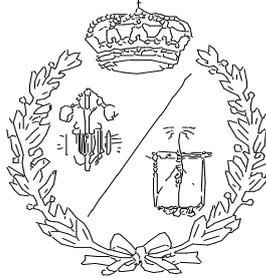


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



***Proyecto Fin de Grado***

**PLATAFORMA DE ESTUDIO DE LA PISADA  
(Heel Stimulation Platform)**

Para acceder al Título de

**GRADUADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA**

**Autor: Rubén Hoyos Álvarez**

**Febrero - 2024**

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer a nuestro supervisor, el profesor Peyman Mirtaheeri, por su compromiso con el proyecto, las reuniones y el tiempo que dedicó a responder nuestras preguntas y ayudarnos con los problemas que surgieron en el camino. Su conocimiento y pasión por el tema nos ayudaron a llegar hasta aquí. Junto a mis compañeros de proyecto: Jesse Denaux, Mathéo Moncet, Hendrik Wildschut y Wouter Westerveld. Ha sido un privilegio trabajar con todos ellos.

En segundo lugar, me gustaría agradecer a GAITLINE y a Håvard Engell por permitirnos colaborar con ellos y apoyar el proyecto.

También me gustaría agradecer al personal de Makerspace por su ayuda y por brindarnos la posibilidad de utilizar sus materiales y equipos.

Por último, me gustaría agradecer a la Universidad de OsloMet, al programa Erasmus, a la Universidad de Cantabria y específicamente a nuestros profesores de OsloMet, Tengel Aas Sandtrø y Tom Muir, por hacer posible el Proyecto Semestral Europeo. Nuestros profesores nos guiaron a lo largo del proyecto, brindándonos comentarios e información útiles.

## RESUMEN

Este informe presenta los hallazgos y resultados de un Proyecto Semestral Europeo realizado por cinco estudiantes de licenciatura en colaboración con el profesor Peyman Mirtaheri y Håvard Engell, CEO de Gaitline, una empresa fabricante de calzado. El proyecto tiene como objetivo explorar el papel de los mecanorreceptores en el talón, a través del desarrollo de una plataforma de estimulación del talón. Esto implica una exploración exhaustiva de los mecanismos subyacentes y los efectos de la estimulación del talón en la marcha y el equilibrio humano.

La investigación incluyó un enfoque multidisciplinario que combinó habilidades de ingeniería electrónica, de software y mecánica. Con el uso de los materiales proporcionados por Makerspace, se desarrolló una plataforma. Para visualizar la actividad neural, se utilizó Laser Doppler Flowmetry (LDF) para medir el flujo sanguíneo en el talón.

Se diseñaron, fabricaron y optimizaron varias iteraciones de las plataformas para adquirir los datos más adecuados posibles. La plataforma fabricada es capaz de generar estímulos mecánicos y medir la distribución del peso para comprender la marcha humana. El prototipo presenta los datos medidos en un formato claro y legible, adecuado para un análisis posterior.

Debido a la falta de conocimiento del grupo sobre la anatomía humana y la biometría, y a que LDF no es el método óptimo debido a su sensibilidad, no se ha realizado ninguna mejora concreta con LDF. Aunque la plataforma funciona bien por sí misma, aún queda trabajo por hacer para integrar un dispositivo que mida la actividad neural.

## ABSTRACT

This report presents the findings and outcomes of a European Project Semester undertaken by five bachelor students in collaboration with Prof. Peyman Mirtaheri and Håvard Engell, the CEO of Gaitline, a shoe design company. The project aims to explore the role of mechanoreceptors in the heel, through the development of a heel stimulation platform. This involves a comprehensive exploration of the underlying mechanisms and effects of heel stimulation on human gait and balance.

The research included a multi-disciplinary approach, combining electronic, software, and mechanical engineering skills. With the use of the materials provided by the Makerspace, a platform is developed which consistently performs a random linear movement. To see the neural activity, Laser Doppler Flowmetry (LDF) is used to measure the blood flow in the heel.

Various iterations of the platforms were designed, manufactured, and optimized to acquire the most suitable data possible. The manufactured platform can generate a mechanical stimulus and measure the weight distribution in order to understand human gait. The prototype presents the measured data in a clear and readable format, suitable for further analysis.

Due to insufficient knowledge from the group about human anatomy and biometrics, and LDF not being the optimal method due to the sensitivity of the probe, no concrete improvement has been done with LDF. Although the platform works fine on itself, there is still further work that must be done to integrate a device to measure neural activity.

# Índice

Agradecimientos .....	1
Resumen.....	2
Abstract.....	3
1 Introducción .....	5
1.1 GaitLine .....	5
1.2 Anatomía del Tobillo .....	6
1.3 Problema/Contexto .....	7
1.4 Resultado deseado .....	8
2 Gestión del proyecto.....	9
2.1 Definición del proyecto.....	9
2.2. Objetivos y Alcance de la Misión .....	9
2.3. Métodos de Manejo.....	10
2.4. Análisis de Riesgos.....	12
3 Diseño.....	14
3.1 Esquema inicial .....	14
3.1.1 Plataforma.....	14
3.1.2 Circuitos .....	14
3.1.3 Sensores / Celdas de Carga .....	14
3.1.4 Tapa de Madera.....	14
3.1.5 Mecanismo de Montaje LDF.....	15
3.1.6 Software .....	15
3.1.7 Tiempo de Reacción.....	15
3.1.8 Placa de Software.....	15
3.1.9 Visualización de Datos .....	15
3.2 Hardware.....	16
3.2.1 Base .....	16
3.2.2 Pistón .....	17

3.2.3	Circuitos .....	18
3.2.4	Sensores / celdas de carga .....	21
3.2.5	Tapa de madera.....	24
3.2.6	Mecanismo de montaje LDF.....	25
3.3	Software .....	27
3.3.1	Código Arduino .....	27
3.3.2	Código Python .....	28
3.3.3	Tiempo de reacción .....	30
3.3.4	Placa de software .....	31
3.3.5	Visualización de los datos .....	31
4	Producto final.....	32
5	Evaluación .....	34
5.1	El futuro del proyecto .....	34
5.1.1	Tensión en la placa.....	34
5.1.2	Los raíles previenen que la plataforma venza .....	34
5.1.3	Software .....	35
5.1.4	Circuitos .....	35
5.1.5	LDF.....	35
6	Conclusión.....	37
7	Reflexión.....	38
8	Anexo.....	40
8.1	Especificaciones de Componentes.....	40
8.1.1	Equipo de Laboratorio: .....	40
8.1.2	Instrumentación: .....	40
8.1.3	Sensores: .....	41
8.1.4	Software Utilizado:.....	41
8.1.5	Componentes Electrónicos:.....	41
8.1.6	Energía:.....	42
8.2	Presupuesto .....	43

8.3	Código Arduino.....	44
8.4	Código Python para la Aplicación de Visualización de Datos desde Arduino .....	51
9	Bibliografía.....	131

## Índice de Figuras

Figura 1,	Visualización de la corrección de la pisada con los zapatos Gaitline. ....	6
Figura 2,	La localización de los mecanorreceptores en la piel glabra. V.E. Abaira & D.D. Ginty, 2013, Journal of Neuron, 4, p. 618-639, Copyright 2013 by Elsevier.....	6
Figura 3,	Principio LDF de eventos de dispersión única. Adaptado de (Moor Instruments Ltd., 2009) .....	7
Figura 4,	Diagrama GANTT.....	10
Figura 5,	Scrum board .....	11
Figura 6,	Diagrama de análisis de riesgo durante el desarrollo del proyecto. Elaboración propia .....	12
Figura 7,	Diseño (sin carcasa) terminado, componentes etiquetados .....	16
Figura 8,	Boceto del circuito en su primer prototipo. Elaboración propia.....	19
Figura 9,	Conexión del circuito mecánico. ....	20
Figura 10,	Conexión de las cuatro celdas de carga a sus respectivos amplificadores HX711 .....	20
Figura 11,	Boceto del conexionado final de la plataforma, Elaboración propia .....	21
Figura 12,	Boceto de la primera versión de la plataforma. Elaboración propia .....	22
Figura 13,	Plataforma equipada con las celdas de carga.....	23
Figura 14,	Boceto de la versión final de la plataforma. Elaboración propia .....	23
Figura 15,	Planos de la carcasa de la plataforma.....	24
Figura 16,	Soporte impreso en 3D para la sonda de LDF .....	26
Figura 17,	Pinzas para pantalones (Ice Toolz Plastic Trousers Clip with Scotchlite Strip - Get Me Fixed, 2021) .....	26
Figura 18,	Diagrama de flujo del software de la placa .....	31
Figura 19,	Plataforma final con la carcasa de madera .....	32
Figura 20,	Visualización del Software .....	33

## Índice de Tablas

Tabla 1,	Componentes y sus correspondientes apartados .....	16
Tabla 2,	Presupuesto del proyecto.....	43



# 1 INTRODUCCIÓN

Este informe ha sido redactado durante el curso European Project Semester (EPS) en la Universidad Oslomet en Oslo. EPS es un programa de un semestre diseñado para formar principalmente a estudiantes de ingeniería y tecnología de tercer año en el trabajo de proyectos en equipos internacionales (Storbyuniversitetet, s.f.).

Este informe ha sido redactado durante el primer semestre del proyecto "Heel Stimulation Platform". El proyecto fue dirigido por los principales supervisores: los profesores Peyman Mirtaheri y Tom Mür de la Universidad Metropolitana de Oslo (OsloMet), Håvard Engell de la compañía Gaitline y Christian Brañas de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y Telecomunicación de la Universidad de Cantabria (ETSIT). El propósito del proyecto es determinar el papel de los mecanorreceptores en el pie para mantenerse erguido. Esto se logrará mediante la estimulación del talón en un movimiento lateral y el seguimiento simultáneo de diferentes aspectos del cuerpo humano, como el punto de presión, el flujo sanguíneo en el talón, la actividad cerebral y el ángulo del hueso del talón.

Durante este semestre, el enfoque se centra en crear una plataforma que genere un movimiento consistente y rastree el punto de presión, junto con la recopilación de datos utilizando el sensor de fluometría Doppler láser (LDF).

## 1.1 GaitLine

Gaitline es una empresa de diseño de calzado fundada por Håvard Engell. Håvard es un exbailarín de ballet y entrenador del Centro Deportivo Olímpico en Oslo, Noruega. Allí, fue responsable del rendimiento técnico, el equilibrio y la prevención de lesiones en más de 30 deportes olímpicos diferentes, lo que le proporcionó una gran comprensión del control motor humano y el sistema sensorial del cuerpo humano. Con este conocimiento, Håvard creó un zapato revolucionario. Él cree que casi todos los problemas en el cuello, la parte baja de la espalda, las caderas, las rodillas y los pies son causados por un ángulo incorrecto del hueso del talón. Su zapato se enfoca en corregir este ángulo (Håvard).

Como se puede observar en la Figura 1, el sujeto presenta una desviación del hueso del talón, que al llevar un calzado normal en el pie izquierdo se puede ver como el ángulo de desviación, representado por la línea azul no cambia. Sin embargo, al llevar el calzado Gaitline en el pie derecho, puede observarse como la línea azul cambia de posición a una más adecuada, representada por la línea roja. Las líneas azules son la guía de cómo es mi pisada sin modificarlo y la línea roja es la guía que me corrige la zapatilla.



Figura 1, Visualización de la corrección de la pisada con los zapatos Gaitline.

## 1.2 Anatomía del Tobillo

El talón está compuesto por tres capas: epidermis, dermis y tejido subcutáneo. Se clasifica como piel glabra, que contiene glándulas sudoríparas, pero carece de folículos pilosos y glándulas sebáceas (Dahle et al., 2022).

La superficie de la piel, llamada epidermis, está estructurada en cinco subcapas formadas por el ciclo de vida de los queratinocitos. No hay suministro de sangre, lo que significa que no hay vasos sanguíneos. Para obtener oxígeno y nutrientes, los queratinocitos los proporcionan a través de la difusión.

Por debajo de la epidermis se encuentra la dermis. Esta capa es más gruesa, elástica y se divide en dos subcapas. La dermis es la encargada de proporcionar soporte metabólico, microcirculación e inervación a la epidermis. En lo más profundo de la dermis se encuentran vasos más grandes en posición horizontal, mientras que cerca de la epidermis hay una extensa red de microvasos.

La capa subcutánea es la más interna y gruesa de las tres capas de la piel. Está compuesta por tejido adiposo subcutáneo y en el talón forma la almohadilla grasa calcánea, especializada en la absorción de impactos (Buschmann et al., 1995). La capa subcutánea contiene vasos sanguíneos más grandes que la dermis, vasos linfáticos y glándulas sudoríparas (Ibrahim et al., 2022).

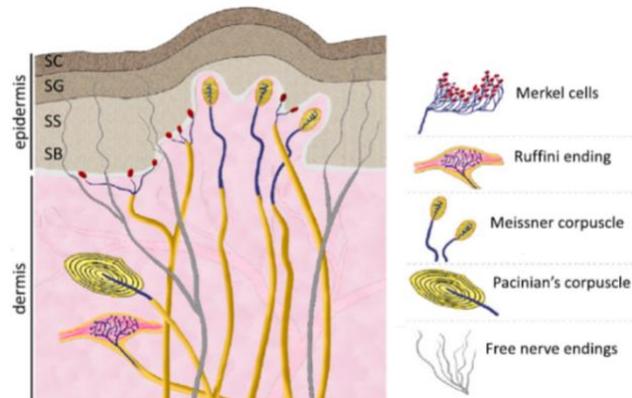


Figura 2, La localización de los mecanorreceptores en la piel glabra. V.E. Abraira & D.D. Ginty, 2013, *Journal of Neuron*, 4, p. 618-639, Copyright 2013 by Elsevier.

Los mecanorreceptores son receptores cutáneos especializados que convierten los estímulos mecánicos en potenciales de acción que permiten el sentido del tacto y el dolor. La sensación que se experimenta depende de la subcategoría fisiológica del receptor, es decir, mecanorreceptores de umbral alto (HTMR) o mecanorreceptores de umbral bajo (LTMR) (Dahle et al., 2022). Este informe solo proporcionará información sobre los LTMR, ya que estos proporcionan retroalimentación cutánea en situaciones no dolorosas, las cuales serán investigadas con la plataforma.

Cada LTMR consta de una fibra nerviosa relacionada con un órgano terminal que produce el potencial de acción. Se encuentran cuatro órganos terminales distintos en la piel glabra: células de Merkel, corpúsculo de Meissner, corpúsculo de Pacini y terminaciones de Ruffini. La disposición de los mecanorreceptores en la piel se puede ver en la Figura 1 (Viseux, 2020).

