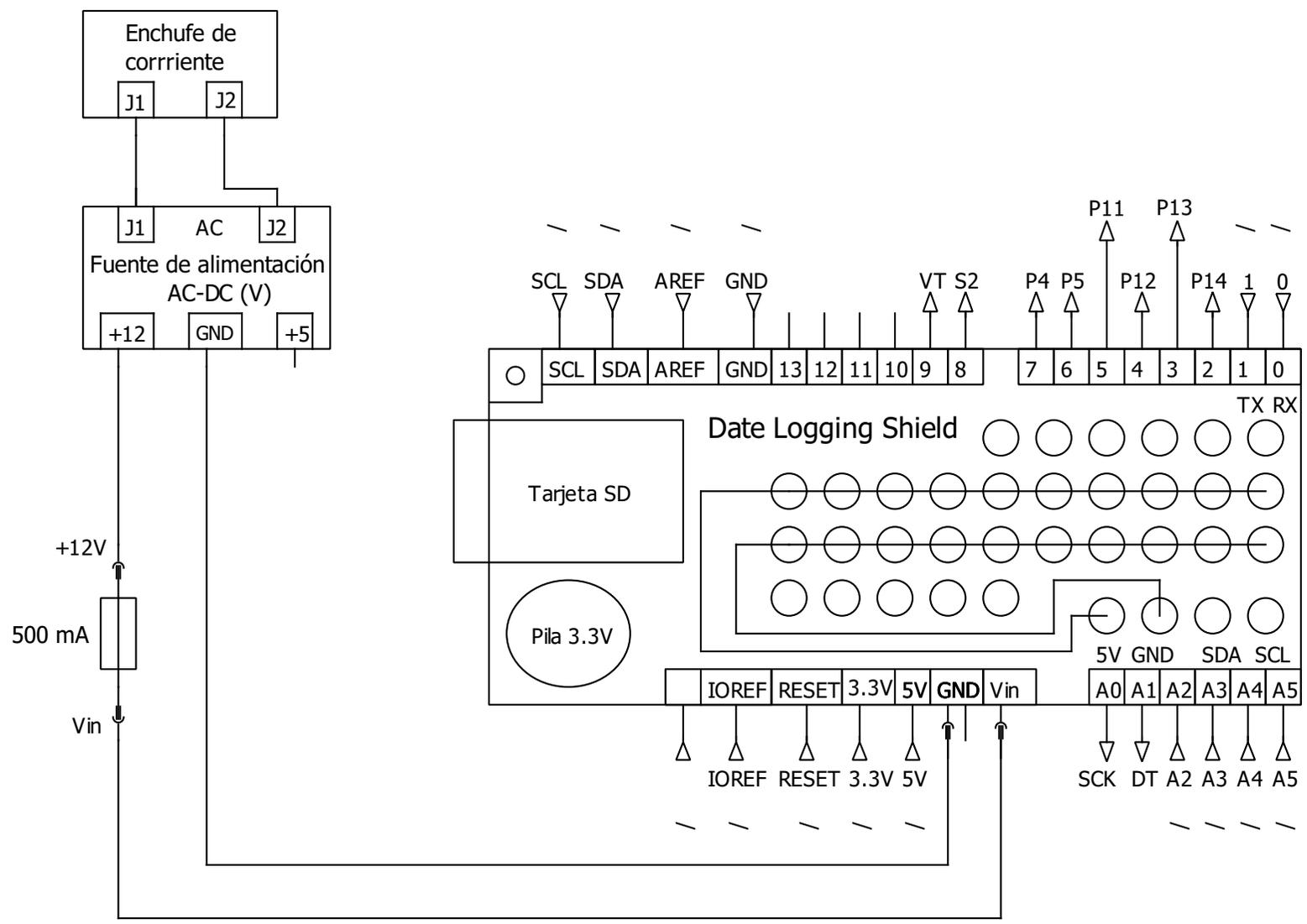
D

E

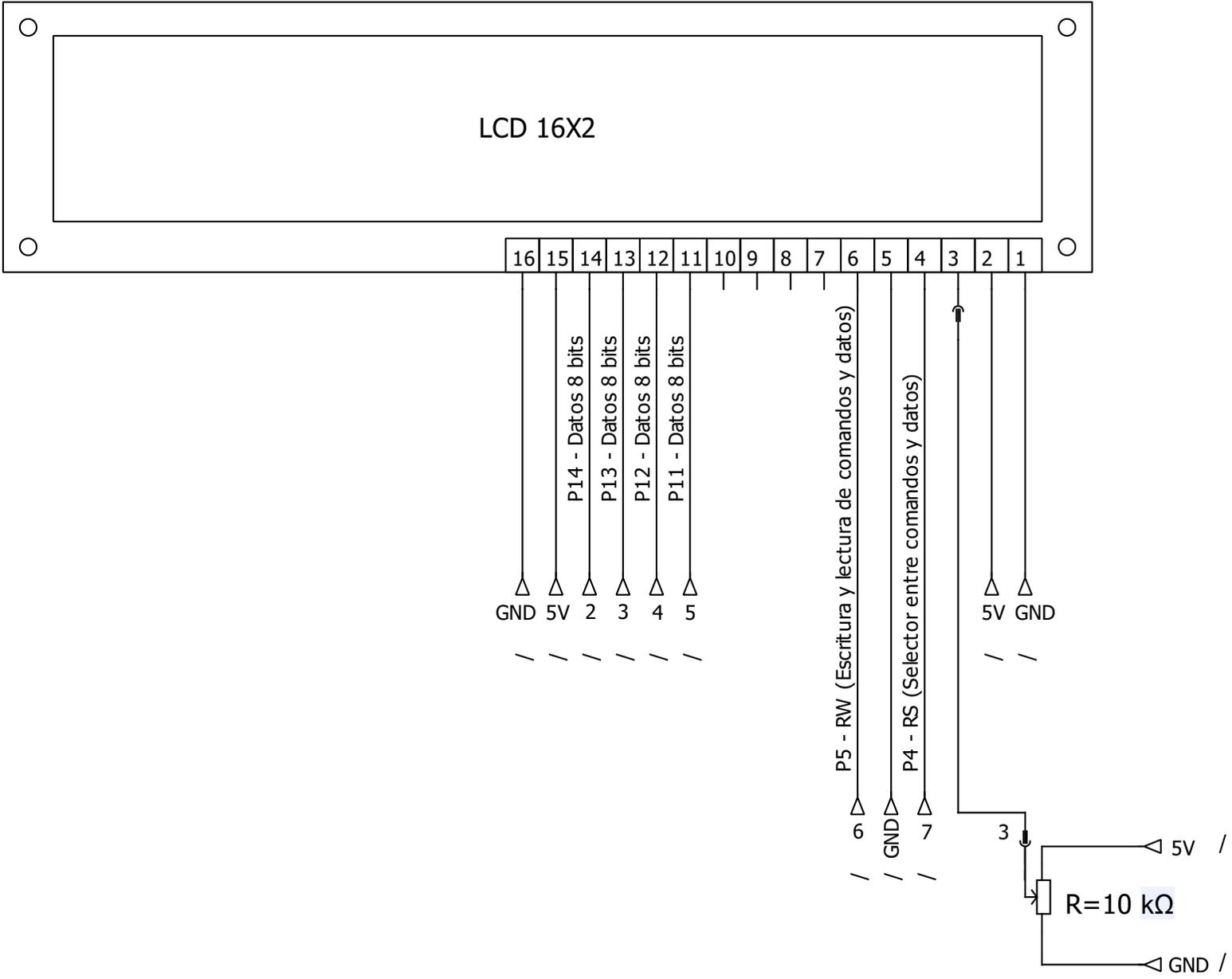
F

G

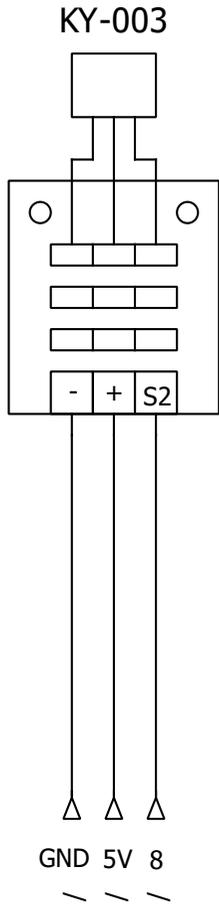
H



NOTA: Los pines 11, 12 y 13 están reservados para la librería SPI de la placa Date logging shield (comunicación con la tarjeta SD). El