### 1.3 Problema/Contexto

En una tesis de maestría anterior, se hizo un intento de recopilar datos sobre el flujo sanguíneo en el talón con una plataforma en movimiento. Para ello, se empleó una banda de goma elástica para mantener el sensor LDF pegado al cuerpo y así medir el flujo sanguíneo de manera no invasiva. Sin embargo, no fue posible, ya que, al usar una plataforma que se desplazaba aparecían cambios en la superficie de la piel. Además, la señal Doppler depende de detectar cambios mínimos en la frecuencia de luz

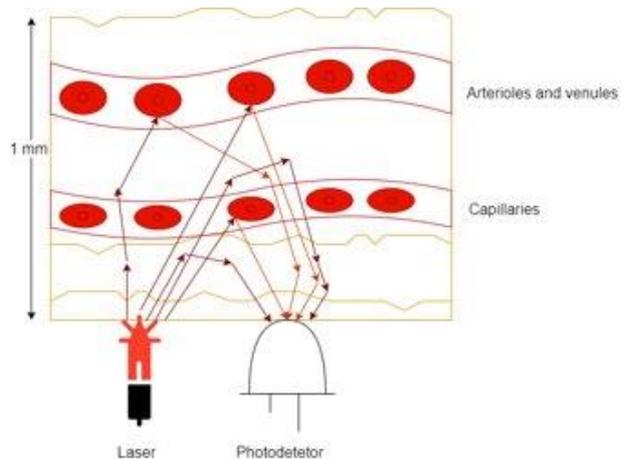


Figura 3, Principio LDF de eventos de dispersión única. Adaptado de (Moor Instruments Ltd., 2009)

causados por los glóbulos rojos en movimiento. Si el tejido o el sitio en medición está en movimiento puede haber ruido, obstaculizando el aislamiento relacionado con el flujo sanguíneo. La Figura 3 muestra el principio de LDF. Un haz láser ilumina la piel y al chocar con partículas en movimiento, como los glóbulos rojos, la luz experimenta un desplazamiento Doppler, lo que cambia la frecuencia del haz. La luz reflejada se recoge mediante otra fibra. Con este cambio de frecuencia se pueden calcular la velocidad y la concentración de los glóbulos rojos (Välisuo, 2015).

La tesis de Dahle et al., 2022 concluyó que un pie con sobrepronación mostraba una menor perfusión sanguínea, lo que indica que la retroalimentación sensorial en el pie era más baja.

Sin embargo, los datos de esta investigación no fueron suficientemente satisfactorios debido a dos razones principales. La estimulación del talón, creada por el movimiento de la plataforma, no fue consistente porque fue causada por una persona que tiraba de una banda de goma. Esto resultó en datos que no eran comparables. En segundo lugar, el exceso de ruido en las lecturas del sensor LDF dificultó la lectura de los datos.

## **1.4 Resultado deseado**

El resultado deseado de este proyecto será recopilar datos sobre todos los aspectos del cuerpo humano y la posición erguida. El resultado deseado de este proyecto es crear una plataforma con un movimiento lateral consistente y recopilar datos del sensor LDF.

## 2 GESTIÓN DEL PROYECTO

Durante las primeras semanas del semestre, el proyecto se organizó según las directrices de Peyman Mirtaheri, supervisor de la Universidad Oslomet, Håvard, el fundador de Gaitline y Christian Brañas, tutor del proyecto de la Universidad de Cantabria.

### 2.1 Definición del proyecto

Las primeras semanas del proyecto consistieron en recopilar datos sobre el proyecto. Se llevaron a cabo varias reuniones con Peyman Mirtaheri para comprender el contexto en el que se encuentra el proyecto.

En estas reuniones con el supervisor principal, se concluyó que el proyecto actual podría tomar diferentes direcciones. Anteriormente, un estudiante de maestría había realizado una tesis sobre la conexión entre el flujo sanguíneo en el pie cuando se estimula mecánicamente. La tesis sugería mejorar la plataforma e investigar diferentes formas de calcular el flujo sanguíneo además de la LDF.

Tras analizar las posibles mejoras para la plataforma, se identificó un amplio abanico de opciones que podrían resultar beneficiosas, como la búsqueda de métodos alternativos para medir el flujo sanguíneo, la aleatorización de la plataforma, la recopilación del ángulo del hueso del talón y el cálculo del punto de presión. Finalmente, se optó por mejorar la plataforma implementando lo mencionado anteriormente, en lugar de profundizar tanto en comprender el sistema de LDF.

### 2.2. Objetivos y Alcance de la Misión

Dada la amplitud de posibilidades para las direcciones del proyecto, resultó desafiante definir los límites del proyecto para el semestre. Se realizaron varias iteraciones del Objetivo y Alcance de la Misión, algunas enfocadas en la plataforma en sí misma y otras en el sistema de LDF. Tras discutirlo con el supervisor, se estableció la siguiente misión y objetivos.

#### **Misión**

El proyecto tiene como misión contribuir a la investigación sobre la perfusión sanguínea en el talón durante la marcha. Esta contribución se realizará mediante la mejora de una plataforma en movimiento que actualmente se emplea en esta área de investigación.

## Objetivos

1. Explorar diversas metodologías de medición de peso.
2. Incorporar el método más eficaz para medir la distribución del peso en la plataforma.
3. Diseñar un sistema de montaje para el sensor de LDF en el talón.
4. Optimizar la respuesta de la plataforma para que sea inferior a 1 segundo.
5. Generar un entorno más impredecible para el sujeto de prueba.
6. Implementar el ocultamiento del mecanismo del pistón.
7. Introducir variabilidad en la dirección del movimiento de forma aleatoria en la plataforma.

## Alcance

La técnica de medición de LDF no funcionará junto con la plataforma en movimiento.

No analizaremos la precisión de los datos ni extraeremos conclusiones.

## 2.3. Métodos de Manejo

Durante las sesiones de gestión de proyectos, se exploraron varios métodos. En ese contexto, se elaboró un diagrama de Gantt preliminar al mismo tiempo que se enumeraban posibles mejoras para la plataforma. Sin embargo, debido a la dificultad de crear un diagrama para un proyecto que aún no estaba claramente definido, encontramos desafíos en este proceso. En la Figura 4 se presenta el diagrama de Gantt que se ideó. No obstante, al no poder seguir este plan debido a la falta de definición del proyecto, no se implementó.

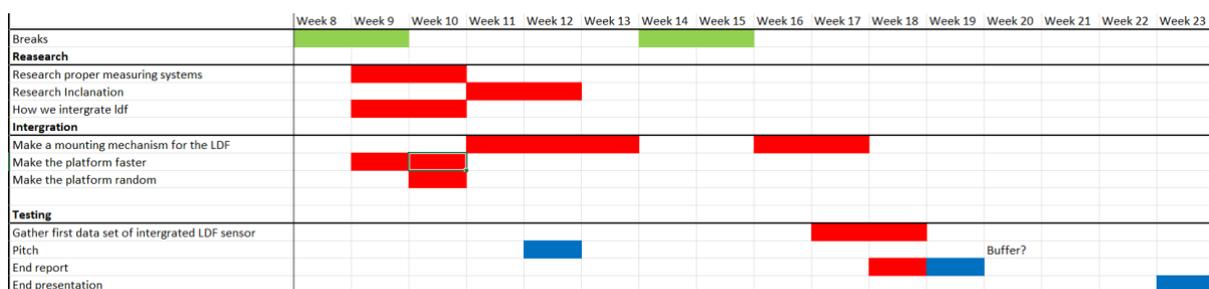


Figura 4, Diagrama GANTT

Otro método que exploramos es Scrum. Scrum es una forma de realizar el trabajo en equipo en pequeñas partes de tiempo, con experimentación continua y ciclos de retroalimentación a lo largo del camino para aprender y mejorar mientras avanza (¿Qué es Scrum?, s.f.). Como grupo, decidimos utilizar este método, ya que parecía adecuarse a los objetivos y requisitos en constante cambio. Se creó un tablero Scrum en Trello, que es una herramienta de gestión

de trabajo en equipo. En la Figura 5 se puede ver el tablero. Se creaban tarjetas que podían moverse de una lista a otra en todo el tablero. De esta manera, se puede seguir el estado de una tarea y quién está trabajando en ella. Además, también llevamos un seguimiento de todas las fechas límite (ver lado izquierdo en la Figura 5).

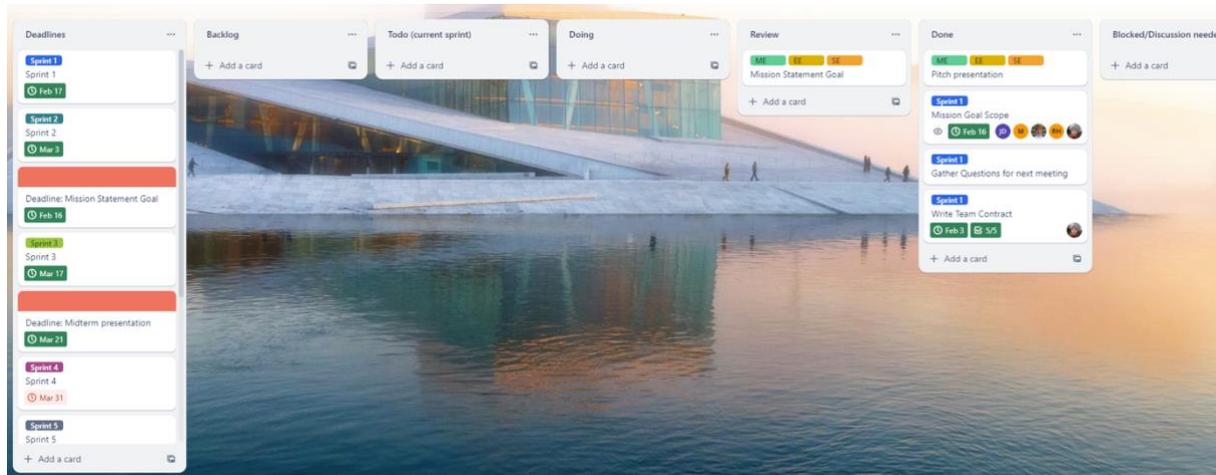


Figura 5, Scrum board

Más adelante, a lo largo del proyecto, cuando experimentamos cambios que redirigieron por completo nuestro proyecto, decidimos dejar de utilizar Scrum. Aunque Scrum está diseñado para proyectos que cambian durante el proceso, estos cambios fueron demasiado grandes, lo que hizo que el tablero Scrum fuera difícil de gestionar para el grupo. Nos costaba mantener actualizado el tablero Scrum, ya que cambiar y configurar todas las tarjetas resultaba desafiante. Un ejemplo de estas dificultades incluye crear tarjetas para trabajos futuros y luego descubrir más tarde que esa tarea ya no es necesaria.

En cambio, ampliamos aún más la frecuencia de nuestras comunicaciones para hacerlas más estructuradas en las últimas semanas. Planificábamos reuniones regulares y decidíamos tareas pequeñas basadas en los comentarios de nuestro supervisor. Después de completar estas pequeñas tareas, recibíamos comentarios inmediatos del resto del grupo. De esta manera, todo el grupo se mantenía constantemente al mismo nivel. Al darse cuenta de que nuestra forma de comunicarnos era efectiva, decidimos no utilizar más el tablero Scrum.

Esta forma de trabajar también nos llevó a no tener líderes de grupo estrictos. Wouter y Rik se encargaban principalmente de las comunicaciones y la planificación con el supervisor, pero las decisiones se tomaban en grupo. Esto solo fue posible debido al tamaño del grupo que teníamos y a las responsabilidades que todos sentíamos.

## 2.4. Análisis de Riesgos

Para el proyecto, se realizó un análisis de riesgos para tener una visión general de los posibles riesgos y problemas que podrían surgir, así como las acciones correctivas.

En la Figura 6 se puede ver un diagrama del análisis de riesgos. En este diagrama, se muestran los 3 riesgos más importantes.

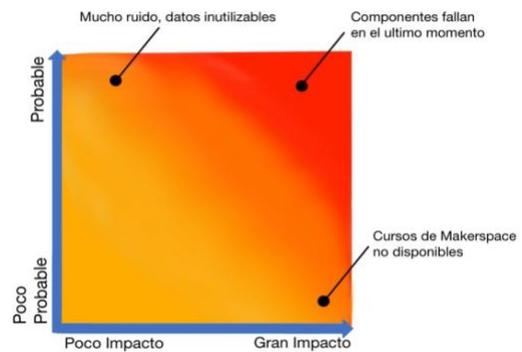


Figura 6, Diagrama de análisis de riesgo durante el desarrollo del proyecto. Elaboración propia

1. Exceso de ruido, datos inutilizables: El riesgo de datos inutilizables debido a un exceso de ruido se identificaría una vez que la plataforma esté ensamblada. La salida de datos podría verse afectada por un nivel significativo de ruido, lo que eventualmente la volvería inutilizable o de difícil interpretación.

La acción correctiva para este problema sería la siguiente:

1. Descubrir si se puede filtrar el ruido.
2. Escribir sugerencias de soluciones alternativas que no produzcan tanto ruido.

2. Fallo de componentes en las últimas etapas: Como su nombre indica, este riesgo se manifiesta hacia el cierre del proyecto. Ejemplos de estas fallas incluyen daños en la electrónica, mal funcionamiento o averías físicas. Este problema resulta altamente perjudicial si ocurre al final, ya que reconstruir la plataforma con la electrónica puede implicar un considerable gasto de tiempo. En etapas anteriores, su impacto sería menor.

La acción correctiva sería crear un informe de daños e instalar las piezas rotas. Si no hay suficiente tiempo para hacerlo, puesto que se trata de un proyecto a vista de que se desarrolle en varios años se elaboraría una guía sobre cómo volver a ensamblar la plataforma para los próximos ingenieros que trabajen en este proyecto.

3. Cursos de Makerspace no disponibles: La Universidad Metropolitana de Oslo, cuenta con un laboratorio llamado Makerspace. El laboratorio contaba con cursos que fueron beneficiosos para la realización del proyecto, tales como cursos de soldadura, impresión 3D, cortadora láser, etc. Este problema se conocería en las primeras semanas del

proyecto. Si los cursos que necesitamos en el laboratorio no están disponibles, se dificultaría mucho completar el proyecto.

La acción correctiva para este problema sería cambiar los objetivos del proyecto a algo en lo que no se necesite equipo de Makerspace. Otra opción sería buscar un lugar de trabajo alternativo.

## 3 DISEÑO

### 3.1 Esquema inicial

Se explorarán sus componentes clave y estrategias de software para un rendimiento eficaz del proyecto.

#### 3.1.1 Plataforma

##### Base:

- Tabla resistente con dos rieles.
- Mecanismo de pistón para movimiento controlado.

##### Pistón:

- Cilindro neumático (FESTO DSNU-25-15-P-A) con diámetro de pistón de 25 mm y carrera de 15 mm.
- Operado por aire comprimido suministrado por un compresor neumático.

#### 3.1.2 Circuitos

##### Circuito Mecánico:

- Solenoide (Norgren V50A511A-A2000), cilindro neumático y resistencias.

##### Circuito de Retroalimentación:

- Cuatro amplificadores HX711 conectados a celdas de carga.
- Conexión a un microcontrolador Arduino Uno.

#### 3.1.3 Sensores / Celdas de Carga

- Celdas de carga VARIOHM EuroSensor AL6N-C3-100kg-3B6 en la plataforma para medir el peso.

#### 3.1.4 Tapa de Madera

- Cubierta para la placa móvil que evita que el usuario perciba diferencias al caminar y desconoce la dirección del movimiento.

### **3.1.5 Mecanismo de Montaje LDF**

- Montaje para la sonda de la técnica de Fluometría del láser Doppler (LDF).
- Diseño 3D para mantener la sonda a la distancia adecuada del talón.

### **3.1.6 Software**

#### **Código Arduino:**

- Configuración y lectura de celdas de carga.
- Control del pistón y retroalimentación visual mediante un LED.

#### **Código Python:**

- Interfaz gráfica para visualizar y analizar datos.
- Comunicación con Arduino a través de datos seriales.

### **3.1.7 Tiempo de Reacción**

- Identificación y eliminación de posibles cuellos de botella.
- Optimización del código Arduino para una respuesta más rápida.

### **3.1.8 Placa de Software**

- Diagrama de flujo que ilustra el funcionamiento de la plataforma.
- Activación, reset y almacenamiento de datos.

### **3.1.9 Visualización de Datos**

- Aplicación visual de escritorio en Python.
- Lectura y almacenamiento de datos seriales.
- Representación gráfica de puntos de presión y valores de peso.

El diseño del producto final se puede ver en la Figura 7. El diseño se puede dividir en dos categorías: hardware y software. En la Tabla 1, se enumeran los diferentes componentes junto con el capítulo en el que se detallarán.

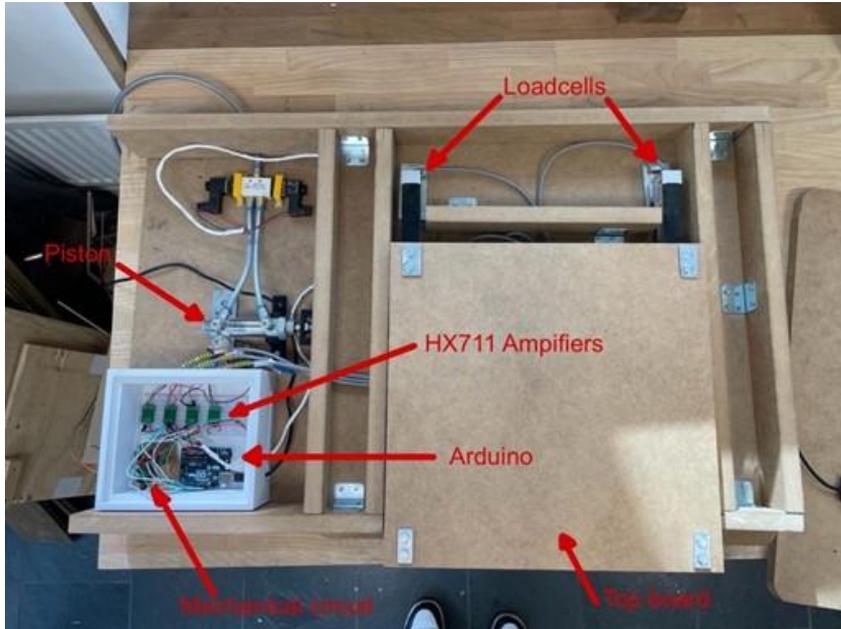


Figura 7, Diseño (sin carcasa) terminado, componentes etiquetados

Tabla 1, Componentes y sus correspondientes apartados

Componente	Apartado
<b>Hardware</b>	<b>3.2</b>
Base	3.2.1
Pistón	3.2.2
Circuitos	3.2.3
Sensores de carga	3.2.4
Carcasa de madera	3.2.5
LDF	3.2.6
<b>Software</b>	<b>3.3</b>
Código Arduino	3.3.1
Código Python	3.3.2
Tiempo de reacción	3.3.3
Placa de software	3.3.4
Visualización de los datos	3.3.5

## 3.2 Hardware

El hardware del proyecto consiste en todas las partes físicas de la plataforma, incluyendo los circuitos y la electrónica.

### 3.2.1 Base

La base de la plataforma de estimulación del talón consiste en una tabla resistente. Esta tabla está equipada con dos rieles que actúan como pistas para un movimiento suave. Debajo de la plataforma se instala un mecanismo de pistón que permite un movimiento controlado a lo largo de los rieles.

Los rieles están posicionados de forma paralela entre sí, asegurando que la plataforma se mueva en línea recta. Esta configuración proporciona estabilidad y control preciso durante el proceso de estimulación.

### 3.2.2 Pistón

Un pistón es una parte fundamental de un cilindro neumático, un dispositivo mecánico que emplea aire comprimido para generar una fuerza en un movimiento lineal. Este dispositivo generalmente está compuesto por un tubo cilíndrico que alberga un conjunto de pistón y varilla de pistón en su interior. Al comprimir el aire y dirigirlo hacia el cilindro, se impulsa el conjunto de pistón y varilla hacia adentro o hacia afuera, según el diseño específico del cilindro.

El proyecto de estimulación del talón se apoya en una plataforma accionada por un cilindro neumático que opera mediante un mecanismo de movimiento lineal. La elección de este dispositivo para la plataforma se justifica por su asequibilidad, facilidad de operación y su capacidad para adaptarse a diversas aplicaciones. En este proyecto específico, el cilindro neumático se emplea para generar un movimiento lineal preciso pero pequeño que estimula eficazmente la piel del talón. Esta tecnología facilita el movimiento requerido de manera eficiente y económica.

Considerando los recursos disponibles, se determinó que el cilindro neumático era la opción óptima para nuestro proyecto. En este sentido, seleccionamos el cilindro neumático FESTO DSNU-25-15-P-A, el cual presenta un diámetro de pistón de 25 mm y una carrera de 15 mm. Este cilindro opera con aire comprimido y funciona como un cilindro de simple efecto con retorno por muelle. Su diseño permite su integración eficiente en el entorno de trabajo, donde ya disponemos de un compresor neumático para suministrar aire comprimido al cilindro.

La elección de un cilindro neumático sobre cilindros hidráulicos que utilizan aceite bajo presión se basa en consideraciones económicas y de eficiencia. Optar por un cilindro hidráulico habría generado mayores costos y requerido necesidades adicionales de mantenimiento. Además, la presencia de un compresor neumático en el entorno facilita la operación del cilindro neumático, haciéndolo una alternativa más favorable en términos de eficiencia y viabilidad económica.

La selección del cilindro utilizado en la plataforma fue realizada por los estudiantes de máster responsables de la iteración inicial de la plataforma. Las dimensiones de este cilindro son las siguientes: un diámetro de pistón de 25 mm y una carrera de 15 mm. Estas dimensiones son las únicas consideraciones que requieren contemplación al seleccionar un cilindro. La medida de la carrera está directamente relacionada con el movimiento previsto que se generará, mientras que el diámetro del pistón depende de la magnitud de la fuerza que generará el cilindro. Aunque la selección de la dimensión de la carrera es sencilla, la determinación del

diámetro adecuado del pistón es más compleja. Esto se debe a que el diámetro del pistón es responsable de la magnitud de la fuerza que se generará, y esto, a su vez, depende de la presión del aire. Por lo tanto, la fuerza generada por este cilindro se puede calcular mediante la siguiente relación:

$$F = P \times S$$

F: la fuerza en Newtons (N)

P: la presión del aire en Pascales (Pa)

S: la superficie del pistón en metros cuadrados (m<sup>2</sup>)

Entonces, con un pistón de diámetro de 25 mm y 6 bares de presión de aire comprimido (600 kPa), obtenemos una fuerza de 295 N del cilindro. Además de ese resultado, el cilindro utilizado en la primera versión de la plataforma logró mover la tabla superior con una presión de aire de 4 bares. Por esa razón, no establecimos ninguna meta en cuanto al cilindro, ya que funciona perfectamente tal como se utiliza en la plataforma.

### 3.2.3 Circuitos

Este informe final aborda la función crucial de dos circuitos interconectados en la operatividad eficiente de una plataforma de estimulación del talón. Estos circuitos, al estar conectados a un microcontrolador Arduino Uno, se convierten en elementos fundamentales que posibilitan un control y coordinación precisos en el proceso de estimulación de la plataforma.

El Arduino Uno, como una pequeña computadora, desempeña el papel de cerebro, permitiendo el control integral de la plataforma. Se trata de una placa con múltiples pines que facilitan la conexión de cables y otros componentes electrónicos, como sensores, luces o motores.

El sistema electrónico de la plataforma se compone de dos circuitos distintos: el circuito mecánico y el circuito de retroalimentación. El primero se encarga del movimiento físico de la plataforma, mientras que el segundo se dedica a medir el peso y la posición del paciente, proporcionando información crucial para su correcto funcionamiento.

Inicialmente, se desarrolló un modelo inicial que empleaba una sola celda de carga en conjunto con un amplificador y dos reguladores de tensión, como se muestra en la Figura 8. Aunque este enfoque permitía el funcionamiento adecuado del modelo, no se lograron los



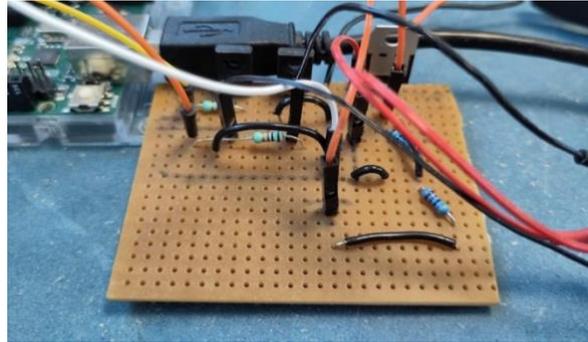


Figura 9, Conexión del circuito mecánico.

En el circuito de retroalimentación, cuatro amplificadores HX711 están conectados a la placa Arduino para controlar las celdas de carga, como se puede ver en la Figura 10. Esto nos permitió obtener valores de peso y posición del paciente en la plataforma.



Figura 10, Conexión de las cuatro celdas de carga a sus respectivos amplificadores HX711

Cuando se coloca algo en la balanza, aplica una pequeña fuerza sobre un sensor de celda de carga. Esta fuerza se convierte en una señal eléctrica muy débil. El HX711 toma esta señal débil y la amplifica, haciéndola más fuerte para que pueda ser procesada fácilmente.

Además de amplificar la señal, el HX711 también la convierte en un número digital, lo cual es muy útil para dispositivos electrónicos. De esta manera, el peso se puede visualizar en una pantalla o utilizarlo en algún otro cálculo. Además, es muy preciso y ayuda a eliminar errores causados por cambios de temperatura o ruido.

En la Figura 11, se pueden observar las conexiones al Arduino, tanto del circuito de retroalimentación que mueve la plataforma en la parte izquierda, como de los amplificadores HX711 conectados a las celdas de carga en la parte derecha.

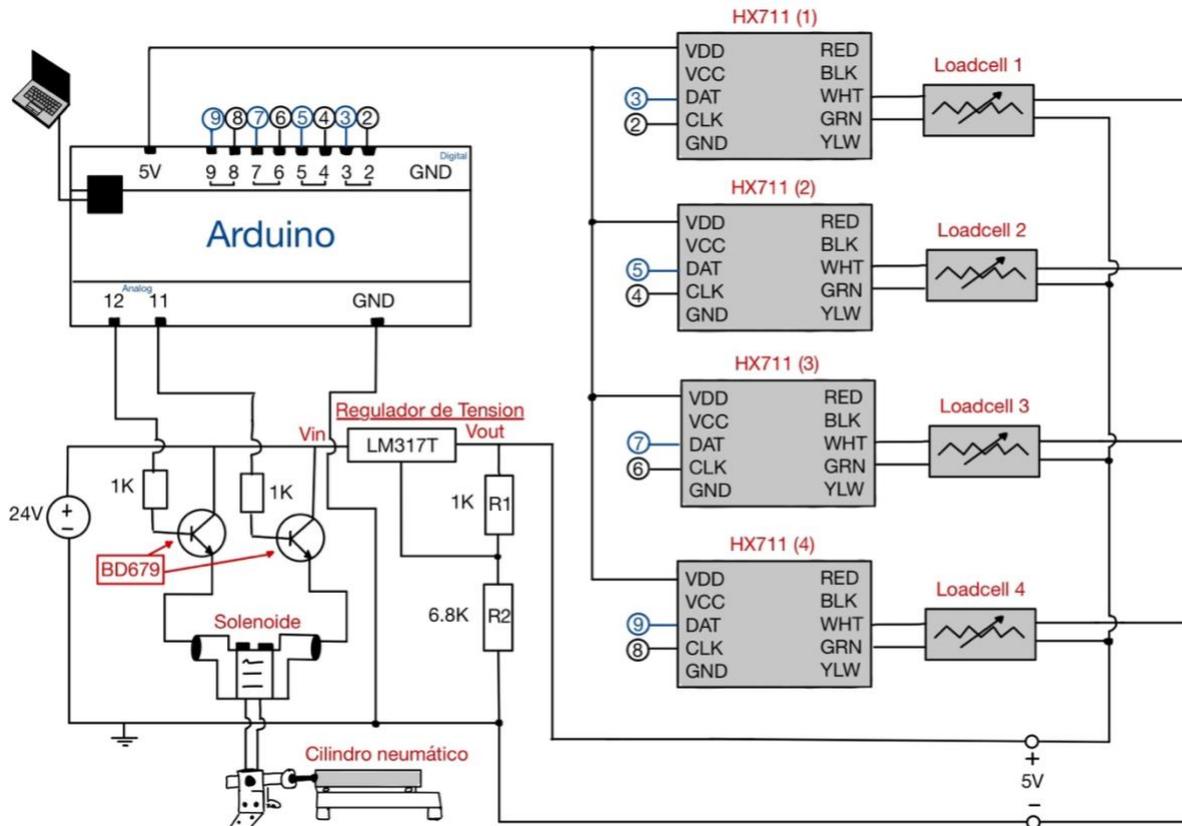


Figura 11, Boceto del conexionado final de la plataforma, Elaboración propia

Finalmente, conectamos un LED a la placa para indicar al usuario que puede subir a la plataforma.