pin 10 está reservado para la variable chipSelect.



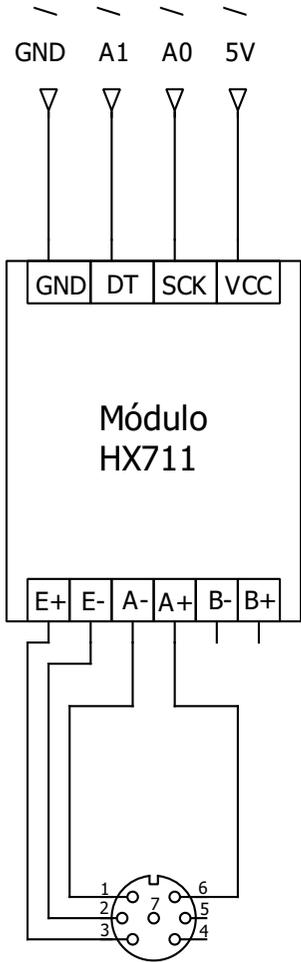
Sensor de efecto hall



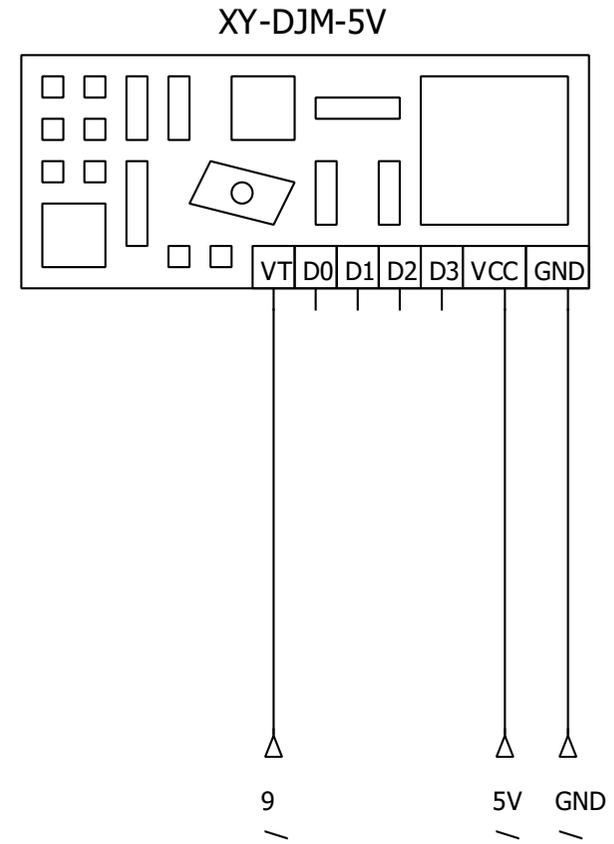
Date Logging Shield

Célula de carga

Date Logging Shield



Módulo de RF de 433 MHz



Date Logging Shield