### 3.2.4 Sensores / celdas de carga

Una celda de carga es un transductor o sensor utilizado para medir la fuerza o carga aplicada sobre él. Está diseñada para convertir la fuerza mecánica en una señal eléctrica que puede ser fácilmente medida y analizada. Las celdas de carga se utilizan comúnmente en diversas aplicaciones como balanzas, maquinaria industrial, pruebas de materiales y sistemas de monitoreo de fuerza.

Las celdas de carga suelen consistir en una estructura metálica con galgas extensiométricas adheridas a ella. Cuando se aplica una fuerza sobre la celda de carga, provoca deformación en la estructura metálica, lo que a su vez altera la resistencia de las galgas extensiométricas. El cambio en la resistencia es proporcional a la fuerza aplicada, y este cambio se convierte en una señal eléctrica, generalmente en forma de voltaje o corriente. (A&D, 2007)

En la Figura 12 se muestra la primera versión de la plataforma. En esta imagen se puede ver que se utiliza una celda de carga (en verde) en el lado derecho de la plataforma, mientras que el otro lado está soportado por dos partes de madera rígida. El objetivo de esta celda de carga es activar el cilindro neumático después de medir un cierto peso cuando una persona pisa la tabla superior. El cilindro neumático, está marcado de color rojo. Al cambiar el valor objetivo, es posible cambiar el momento de activación del cilindro.



Figura 12, Boceto de la primera versión de la plataforma. Elaboración propia

Después de algunas reuniones con nuestros supervisores, se decidió agregar una placa sobre la plataforma para medir el peso exacto del sujeto de prueba, dibujar la evolución del peso aplicado en la placa y mapear la posición del centro de masa en cualquier momento. Para hacer esto, teníamos dos opciones diferentes:

- Construir una placa superior triangular soportada por tres celdas de carga.
- Construir una placa superior cuadrada soportada por cuatro celdas de carga.

A pesar de reconocer que el uso de tres celdas de carga sería adecuado para sostener una placa plana, optamos por construir una placa cuadrada por las siguientes razones:

- Cuatro celdas de carga proporcionan una mejor estabilidad de la placa superior.
- Una forma cuadrada para la placa superior resulta en un aumento de la superficie para pisar.

Por consiguiente, se estableció una correlación entre el peso registrado por cada una de las cuatro celdas de carga y la posición del peso aplicado en la placa. Este proceso resultó fundamental para emplear la relación adecuada en el código. Finalmente, se llegó a la siguiente relación:

$$\begin{cases} X = \frac{\sum_1^4 x_k \times m_k}{m_{tot}} \\ Y = \frac{\sum_1^4 y_k \times m_k}{m_{tot}} \end{cases}$$

Con:

- X: posición del punto de presión en el eje X
- Y: posición del punto de presión en el eje Y
- $x_k$ : posición de la celda de carga k (de 1 a 4) en el eje X
- $y_k$ : posición de la celda de carga k (de 1 a 4) en el eje Y
- $m_k$ : peso medido por la celda de carga k (de 1 a 4)
- $m_{tot}$ : peso total medido

La fabricación de la nueva placa superior implicó la instalación de una placa cuadrada de madera sobre las cuatro celdas de carga, dispuesta encima de la placa superior previa de la primera versión de la plataforma. Asimismo, se tomó la decisión de reducir las dimensiones de la nueva placa superior con el objetivo de disminuir su flexión, la cual podría afectar la precisión de los valores leídos por cada celda de carga.

Como último paso, se cortó una rejilla de madera con la máquina de corte láser que se aplicaría sobre la placa. Esa rejilla se utilizará para probar si las celdas de carga y el código pueden identificar la posición correcta del peso.

La Figura 13 y 14 presentan la plataforma después de quitar la capa inferior y agregar la nueva placa superior, en la que se colocan las celdas de carga (color verde) soportando una placa más pequeña para mayor precisión:

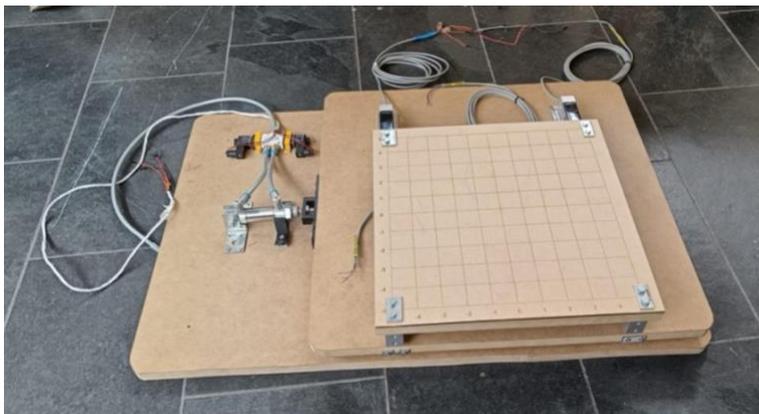


Figura 13, Plataforma equipada con las celdas de carga



Figura 14, Boceto de la versión final de la plataforma. Elaboración propia

### 3.2.5 Tapa de madera

Se requiere la construcción de una cubierta para la placa, con dos objetivos específicos en mente. En primer lugar, se busca evitar que el sujeto de prueba perciba irregularidades o diferencias al caminar sobre la plataforma. Es fundamental que para el usuario esta sensación sea similar a la de pisar un escalón estándar, asegurando que no intente ajustar consciente o subconscientemente su equilibrio de manera diferente a como lo haría en una situación normal al caminar.

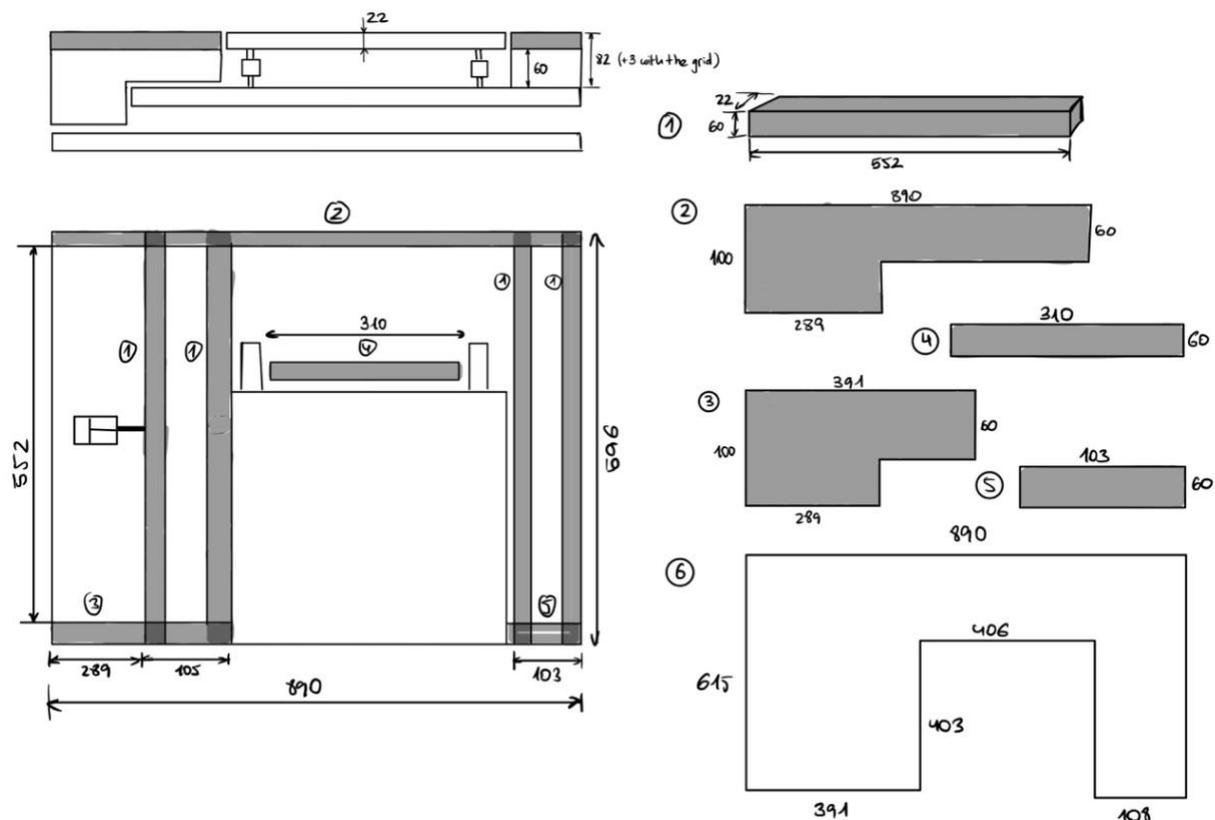


Figura 15, Planos de la carcasa de la plataforma

El segundo propósito es mantener al usuario en desconocimiento acerca de la dirección en la que se moverá la placa. De esta manera, al no tener esta información, el usuario no podrá intentar contrarrestar el movimiento de manera consciente o subconsciente.

La cubierta se fabricará con la misma madera que se utiliza para el resto de la placa, para garantizar que las superficies se vean iguales. La cubierta superior se montará sobre la placa móvil, como se ve observa en la Figura 15. Esto significa que toda la cubierta se moverá junto con el movimiento de la placa.

### 3.2.6 Mecanismo de montaje LDF

La fluometría del láser Doppler (LDF, por sus siglas en inglés) es una técnica no invasiva que se ha utilizado ampliamente para evaluar el flujo sanguíneo cutáneo en diversas condiciones clínicas (Abu-Own et al., 1995). Al colocar la sonda LDF en el área de la piel correspondiente, se puede medir el flujo sanguíneo. Aunque requiere el control de varios parámetros, la LDF es fácil de implementar (Zegarra-Parodi et al., 2014). Además, cuando esta tecnología basada en láser se combina con pruebas provocativas de la microcirculación (por ejemplo, iontoforesis transdérmica de sustancias vasoactivas, calentamiento o enfriamiento local, estimulación eléctrica, etc.), se pueden explorar la reactividad y/o función microvascular (Cracowski and Roustit, 2020).

En la técnica de Fluometría del láser Doppler (LDF), se emplea un haz láser coherente y enfocado mediante una fibra óptica para iluminar la piel. La luz reflejada por el tejido es capturada a través de otra(s) fibra(s). Los componentes en movimiento, como los glóbulos rojos (GR), generan un cambio Doppler que amplía el espectro de la luz reflejada. Esta ampliación del espectro se utiliza para calcular tanto la velocidad como la concentración de los glóbulos rojos (Välisuo, 2015).

Dentro de la sangre, los glóbulos rojos tienen como función primordial transportar oxígeno (O<sub>2</sub>) y, en cierta medida, dióxido de carbono, movilizándolo hacia y desde los tejidos. Este transporte se lleva a cabo mediante la unión de los gases a la hemoglobina (Hb) presente dentro de los glóbulos rojos (Gupta, 2017). En el proyecto, se utilizará la LDF para medir la perfusión sanguínea en el talón. Se mide la perfusión sanguínea porque los mecanorreceptores, neuronas que envían señales al cerebro, necesitan oxígeno al enviar estas señales.

Resulta que se necesita oxígeno para que las células puedan utilizar esta molécula durante la fosforilación oxidativa, la etapa final de la respiración celular (Oxidative phosphorylation | Biology (article) | Khan Academy, s.f.). Una célula necesita oxígeno para funcionar. Cuando una célula, en este caso un mecanorreceptor, está enviando señales, la captación de oxígeno aumentará. Para que el cuerpo sepa que el mecanorreceptor necesita más oxígeno, estimulará la microcirculación circundante. Handler y Ginty (2021) proporcionan una explicación más detallada sobre la respuesta de los mecanorreceptores, aunque profundizar en esta información nos desviaría hacia otro enfoque.

La microcirculación es el flujo sanguíneo en la microvasculatura, compuesta por los vasos más pequeños siendo el responsable del intercambio de nutrientes con los tejidos y la eliminación de desechos. La microvasculatura incluye arteriolas y vénulas, metarteriolas y lechos capilares. El flujo sanguíneo en la microvasculatura se llama movimiento del flujo debido a sus constantes fluctuaciones causadas por mecanismos de regulación oscilantes (Dahle et al., 2022). Además, durante períodos de niveles inadecuados de oxígeno en el tejido, el movimiento del flujo consistirá en períodos



Figura 16, Soporte impreso en 3D para la sonda de LDF



Figura 17, Pinzas para pantalones (Ice Toolz Plastic Trouser Clip with Scotchlite Strip - Get Me Fixed, 2021)

con un flujo más frecuente y esporádico a través de los lechos capilares. Además, la duración de cada período se prolonga, permitiendo un mayor intercambio de oxígeno con el tejido (Guyton, 2006).

Idealmente, habría dos sondas LDF en el talón para ambos lados del talón. Hasta el día de hoy, solo hay una disponible, por lo tanto, optaremos por un mecanismo de montaje que pueda colocar la sonda en el exterior del talón, pero que tenga la posibilidad de sujetar una segunda sonda también.

Para mantener la sonda LDF a la distancia adecuada del talón, se diseñó e imprimió en 3D un pequeño círculo donde se puede colocar la sonda, como se puede ver en la Figura 16, para que esté exactamente en la superficie de la piel.

Después de obtener la impresión 3D, se pensó en diferentes formas de montar la sonda en el tobillo. La primera idea fue utilizar pinzas para pantalones (Figura 17) como una banda para mantener la montura de la sonda en el lugar correcto del talón. Una pinza para pantalones se utiliza para evitar que los pantalones se enreden en la cadena mientras se monta en bicicleta. Está abierta en la parte posterior y se ajusta alrededor del tobillo, lo que no interferiría con la alineación del tobillo.

Esto se probó en una tienda local de bicicletas, pero la pinza para pantalones apretaba demasiado el tobillo, lo que empujaría la sonda de LDF con demasiada fuerza sobre la piel, constrictiendo los vasos sanguíneos y reduciendo el flujo sanguíneo. Una opción sería cortar el extremo, pero eso haría que el extremo de la pinza esté demasiado lejos del lugar donde debería estar la sonda.

Después de esto, se estudiaron otras opciones. Una de ellas fue hacer un calcetín en el que la sonda de LDF estuviera integrada. Para ser compatible con la investigación se tendría que quitar la suela y una parte donde se mide el ángulo del hueso del talón. Esto haría que el calcetín fuera muy propenso a moverse, ya que no está tan fijo como un calcetín normal, lo que resultaría en el desplazamiento y desalineación de la sonda.

Por consiguiente, tras consultar con el supervisor, se optó por emplear cinta adhesiva para fijar la sonda a la montura 3D en el talón. Esta medida nos garantiza que la sonda se posicione de manera precisa en el lugar adecuado, eliminando cualquier preocupación sobre desplazamientos durante la estimulación mecánica.

### 3.3 Software

El software de la plataforma tiene la capacidad de leer las señales de las celdas de carga, activar la plataforma y transmitir los datos de vuelta al ordenador al que está conectado.

#### 3.3.1 Código Arduino

En el proceso de calibración, se ha empleado la biblioteca HX711 para las celdas de carga, destacando la importancia crucial de los factores de calibración *CAL\_FACTORS* en la obtención de lecturas precisas. El enfoque se centra en desentrañar el método utilizado para obtener estos factores mediante un croquis de calibración.

En el ámbito de la disposición de pines, se han definido claramente los pines *LOADCELL\_DOUT\_PIN* y *LOADCELL\_SCK\_PINS*, subrayando la necesidad de verificar que estos pines concuerden con la conexión física de las celdas de carga.

La configuración de la plataforma se presenta como un componente crucial, con variables como *saveInterval*, *triggerTreshold*, *resetTreshold*, y *minWeightToSave* que son configurables y afectan el comportamiento del sistema. Se aborda detalladamente la selección de estos valores y su impacto operativo.

En cuanto a la estructura de datos, se introduce la estructura *Point* para representar coordenadas y el peso total del punto de presión, ahondando en su relevancia en el cálculo del punto de presión.

La fase de Inicialización y Configuración Inicial se delega a la función *setup()*, que desempeña un papel crucial al iniciar, configurar pines y establecer la tara de las celdas de carga. Se explora a fondo la importancia de la tara para asegurar mediciones precisas.

El control del pistón se aborda a través de funciones como *triggerPlatform()*, *setPiston()*, y *setPlatformToRandomState()*, que gestionan el movimiento del pistón. La discusión se centra en cómo estas funciones moldean el comportamiento de la plataforma, incluyendo la implementación de la función aleatoria.

En el terreno de las Funciones de Lectura y Registro, se destaca la relevancia crucial de las funciones *getWeight()*, *taring()*, y *logToApp()*. La exploración detallada incluye la importancia de la tara, el método para obtener el peso de cada celda de carga y la manera en que se registran los datos para análisis posterior.

El bucle principal *loop()* se posiciona como el epicentro lógico, donde la plataforma se activa y restablece según umbrales de peso, y se registran datos en intervalos regulares, proporcionando una visión integral de su funcionamiento.

En relación con la gestión de estado, variables como *hasTriggered* y *pistonIsOutwards* dirigen el estado actual de la plataforma, aplicándose para gestionar el flujo del programa y proporcionando una coherencia en el desarrollo.

La Seguridad y Retroalimentación Visual se abordan a través de la retroalimentación visual mediante el LED, *READYLEDPIN*, subrayando su importancia para indicar el estado de la plataforma y mejorar la experiencia del usuario.

La Interfaz Serial, a través del uso de *Serial.println()*, emerge como un componente clave para la comunicación con dispositivos externos. La descripción detallada incluye cómo se utiliza para enviar datos y mensajes de estado, cerrando así el ciclo de funcionalidades esenciales del sistema.

### **3.3.2 Código Python**

En el desarrollo del código Python, la importación de bibliotecas juega un papel crucial. Se utilizan diversas bibliotecas como *sys*, *pprint*, *pyqtgraph*, *QApplication*, *QHBoxLayout*, etc. Es esencial destacar el propósito específico de cada biblioteca y cómo cada una contribuye significativamente al funcionamiento integral de la aplicación.

En el ámbito de las clases, la implementación de la clase *Slider* se distingue por la creación de un widget de deslizador vertical. La relevancia de esta clase se hace evidente al comentar sobre su utilidad práctica y cómo se logra una vinculación dinámica con la etiqueta para reflejar cambios en tiempo real.

Asimismo, la clase *PlotManager* surge como un componente esencial al manejar la creación y actualización de gráficos. Profundizar en la configuración de los gráficos de peso y presión resalta su importancia para la visualización efectiva de los datos provenientes del dispositivo Arduino.

El manejo de eventos de ratón se materializa a través del método *mouseMoved*, diseñado para responder a eventos en el gráfico de peso. Al proporcionar comentarios sobre su utilidad, se subraya cómo este método ofrece información en tiempo real sobre la posición del ratón, mejorando la interactividad.

El código también incorpora funciones como *updateWeightPlot*, *updatePressurePlot*, y *clicked*, desempeñando un papel crucial en la actualización de gráficos. Se destaca cómo estas funciones contribuyen activamente a la visualización de datos y facilitan la interacción fluida con el usuario.

En cuanto al manejo de la interfaz gráfica, la clase *Widget* despliega una interfaz que incluye un deslizador y un área de gráficos, siendo esencial para la experiencia del usuario. Comentar sobre la conexión estratégica entre el deslizador y la función definida en el objeto de gestión de gráficos ofrece claridad sobre la estructura de la interfaz.

La función *serialReader* asume la responsabilidad de la lectura continua de datos seriales desde Arduino. Al explicar cómo se decodifican los mensajes y cómo se actualiza el objeto *PlotManager* con los datos recibidos, se resalta la importancia de esta función en la integración de datos.

La finalización ordenada del programa se aborda mediante el bloque `if __name__ == __main__:`, marcando el inicio de la interfaz gráfica, la configuración del hilo para la lectura de datos seriales y la gestión de la terminación ordenada del programa. Comentar sobre la estructura general de la aplicación y cómo se maneja la terminación del hilo proporciona una visión integral.

La elección de utilizar clases y objetos en la estructura del código se destaca como un factor crucial para la claridad y mantenibilidad. Resaltar cómo esta elección de diseño impacta positivamente en la estructura global del programa refuerza su eficiencia y legibilidad.

Finalmente, la utilización de un hilo *Thread* para la lectura de datos seriales en segundo plano es un aspecto técnico esencial. Comentar sobre la importancia de esta elección para mantener la interfaz gráfica receptiva durante la lectura continua de datos refuerza la eficiencia del diseño implementado.

### **3.3.3 Tiempo de reacción**

Para optimizar la velocidad de respuesta de la plataforma, fue imperativo identificar posibles cuellos de botella en el tiempo de ejecución (un cuello de botella es un punto específico en un sistema o proceso donde la eficiencia se ve limitada, afectando el rendimiento general del sistema). Se evaluaron diversas causas potenciales de este fenómeno, analizando detenidamente si existían limitaciones en algún punto del proceso que afectara la eficiencia:

- Código no optimizado.
- Retardo físico en los componentes.

#### **Código no optimizado:**

Se examinó el código del Arduino en busca de conceptos que pudieran ralentizarlo, como bucles largos y funciones bloqueantes o de espera. Sin embargo, no se encontraron estos elementos en el código, por lo que no se consideró como el cuello de botella del proceso.

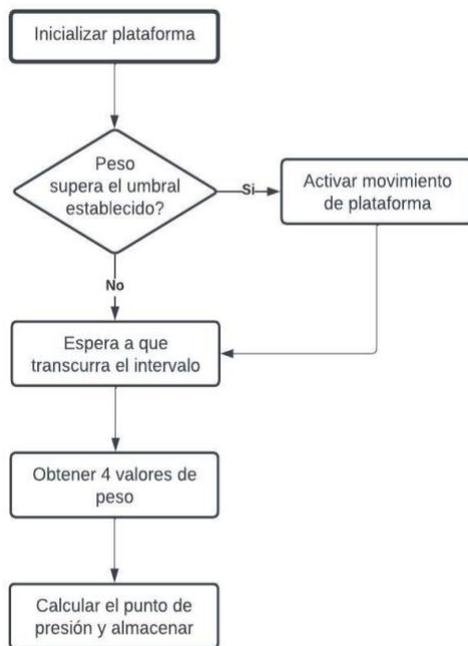
#### **Retardo físico en los componentes:**

Al dividir el código en partes separadas que activan los componentes individuales, como la lectura de las celdas de carga y el accionamiento de los pistones, es posible especificar el retardo en un componente en particular.

Durante las pruebas de los componentes individuales, se descubrió que el pistón tenía un retardo prácticamente nulo. Por lo tanto, el problema debía estar en el código relacionado con las celdas de carga. Después de escribir un nuevo código para las celdas de carga, se eliminó el retardo.

### 3.3.4 Placa de software

Para que la plataforma funcione, el primer paso fue crear un diagrama de flujo que ilustre cómo debe funcionar la plataforma.



Como se puede ver en la Figura 18, la plataforma se activa cuando el peso supera el "valor de activación" establecido. La plataforma se restablece en un estado aleatorio, lo que significa que la plataforma también se activa en una dirección aleatoria. Además, la plataforma espera a que pase un intervalo antes de guardar el peso. Este es un valor que se puede ajustar para cambiar la frecuencia con la que se guardan las mediciones. Después de que haya transcurrido el intervalo, se recopilan los cuatro valores de peso obtenidos con las celdas de carga y se calcula el punto de mayor presión del paciente.

Figura 18, Diagrama de flujo del software de la placa

### 3.3.5 Visualización de los datos

Cuando la plataforma ha sido ensamblada, la única forma de leer los datos es a través de texto. Aunque esto es suficiente para ver dónde se encuentra el punto de presión, es difícil ver la relación con los puntos anteriores.

Por eso se ha diseñado una aplicación visual de escritorio. Esta aplicación lee y guarda todos los puntos de presión y valores de peso desde los datos seriales que provienen del Arduino en la plataforma. Estos datos se muestran en un gráfico correspondiente.

Las técnicas utilizadas para esta aplicación son:

- Python 3.9: <https://www.python.org/>
- PyQt5: <https://www.riverbankcomputing.com/software/pyqt/>
- PyQtGraph: <https://www.pyqtgraph.org/>

Se eligió Python como lenguaje principal debido a su naturaleza de alto nivel, lo que permite la creación rápida de prototipos. Además, es compatible con PYQTGRAPH, una herramienta gráfica intuitiva. El conocimiento previo en Python facilitó considerablemente el proceso de desarrollo.

## 4 PRODUCTO FINAL

El producto final se puede ver en la Figura 19. El tablero consta de dos áreas. Un área donde la persona se parará y otra área para cubrir el pistón y la electrónica. La última área también se ha diseñado para dar a la persona la sensación de no pisar una superficie irregular, como se menciona en el capítulo 3.2.5.

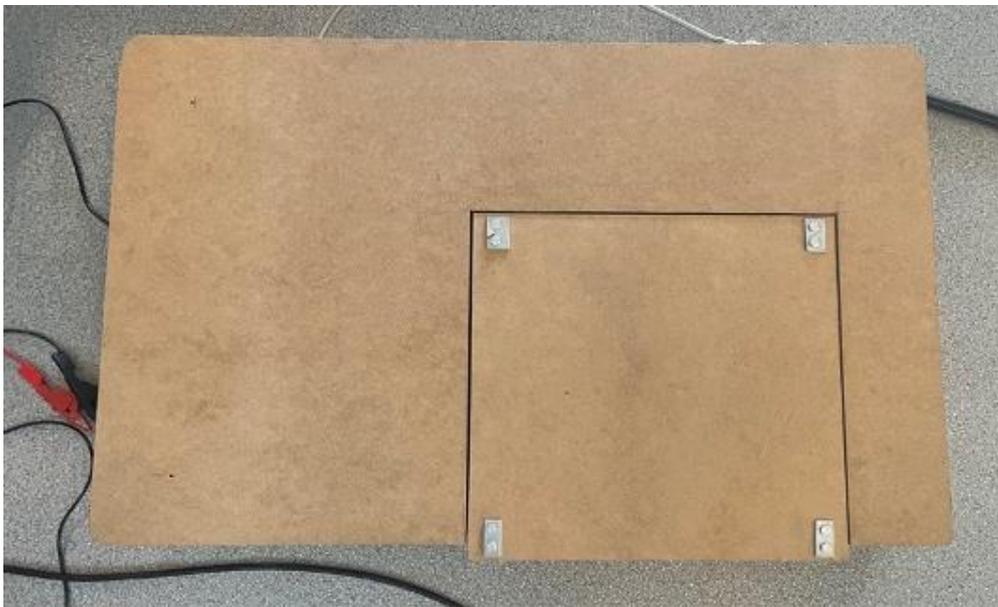


Figura 19, Plataforma final con la carcasa de madera

Debajo del área donde la persona se parará, hay cuatro celdas de carga. Cada una posicionada en una de las esquinas y sujeta al tablero con tornillos, como se puede ver en la Figura 19. Con las cuatro celdas de carga, es posible medir el peso de la persona y determinar el punto de presión exacto. Para calibrar todas las celdas de carga, el tablero superior no debe estar montado.

Cuando la persona se sube a la plataforma, el tablero se moverá hacia la derecha o hacia la izquierda. El desencadenante para mover el tablero es un peso predefinido. Una vez que se mide el peso en la plataforma, el tablero se moverá instantáneamente. Mientras la persona está sobre la plataforma, se mide y se envía la distribución del peso al ordenador conectado. La distribución del peso se muestra en un gráfico y se puede pasar el cursor sobre las líneas

del gráfico para ver la cantidad de peso medida. Esto se puede ver en la Figura 20. Además del gráfico de peso, el gráfico inferior muestra todos los puntos de presión a lo largo del tiempo que se registró. Se puede cambiar el tiempo con el control deslizante de la izquierda y hacer clic en un punto para ver más datos sobre él, como el tiempo y el peso.

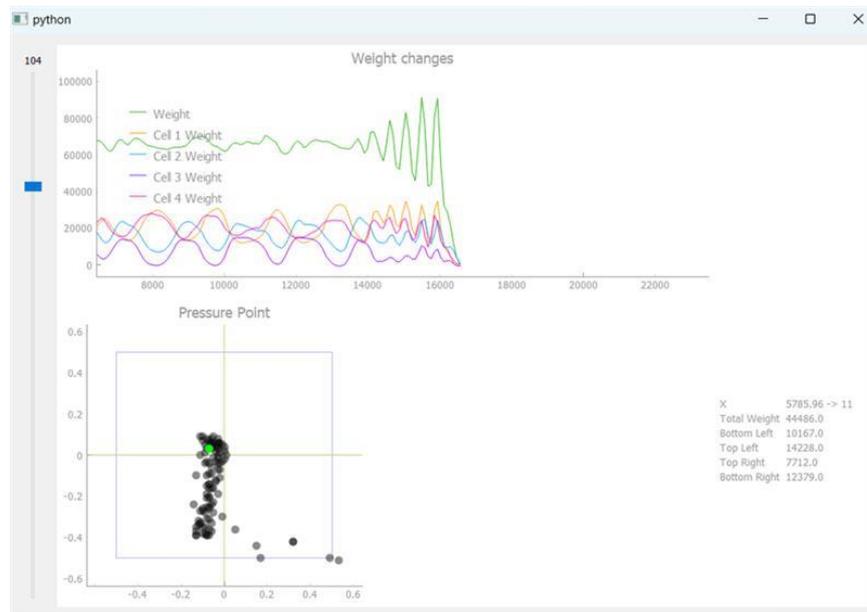


Figura 20, Visualización del Software

Una vez que la persona se baja de la plataforma, el tablero se moverá varias veces para que la persona no sepa en qué dirección se moverá la próxima vez que se suba. Al mismo tiempo que la persona se sube a la plataforma, se medirá el flujo sanguíneo en el talón con una sonda de LDF. Esta sonda se sujeta al tobillo con cinta adhesiva. La sonda se coloca en el soporte impreso en 3D para mantenerla a la distancia adecuada de la piel. Los datos del flujo sanguíneo no se muestran en el software, ya que esto no era un requisito.

## 5 EVALUACIÓN

Como se muestra en el Capítulo 5, se ha logrado desarrollar una plataforma funcional que cumple con la mayoría de los objetivos establecidos al inicio del semestre. Hemos logrado añadir un nuevo dispositivo que permite medir y establecer la evolución del peso del sujeto de prueba, así como determinar la posición exacta del peso aplicado en la plataforma. También hemos reducido drásticamente el tiempo de reacción de la plataforma al escribir un nuevo programa desde cero. Finalmente, el código y la cubierta de madera hacen que la plataforma sea impredecible al aleatorizar la dirección de la estimulación y ocultar todo el mecanismo.

Sin embargo, no hemos logrado cumplir con uno de los objetivos. No hemos integrado el sensor de LDF con la plataforma después de revisar el objetivo a lo largo del semestre. Decidimos, junto con nuestro supervisor, que el uso de un sensor de LDF no era la mejor manera de medir la actividad neural. Además, la sonda utilizada debajo del talón todavía estaría expuesta a mucho ruido, lo que resultaría en datos poco claros.

### 5.1 El futuro del proyecto

Para un proyecto futuro, sugerimos las siguientes opciones.

#### 5.1.1 Tensión en la placa

Durante la fabricación de la nueva placa superior, se encontró un problema al probar el nuevo dispositivo. Como primer paso, realizamos pruebas para calibrar cada celda de carga individualmente y verificamos el peso que medían utilizando un peso conocido. Aunque la calibración resultó exitosa, las mediciones de peso salieron mal cuando se probaron las cuatro celdas de carga con la placa superior montada. La razón era que los tornillos utilizados para mantener la placa superior en su posición sobre las celdas de carga generaban tensión en la placa. Esto fue confirmado al realizar más pruebas correctas aflojando ligeramente los tornillos para darle movilidad al sistema. Aunque el dispositivo de medición de peso ahora es muy preciso, esta placa superior y la forma en que está conectada a las celdas de carga necesitan trabajo futuro para hacerla más estable sin perder precisión.

#### 5.1.2 Los raíles previenen que la plataforma venza

El mayor problema enfrentado durante el proyecto fue la falta de rigidez de todo el sistema. Esto fue visible cuando un sujeto de prueba se sube en las plataformas, las cuales se doblan

bajo la presión. La mayor parte de la deformación ocurre en los rieles que conectan la placa inferior y la placa intermedia que soporta el dispositivo de pesaje. Debido a estas deformaciones, sospechamos que las celdas de carga pierden precisión ya que parte del peso se distribuye en los rieles. Para resolver este problema, recomendamos reforzar el sistema de guía utilizando ruedas de apoyo para reducir la deformación, o incluso cambiar los rieles por guías lineales de mejor calidad. Debido a los recursos y herramientas limitados, la plataforma está principalmente hecha de tablero de partículas, que tiene propiedades mecánicas limitadas en comparación con los materiales metálicos.

### **5.1.3 Software**

Desde la perspectiva del software, hay una parte que se beneficiaría de un nuevo proyecto. La aplicación de escritorio que se ha creado es un prototipo y se desarrolló en poco tiempo para demostrar las posibilidades que ofrece la salida de datos. Sin embargo, dista mucho de ser un software pulido. Por lo tanto, una sugerencia para trabajos futuros podría ser crear una aplicación bien diseñada para trabajar con la plataforma. Parte de esto implica mejorar la transferencia de datos, ya que actualmente se realiza a través del puerto USB serie, lo cual no es una buena práctica, ya que debería estar reservado para el IDE de Arduino y el monitor serie. Además, explorar diferentes bibliotecas/herramientas para visualizar los datos podría contribuir a un mejor producto.

### **5.1.4 Circuitos**

El circuito electrónico se basa en el circuito anterior que diseñaron los estudiantes anteriores. Debido a esto, el circuito no es el más eficiente. Incluso hay componentes en el circuito que no se utilizan, como el regulador de voltaje. Se usaba para obtener una salida de 5V a partir de la fuente de alimentación de 24V para alimentar a las celdas de carga. Actualmente, las celdas de carga están conectadas directamente al Arduino porque esto también proporciona 5V. Además, decidimos colocar los HX711 en una protoboard para que los grupos posteriores puedan cambiar fácilmente esta parte del circuito si es necesario. Una vez que todo el circuito esté optimizado y no se vayan a realizar más cambios, se puede diseñar una PCB para eliminar muchos cables, lo que lo hará menos vulnerable al ruido y a conexiones incorrectas de cables.

### **5.1.5 LDF**

Dahle et al. (2022) ya sugirió en su tesis de maestría que LDF no es adecuado para este experimento debido a su sensibilidad al movimiento. Aunque la sonda está estacionaria en relación con la piel, la fibra por la cual viaja la señal óptica se mueve junto con el movimiento

de la plataforma, lo que la hace muy sensible a los artefactos de movimiento. Esto se debe a que la luz que interactúa con los bordes de la fibra experimenta un desplazamiento Doppler (Dahle et al., 2022). Se puede realizar un trabajo adicional investigando otras formas de medir la oxigenación de los tejidos con espectroscopia funcional de infrarrojo cercano (fNIR) como punto de partida.

## 6 CONCLUSIÓN

En conclusión, este proyecto de tesis tuvo como objetivo investigar el papel de los mecanorreceptores en el pie para mantener la postura erguida y desarrollar una plataforma de estimulación del talón en colaboración con GaitLine, una empresa fabricante de calzado. El proyecto abarcó diversos aspectos, incluyendo la recolección de datos, la gestión del proyecto, el análisis de riesgos y el diseño de hardware.

A lo largo del proyecto, se lograron avances significativos en el desarrollo de la plataforma de estimulación del talón y en la mejora de las técnicas de recolección de datos. La plataforma fue diseñada para estimular el talón en un movimiento lateral mientras se monitoreaban diversos aspectos del cuerpo humano, como los puntos de presión, el flujo sanguíneo en el talón, la actividad cerebral y el ángulo del hueso del talón. Los desafíos iniciales relacionados con la estimulación inconsistente y las lecturas ruidosas de los sensores fueron abordados, logrando así un proceso de recolección de datos más confiable y preciso.

Se realizó un análisis exhaustivo de riesgos para identificar posibles desafíos, y se propusieron acciones correctivas adecuadas. El equipo se centró en mitigar los riesgos relacionados con datos ruidosos, fallas en los componentes y la falta de espacio en el espacio de fabricación. Al abordar proactivamente estos riesgos, el proyecto mantuvo una progresión constante y logró sus objetivos.

La fase de diseño del proyecto involucró una investigación exhaustiva y el desarrollo de varios componentes de hardware. Cada componente fue meticulosamente diseñado para garantizar su funcionalidad, precisión e integración en la plataforma de estimulación del talón.

Los resultados de este informe de proyecto tienen beneficios tanto científicos como prácticos. Los datos recolectados y los conocimientos adquiridos contribuirán a la comprensión científica del papel de los mecanorreceptores en el pie y su influencia en el mantenimiento de la postura erguida. Además, la plataforma mejorada y las técnicas de recolección de datos ayudarán a GaitLine a obtener datos valiosos para respaldar la explicación científica de los efectos analgésicos de sus zapatos.

En resumen, este informe de proyecto desarrolló con éxito una plataforma de estimulación del talón, mejoró las técnicas de recolección de datos y proporcionó conocimientos valiosos sobre el papel de los mecanorreceptores en el mantenimiento de la postura erguida.

## 7 REFLEXIÓN

Para la reflexión se utilizará el ciclo reflexivo de Gibbs (Gibbs' Reflective Cycle, 2020).

### **Descripción:**

El proyecto EPS abarcó aproximadamente un período de 5 meses. Inicialmente, nos costó entender los objetivos y propósito del proyecto. La comunicación con Peyman y Gaitline llevó más tiempo del esperado. Necesitábamos recopilar información sobre qué debíamos hacer y en qué contexto se encontraba el proyecto. Una vez que definimos y validamos nuestra misión, objetivo y alcance, trabajamos de manera muy eficiente para producir nuestro producto final.

Durante el proyecto, hubo muchos cambios en el proyecto. Al principio, estábamos utilizando métodos convencionales de gestión de proyectos, pero luego cambiamos a una forma más informal de trabajar, ya que éramos mucho más eficientes de esa manera.

### **Sentimientos:**

Durante las primeras semanas, nos sentimos abrumados por el estado actual del proyecto. Las primeras reuniones fueron caóticas porque apenas sabíamos algo sobre los temas y qué se suponía que debíamos hacer. Además, tuvimos la sensación de que Peyman tampoco sabía exactamente lo que necesitaba. Por lo tanto, pasamos mucho tiempo confundidos e intentando dar sentido a la situación. Después de algunas reuniones, nos sentimos más cómodos y comprendimos mejor cómo podíamos contribuir al proyecto. Finalmente, cuando confirmamos nuestra misión, objetivo y alcance con nuestro supervisor, nos sentimos aliviados de que el trabajo que realizamos llevara a algo valioso.

El cambio en nuestra gestión de proyectos hacia una forma más informal se sintió natural, ya que mantener el método scrum era muy difícil. Después de trabajar de esta manera, descubrimos que lográbamos mucho trabajo. Sin embargo, a veces nos sentíamos incómodos porque estábamos acostumbrados a tener métodos estructurados para gestionar el proyecto.

### **Evaluación:**

Aunque el proyecto no se correspondía completamente con ninguna de nuestras especialidades, logramos superar estas dificultades adaptando nuestro enfoque y utilizando nuestras cualificaciones de manera inteligente. Los objetivos claros y definitivos que establecimos en las primeras reuniones desempeñaron un papel crucial para brindar claridad y enfoque a nuestro proyecto. La confianza en las habilidades de cada uno de nosotros fomentó un entorno de trabajo positivo y garantizó la finalización eficiente de las tareas.

Todos estamos de acuerdo en que no utilizaríamos este método de gestión en otros proyectos. Lo usamos en este proyecto porque nos resultó natural y nuestro grupo funcionó muy bien de esta manera. Todos se sentían responsables de sus tareas e informaban al resto del grupo sobre el progreso.

**Análisis:**

Los problemas que pensamos que teníamos durante el período en el que definimos el proyecto resultaron ser una de las partes más importantes del semestre. Al principio, lo veíamos como un período de dos semanas antes de poder comenzar, pero luego descubrimos que esto es lo más valioso que aprendimos en el proyecto. Al hablar con otros grupos, también nos dimos cuenta de que esto ocurre en la mayoría de los grupos.

La falta de mantener el tablero scrum se debió a nuestro proyecto en constante cambio. Ya hemos hablado de esto, pero una lección que podemos extraer es que tal vez el período en el que definimos el proyecto no fue lo suficientemente largo. Dado que no pudimos reunirnos regularmente con nuestro supervisor como nos hubiera gustado, tuvimos que seguir adelante y comenzar a trabajar en el producto físico. Resultó funcionar bien cuando nos comunicamos con nuestro supervisor para obtener comentarios y orientación sobre nuestro trabajo.

**Conclusión:**

Nuestro proyecto grupal fue exitoso porque nos estructuramos en reunirnos y trabajar juntos. Además, revisar el progreso con nuestro supervisor nos mantuvo informados si estábamos en el camino correcto. Con los comentarios, pudimos cambiar nuestras acciones para asegurarnos de trabajar en lo correcto. En última instancia, esto condujo a un producto con el que el supervisor quedó satisfecho.

**Plan de acción:**

Para el próximo proyecto, intentaríamos comprender mejor la importancia de las primeras semanas del proyecto. Primero tomaríamos tiempo para comprender el contexto y no adentrarnos en los detalles de la solución. Porque comprender el contexto te permite comprender mejor el proceso de pensamiento del supervisor.

Otro aspecto en el que trabajaríamos es la gestión de proyectos, aunque funcionó muy bien para nosotros esta vez, podría ser drásticamente diferente según los miembros del grupo. Es por eso que pondríamos más esfuerzo en mantener un tablero scrum. De esta manera, será más estructurado para todo el grupo, especialmente si los grupos se vuelven más grandes.

## 8 ANEXO

Cuando estás redactando las especificaciones de componentes en un anexo para tu Trabajo de Fin de Grado (TFG), es importante ser claro y detallado para que los lectores puedan entender completamente los elementos que estás utilizando en tu investigación. Aquí hay algunas sugerencias sobre cómo podrías estructurar esa sección:

### 8.1 Especificaciones de Componentes

#### 8.1.1 Equipo de Laboratorio:

##### Placa Arduino:

- Modelo: Arduino Uno Rev3
- Microcontrolador: ATmega328P
- Tensión de Operación: 5V
- Pines I/O Digitales: 14
- Pines de entrada Analógica: 6

#### 8.1.2 Instrumentación:

##### Solenoides:

- Modelo: Norgren V50A511A-A2000
- Medio: Aire comprimido
- Tamaño del puerto: G1/8
- Presión de funcionamiento: 2 - 8 bar

##### Pistón/Cilindro neumático:

- Modelo: FESTO DSNU-25-15-P-A
- Modo de funcionamiento: Doble efecto
- Diámetro del émbolo: 25 mm
- Carrera: 15 mm
- Amortiguación: Por topes elásticos/placas en ambos lados
- Presión de funcionamiento: 1 – 10 bar

### 8.1.3 Sensores:

#### Celdas de Carga:

- Modelo: VARIOHM EuroSensor AL6N-C3-100kg-3B6
- Capacidad: 100 kg
- Sensibilidad: 2 mV/V
- Precisión: 0.023 %

### 8.1.4 Software Utilizado:

#### Código Arduino:

- Versión: 2.0.3()

#### Código Python

- Versión: 3.9 – 3.11
- Versión *PyQt5*: 5.19.9
- Versión *pyqtgraph*: 0.13.3
- Versión *pyserial*: 3.5

### 8.1.5 Componentes Electrónicos:

#### Convertidor Analógico-Digital HX711

- Resolución: 24 Bits
- Ganancia: 128
- Corriente de funcionamiento: 1.7 mA
- Rango de voltaje de funcionamiento: 2,6 - 5,5 V

#### BD679 Transistor NPN

- Tipo: Transistores Darlington
- Fabricante: STMicroelectronics
- Corriente del colector DC máxima: 4<sup>a</sup>

### **LM317T Reguladores de voltaje lineal**

- Fabricante: STMicroelectronics
- Voltaje de salida: 1.2 V - 37 V
- Corriente de salida: 1.5 A
- Error de carga: 0.5 %

### **Resistencias**

- Valores: 1k $\Omega$  y 6.8 k $\Omega$

### **8.1.6 Energía:**

#### **Fuente de Alimentación:**

- Modelo: Mlink Aps3005s-3d- 30V, 5A Fuente Alimentacion Triple Salida Regulable Con Display Digital

#### **Compresor neumático:**

- Modelo: Biltema Compressor L24, 1500W
- Presión máxima: 8 bar
- Capacidad del tanque: 24 L

## 8.2 Presupuesto

Concepto	Modelo	Cantidad	Coste unitario	Coste total (€)
<b>Placa Arduino</b>	Arduino Uno Rev3	1	24 €/ud [5]	24.00
<b>Solenoide</b>	Norgren V50A511A-A2000	1	33,29 €/ud [22]	33.29
<b>Pistón</b>	FESTO DSNU-25- 15-P-A	1	70.12 €/ud [10]	70.12
<b>Celdas de carga</b>	VARIOHM EuroSensor AL6N- C3-100kg-3B6	4	98,65 €/ud [4]	394.60
<b>Convertidores HX711</b>		4	1.25 €/ud [21]	5.00
<b>Transistor NPN BD679</b>	STMicroelectronics	1	0.47 €/ud [7]	0.47
<b>Fuente de alimentación</b>	Mlink Aps3005s	1	138.60 €/ud [8]	138.60
<b>LM317T Reguladores de voltaje lineal</b>	STMicroelectronics	1	0.71 €/ud [23]	0.71
<b>Resistencia 1K</b>		3	0.09 €/ud [26]	0.27
<b>Resistencia 6.8K</b>		1	0.15 €/ud [27]	0.15
<b>Compresor neumático</b>	Biltema Compresor L24, 1500W	1	123.36€/ud (1399 NOK) [11]	123.36
<b>Tablero aglomerado</b>	Crudo	4	27,03 €/ud [3]	108.12
<b>Rail Acero Inoxidable</b>	3x120 cm AISI 316	2	93.90 €/3 ud [25]	93.90
<b>Impresora 3D</b>	Ultimaker S3	1	4,779.50 €/ud [30]	4,799.50
<b>Filamento Impresora 3D</b>	Ultimaker PLA	1	42.35€/ud [14]	42.35

Tabla 2, Presupuesto del proyecto

Los productos que vienen remarcados de un color más oscuro pueden variar dependiendo de si la Universidad de Cantabria cuenta con ellos o es necesario alquilarlos y/o comprarlos. En este caso, se ha utilizado en la tabla los mismos modelos que se usaron en OsloMet, por lo que podría haber alternativas.

Por lo que el precio total del proyecto sería un total de **5834.44 €** si es necesario obtener los productos marcados de color oscuro. Y si por el contrario la universidad cuenta con los productos marcados el coste total descendería a **772.98 €**.

### 8.3 Código Arduino

Se ha desarrollado un sistema innovador de plataforma de peso distribuido, que utiliza celdas de carga para medir y procesar la distribución del peso sobre la plataforma. Con el objetivo de implementar y controlar dicho sistema, se ha utilizado un microcontrolador Arduino y el siguiente código.

#### **Descripción del Código**

El código proporcionado está escrito en lenguaje de programación Arduino (lenguaje C) y está diseñado para trabajar con un conjunto de cuatro células de carga, dispuestas en una plataforma rectangular. Estas células de carga están conectadas al microcontrolador a través de interfaces HX711.

#### **Funcionalidades Principales**

1. **Calibración de Células de Carga:** Permite la calibración de las células de carga mediante factores de calibración predefinidos.
2. **Lectura de Peso y Punto de Presión:** Lee continuamente los valores de peso de cada célula y calcula el punto de presión en la plataforma utilizando una función específica.
3. **Control de la Plataforma:** La plataforma puede ser activada o desactivada en función de umbrales de peso predefinidos. También se incluye la posibilidad de restablecer la plataforma después de alcanzar un peso por debajo de un umbral de reinicio.
4. **Generación de Datos para Aplicación Externa:** Genera datos en un formato específico que puede ser utilizado por una aplicación externa, facilitando la monitorización y análisis del sistema.

## **Configuración y Personalización**

El código proporciona varias variables configurables que permiten ajustar el comportamiento del sistema, como los intervalos de guardado, umbrales de peso y otros parámetros relacionados con el control de la plataforma.

```
// Calibrar las celdas de carga
#include "HX711.h"

//Declarando los diferentes pines usados para las celulas de carga
const int LOADCELL_DOUT_PINS[4] = {2, 4, 6, 9};
const int LOADCELL_SCK_PINS[4] = {3, 5, 7, 10};
const int READYLEDPIN = 12;
//Factores de calibración obtenidos mediante el croquis de calibración de
la celulas de carga
//const float CAL_FACTORS[4] = {75.04, 33.91, 32.21, 90.60}; //
Calibracion con placa
const float CAL_FACTORS[4] = {43.21, 42.15, 43.71, 45.21}; // Calibracion
sin placa

//Declarar las diferentes células de carga para ponerlas en una lista
HX711 scale_1;
HX711 scale_2;
HX711 scale_3;
HX711 scale_4;

// His
HX711 SCALES[4] = {scale_1, scale_2, scale_3, scale_4};

const int push_pin = 8;
const int pull_pin = 11;

// --- Config ---
long saveInterval = 50; // ms entre guardados
long triggerTreshold = 2000; // Gramos para alcanzar el disparo de la
plataforma
long resetTreshold = 100; // Gramos por debajo para reiniciar la
plataforma.
long minWeightToSave = 50; // Cantidad minima de gramos para guardar

// --- Variables de estado ---
// NO TOCAR
long lastSaveTime = 0; // Ultima vez (en ms) que se han
guardado/enviado los datos
bool hasTriggered = false; // Comprueba si la plataforma ya se ha activado
long curTime = 0;
bool pistonIsOutwards = false; // Esta extendida la plataforma

struct Point {
```

```

float x, y;
long weight;
};

void setup() {
  Serial.begin(57600);
  pinMode(READYLEDPIN, OUTPUT);
  pinMode(push_pin, OUTPUT);
  pinMode(pull_pin, OUTPUT);

  taring();

  Serial.print("Mover la plataforma a la izquierda para el estado
inicial");
  digitalWrite (push_pin, LOW);      //turning led off
  digitalWrite (pull_pin, HIGH);    //turning led on

}

void readyLed(bool status){
  if (status){
    digitalWrite(READYLEDPIN, HIGH);
  }
  else{
    digitalWrite(READYLEDPIN, LOW);
  }
}

/**
 * @brief Activa/Dispara la plataforma, configurada en el estado opuesto.
 *
 */

void triggerPlatform() {
  // Empujar o retraer
  if (pistonIsOutwards) {
    Serial.print("Desplazamiento de la plataforma hacia el exterior");
    setPiston(false);
  }
  else {
    Serial.print("Desplazamiento de la plataforma hacia el interior");
    setPiston(true);
  }
}

/**
 * @brief Establece el estado del piston independientemente de cuál sea el
estado actual
 *
 * @param outwards Mover el pistón hacia fuera
 */
void setPiston(bool outwards) {
  if (outwards) {

```

```

    Serial.print("Coloca la tabla hacia fuera");
    digitalWrite (push_pin, HIGH);    //Enciende el LED
    digitalWrite (pull_pin, LOW);    //Apaga el LED
    pistonIsOutwards = true;
}
else {
    Serial.print("Coloca la tabla hacia dentro");
    digitalWrite (push_pin, LOW);    //Apaga el LED
    digitalWrite (pull_pin, HIGH);  //Enciende el LED
    pistonIsOutwards = false;
}
}

/**
 * @brief Hacer aleatorio el movimiento del pistón de la plataforma.
 *
 * @param time
 */
void setPlatformToRandomState(int time) {
    Serial.println("Poner la plataforma en estado aleatorio");
    // Pasar por una secuencia de cambio de pistón para confundir al usuario.
    setPiston(true);
    delay(500);
    setPiston(false);
    delay(500);
    setPiston(true);
    delay(500);
    setPiston(false);
    setPiston(time % 2 == 0);
    delay(100);
    readyLed(true);
}

/**
 * Calcula el punto de presión de un objeto 2D con 4 esquinas, donde el
 * peso
 * de cada esquina en kilogramos.
 *
 * @param bl_weight Esquina inferior izquierda medida en kilogramos.
 * @param tl_weight Esquina superior izquierda medida en kilogramos.
 * @param br_weight Esquina inferior derecha medida en kilogramos.
 * @param tr_weight Esquina superior derecha medida en kilogramos.
 *
 * @returns Una estructura de puntos que contiene el punto de presión (x,
 * y) y el peso total en kilogramos.
 */
Point calculatePressurePoint(float bl_weight, float tl_weight, float
tr_weight, float br_weight) {
    Point corners[4] = {
        { -0.5f, -0.5f, bl_weight},    // Esquina inferior izquierda
        { -0.5f, 0.5f, tl_weight},    // Esquina superior izquierda
        { 0.5f, -0.5f, br_weight},    // Esquina inferior derecha
        { 0.5f, 0.5f, tr_weight}      // Esquina superior derecha
    };
};

```

```

float totalWeight = bl_weight + tl_weight + br_weight + tr_weight;
float pressureX = 0.0f;
float pressureY = 0.0f;

for (int i = 0; i < 4; i++) {
    pressureX += corners[i].x * corners[i].weight;
    pressureY += corners[i].y * corners[i].weight;
}

pressureX /= totalWeight;
pressureY /= totalWeight;

Point pressurePoint = {pressureX, pressureY, totalWeight};
return pressurePoint;
}

/**
 * @brief Obtener el peso de una báscula
 *
 * @param index Índice que figura en las etiquetas físicas de las células
de carga, donde 1 es el primero
 * @return long
 */
long getWeight(byte index) {
    return SCALES[index - 1].get_units();
}

/**
 * @brief Tarar todas las células de carga
 *
 */
void taring() {
    digitalWrite(READYLEDPIN, LOW);
    Serial.println("Tarando basculas... quita cualquier peso de las
basculas.");
    delay(100);
    // Para cada celula de carga: tarar y poner a 0
    for (byte i = 0; i < 4; i++) {
        SCALES[i].begin(LOADCELL_DOUT_PINS[i], LOADCELL_SCK_PINS[i]);
        SCALES[i].set_scale(CAL_FACTORS[i]);
        SCALES[i].tare();
    }

    digitalWrite(READYLEDPIN, HIGH);
    Serial.println("Se ha realizado el tarado");
}

/**
 * @brief Registrar los valores actuales en la salida serie en un formato
que pueda
 *
 * ser leído por la aplicación de Python.
 *
 * @param curTime
 * @param weight

```

```

* @param x
* @param y
* @param w1
* @param w2
* @param w3
* @param w4
* @param isTrigger
*/
void logToApp(long curTime, long weight, float x, float y, long w1, long
w2, long w3, long w4, bool isTrigger){
    int triggerVal = 0;
    if (isTrigger){
        triggerVal = 1;
    }
    Serial.println("GUIDATA:" +String(curTime) + ";" + String(weight) + ";" +
String(x)+ ";" + String(y)+ ";" + String(w1)+ ";" + String(w2)+ ";" +
String(w3)+ ";" + String(w4) + ";" + String(triggerVal));
}

void loop() {
    curTime = millis();
    long w1 = getWeight(1);
    long w2 = getWeight(2);
    long w3 = getWeight(3);
    long w4 = getWeight(4);

    Point currentPoint = calculatePressurePoint(w1, w2, w3, w4);

    // Activar la plataforma después de alcanzar un peso por encima del
    umbral
    if (!hasTriggered && currentPoint.weight > triggerTreshold) {
        Serial.println("Triggering platform");
        readyLed(false);

logToApp(curTime, currentPoint.weight, currentPoint.x, currentPoint.y, w1, w2, w3
, w4, true);
        triggerPlatform();
        hasTriggered = true; // No volverá a ingresar esta declaración if hasta
que hasTriggered sea "false"
    }

    //Restablecer la plataforma después de que el peso esté por debajo de
    resetThreshold
    if (hasTriggered && currentPoint.weight < resetTreshold) {
        triggerPlatform();
        hasTriggered = false; // Listo para un nuevo peso
        Serial.println("Restableciendo plataforma");

        setPlatformToRandomState(curTime);
    }

    // En cada intervalo, guarda el punto de presión en el monitor serie
    if (curTime - lastSaveTime > saveInterval) {

```

```
// No hay peso en la bascula, no envia nada.  
if (currentPoint.weight < minWeightToSave) {  
    Serial.println("Not enough weight: " + String(currentPoint.weight));  
    return;  
}  
  
logToApp(curTime,currentPoint.weight,currentPoint.x,currentPoint.y,w1,w2,w3  
,w4, false);  
    lastSaveTime = curTime;  
}  
  
}
```

## 8.4 Código Python para la Aplicación de Visualización de Datos desde Arduino

Se ha desarrollado una aplicación en Python que permite la lectura continua de datos seriales provenientes de un dispositivo Arduino y su visualización en gráficos interactivos. Este código busca proporcionar una interfaz gráfica intuitiva para la monitorización de datos de peso y presión capturados por sensores conectados al Arduino.

### Descripción del Código

El código se organiza en clases y funciones, cada una con un propósito específico en la gestión de la interfaz gráfica y la actualización de gráficos en tiempo real. A continuación, se describen las principales componentes del código:

- **Clase Slider:** Crea un widget de deslizador vertical con una etiqueta que refleja dinámicamente el valor seleccionado por el usuario. Este deslizador está vinculado a la actualización de gráficos en respuesta a cambios.
- **Clase PlotManager:** Se encarga de la creación y gestión de múltiples gráficos en una interfaz gráfica. Proporciona funciones para actualizar dinámicamente los gráficos de peso y presión en función de los datos seriales recibidos desde el Arduino.
- **Clase Widget:** Combina la funcionalidad del deslizador con la ventana de gráficos. Facilita la interacción del usuario al establecer una conexión entre el deslizador y la actualización de gráficos.
- **Función serialReader:** Realiza la lectura continua de datos seriales del Arduino, decodifica la información y actualiza el `PlotManager` con los datos de peso y presión. Este proceso se ejecuta en un hilo separado para mantener la interfaz gráfica receptiva.

### Funcionalidades Principales

1. **Visualización de Peso y Presión en Tiempo Real:** Los gráficos de peso total y puntos de presión se actualizan continuamente a medida que se reciben datos desde el Arduino.
2. **Interacción con el Usuario:** El deslizador vertical proporciona una herramienta interactiva para explorar los datos en función del tiempo, permitiendo al usuario ajustar el intervalo visualizado.

3. **Información Detallada:** Se proporciona información detallada sobre los valores de peso y puntos de presión en una etiqueta, facilitando la interpretación de los datos.
4. **Gestión de Eventos:** El código responde a eventos del ratón para resaltar puntos de interés en los gráficos y proporciona una etiqueta informativa en tiempo real.

Este código Python ofrece una solución integral para la visualización y análisis de datos provenientes de un sistema basado en Arduino, brindando una herramienta útil para la supervisión de distribuciones de peso y puntos de presión en tiempo real.

```
##
#
# Esta aplicación es un prototipo para leer los datos seriales del
# arduino y mostrarlos en un gráfico.
# Fue hecho exclusivamente para demostrar lo que se puede hacer con los
# datos.
#
##

import sys
from threading import Thread
from pprint import pprint
import pyqtgraph as pg
from SerialDecoder import *

from PyQt5.QtCore import Qt
from PyQt5.QtWidgets import QApplication, QHBoxLayout, QLabel, QSizePolicy,
QSlider, QSpacerItem, \
    QVBoxLayout, QWidget, QGraphicsRectItem

import pyqtgraph as pg
LABEL_NUMBER_PRECISION = 2      # Número de decimales mostrados en la
# aplicación
running = True                  # Realizar un seguimiento si se abre la
# aplicación (usada en el segundo plano)
latest_slider_value = 0

# Esta clase crea un widget de deslizador vertical con una etiqueta que
# muestra el valor actual del deslizador.
# Además, vincula el cambio de valor del deslizador a la actualización de
# la etiqueta para reflejar
# los cambios dinámicamente.

class Slider(QWidget):
    def __init__(self, minimum, maximum, parent=None):
        super(Slider, self).__init__(parent=parent)
        self.verticalLayout = QVBoxLayout(self)
        self.label = QLabel(self)
        self.verticalLayout.addWidget(self.label)
        self.horizontalLayout = QHBoxLayout()
```

```

        spacerItem = QSpacerItem(0, 20, QSizePolicy.Expanding,
QSizePolicy.Minimum)
        self.horizontalLayout.addItem(spacerItem)
        self.slider = QSlider(self)
        self.slider.setOrientation(Qt.Vertical)

        self.horizontalLayout.addWidget(self.slider)
        spacerItem1 = QSpacerItem(0, 20, QSizePolicy.Expanding,
QSizePolicy.Minimum)
        self.horizontalLayout.addItem(spacerItem1)
        self.verticalLayout.addLayout(self.horizontalLayout)
        self.resize(self.sizeHint())

        self.minimum = minimum
        self.maximum = maximum
        self.slider.valueChanged.connect(self.setLabelValue)
        self.x = None
        self.setLabelValue(self.slider.value())

    def setLabelValue(self, value):
        self.x = self.minimum + (float(value) / (self.slider.maximum() -
self.slider.minimum())) * (
        self.maximum - self.minimum)
        self.label.setText(str(int(self.x)))
    def getValue(self):
        return self.x

# Esta clase maneja la creación, configuración y actualización de múltiples
gráficos y elementos dentro
# de una interfaz gráfica, con la capacidad de responder a eventos del
ratón, actualizando los datos y
# mostrando información detallada sobre puntos específicos en los
gráficos.

class PlotManager():
    def __init__(self):
        self.window = pg.GraphicsLayoutWidget(show = True, title = "Plots
for heel data")
        self.window.ci.setContentsMargins(0,0,0,0)

        self.window.resize(1000,2000)
        self.window.setWindowTitle('HeelPlatform Data')
        self.window.setBackground((255,255,255))
        self.scatter_cursor_line = None
        # Habilitar el antialiasing para gráficos más bonitos
        pg.setConfigOptions(antialias = True)
        pg.setConfigOption('background', 'w')
        self.createDefaultValues()
        self.initPlots()

        self.initInfoLabel()
        self.slider = None

    def createDefaultValues(self):

```

```

        # self.scatter_spots = [{'pos': [0,0], 'data': 0},{'pos': [.2,0],
'data': 1000},{'pos': [0.1,-0.1], 'data': 1100},{'pos': [0,0.4], 'data':
1200}]

        # self.weight_timings = [0,1000,1100,1200,1300,1400,1600]
        # self.weight_values = [0,300,600,900,1540,2010,2800]
        # self.loadcell_1_values =
[0,300/4,600/4,900/4,1540/4,2010/4,2800/4]
        # self.loadcell_2_values =
[0,300/5,600/5,900/5,1540/5,2010/5,2800/5]
        # self.loadcell_3_values =
[0,300/6,600/6,900/6,1540/6,2010/6,2800/6]
        # self.loadcell_4_values =
[0,300/7,600/7,900/7,1540/7,2010/7,2800/7]
        self.scatter_spots = []
        self.weight_timings = []
        self.weight_values = []
        self.loadcell_1_values = []
        self.loadcell_2_values = []
        self.loadcell_3_values = []
        self.loadcell_4_values = []

    def addPistonTrigger(self, xpos):
        self.trigger_line = pg.InfiniteLine(pos = (xpos,0),angle = 90,
movable = False, pen = pg.mkPen((255,0,0), width = 1))
        pg.InfLineLabel(line = self.trigger_line, text = "Piston trigger",
position = 0.8)
        self.weight_plot.addItem(self.trigger_line)

    def setScatterCursor(self, xpos):
        if self.scatter_cursor_line is None:
            self.scatter_cursor_line = pg.InfiniteLine(pos = (xpos,0),angle
= 90, movable = False, pen = pg.mkPen((0,0,255), width = 1))
            pg.InfLineLabel(line = self.scatter_cursor_line, text =
"Selected PressurePoint", position = 0.7)
            self.weight_plot.addItem(self.scatter_cursor_line)
        else:
            self.scatter_cursor_line.setPos((xpos,0))

    def removeScatterCursor(self):
        if self.scatter_cursor_line is None:
            return
        self.weight_plot.removeItem(self.scatter_cursor_line)
        self.scatter_cursor_line = None

    def initPlots(self):
        #####
        # Gráfico de Peso Totales
        #####
        self.weight_plot = self.window.addPlot(title = "Weight changes")
        self.weight_plot.setMinimumSize(800,300)
        self.weight_plot.enableAutoRange(axis = 'y')
        self.weight_plot.addLegend()
        self.weight_pen = self.weight_plot.plot(pen = (30, 179, 0), name =
"Weight")
        self.cell_1_pen = self.weight_plot.plot(pen = (255, 149, 0), name =
"Cell 1 Weight")

```

```

self.cell_2_pen = self.weight_plot.plot(pen = (0, 157, 255), name =
"Cell 2 Weight")
self.cell_3_pen = self.weight_plot.plot(pen = (153, 0, 255), name =
"Cell 3 Weight")
self.cell_4_pen = self.weight_plot.plot(pen = (255, 0, 187), name =
"Cell 4 Weight")

self.region = pg.LinearRegionItem()
self.region.setZValue(10)

self.weight_plot.setAutoVisible(y = True)
# Vincula el LinearRegionItem a los datos trazados
self.region.setClipItem(self.weight_pen)

self.region.sigRegionChanged.connect(self.crosshairUpdate)

self.weight_plot.sigRangeChanged.connect(self.updateRegion)

# Establecer la escala "x" del gráfico para mostrar 0-7000 por
defecto
self.region.setRegion([0, 7000])

# Cruz
crosshair_pen = pg.mkPen((0,0,0), width = .3)
self.vLine = pg.InfiniteLine(angle = 90, movable = False, pen =
crosshair_pen)
self.hLine = pg.InfiniteLine(angle = 0, movable = False, pen =
crosshair_pen)

self.weight_plot.addItem(self.vLine, ignoreBounds = True)
self.weight_plot.addItem(self.hLine, ignoreBounds = True)
self.vb = self.weight_plot.vb

self.weight_plot.scene().sigMouseClicked.connect(self.mouseMoved)

####

self.window.nextRow()
#####
# Trazado del punto de presión
#####

self.clickedPen = pg.mkPen('k', width = 2) # Lapiz para usar cuando
se hace clic en el elemento (borde)
self.lastClicked = [] # Si los puntos estan acumulados, se hara
clic en varios a la vez.

self.pressure_plot = pg.ScatterPlotItem(size = 10, pen =
pg.mkPen(None), brush = pg.mkBrush(10,10,10, 120))

pressure_plot_holder = self.window.addPlot(title = "Pressure
Point")

```

```

vLine2 = pg.InfiniteLine(angle = 90, movable = False)
hLine2 = pg.InfiniteLine(angle = 0, movable = False)

rect_item = (QGraphicsRectItem(-0.5, -0.5, 1,1))
rect_item.setPen(pg.mkPen("b", width = 0.3))
pressure_plot_holder.addItem(rect_item)
pressure_plot_holder.addItem(vLine2, ignoreBounds=True)
pressure_plot_holder.addItem(hLine2, ignoreBounds=True)

pressure_plot_holder.setMaximumSize(375,375) # Lo hace cuadrado
pressure_plot_holder.setMinimumSize(375,375)
# Cruz central
pressure_plot_holder.setYRange(-0.6, 0.6) # Los valores máximos
estaran entre -0,5 y 0,5.
pressure_plot_holder.setXRange(-0.6, 0.6)
pressure_plot_holder.addItem(self.pressure_plot)

self.pressure_plot.sigClicked.connect(self.clicked)
def mouseMoved(self, evt):
    pos = evt
    if self.weight_plot.sceneBoundingRect().contains(pos):
        mousePoint = self.vb.mapSceneToView(pos)
        index = int(mousePoint.x())
        if len(self.weight_timings) > 0 and index > 0 and index <
self.weight_timings[-1]:
            self.updateLabel(index, mousePoint.x())

            self.vLine.setPos(mousePoint.x())
            self.hLine.setPos(mousePoint.y())

    def updateWeightPlot(self):
        self.weight_pen.setData(self.weight_timings,self.weight_values)
        self.cell_1_pen.setData(self.weight_timings,
self.loadcell_1_values)
        self.cell_2_pen.setData(self.weight_timings,
self.loadcell_2_values)
        self.cell_3_pen.setData(self.weight_timings,
self.loadcell_3_values)
        self.cell_4_pen.setData(self.weight_timings,
self.loadcell_4_values)
    def updatePressurePlot(self,maxitems = 9999):
        self.pressure_plot.clear()
        maxitems = int(maxitems)
        toshow = self.scatter_spots
        self.slider.maximum = len(self.scatter_spots)
        if len(self.scatter_spots) >= maxitems:
            toshow = self.scatter_spots[:maxitems]
        self.pressure_plot.addPoints(toshow)
        if len(self.pressure_plot.points()) > 0:
            self.pressure_plot.points() [-
1].setBrush(pg.mkBrush(0,255,0,255), size = 10,)

    def _updatePressurePlotViaSlider(self, _sliderval):
        if self.slider is None:
            print("NO SLIDER SETUP")

```

```

        return
    val = int(self.slider.getValue())
    self.updatePressurePlot(val)
def clicked(self, plot, points):
    for p in self.lastClicked:
        p.resetPen()
    for p in points:
        p.setPen(self.clickedPen)
    self.lastClicked = points
    topclicked = points[-1].data()
    print(f"Clicked value ms: {topclicked}")
    self.updateLabel(int(topclicked))
    self.setScatterCursor(topclicked)

def crosshairUpdate(self):
    self.region.setZValue(10)
    minX, maxX = self.region.getRegion()
    self.weight_plot.setXRange(minX, maxX, padding = 0)
    self.weight_plot.setYRange(0,100000)

def updateRegion(self,window, viewRange):
    rgn = viewRange[0]
    self.region.setRegion(rgn)

def initInfoLabel(self):
    self.label = pg.LabelItem()
    self.window.addItem(self.label)
    self.updateLabel(0)

def updateLabel(self,x, mousePointX = None):

    if mousePointX is None:
        mousePointX = x
    txt = ""

    if len(self.weight_timings) == 0:
        return
    index = self.weight_timings.index(min(self.weight_timings,
key=lambda xx:abs(xx-x)))

    items = [{"Total Weight",
round(self.weight_values[index], LABEL_NUMBER_PRECISION)],
["Bottom Left",
round(self.loadcell_1_values[index], LABEL_NUMBER_PRECISION)],
["Top Left",
round(self.loadcell_2_values[index], LABEL_NUMBER_PRECISION)],
["Top Right",
round(self.loadcell_3_values[index], LABEL_NUMBER_PRECISION)],
["Bottom Right",
round(self.loadcell_4_values[index], LABEL_NUMBER_PRECISION)],

]

    if len(self.weight_values) > 0:
        txt = f"""\
<table border="0">
<tr>

```

```

        <td>X</td>
        <td></td>
        <td></td>
        <td>{round(mousePointX, LABEL_NUMBER_PRECISION) } ->
{round(index, LABEL_NUMBER_PRECISION) }</td>
    </tr>
    """
    for [x,y] in items:
        txt +=
f"<tr><td>{x}</td><td></td><td></td><td>{y}</td></tr>"

        txt+= "</table><span style='color: white'>-----
-----</span><br>"

    self.label.setText(txt)

# Esta clase (Widget) crea una interfaz gráfica que contiene un control
deslizante (Slider) y el widget
# de una ventana de gráficos. Además, establece una conexión entre el
deslizador y una función definida
# en un objeto de gestión de gráficos para actualizar el gráfico en
respuesta a los cambios en el deslizador.

class Widget(QWidget):
    def __init__(self, pm, parent=None):
        super(Widget, self).__init__(parent=parent)
        self.horizontalLayout = QHBoxLayout(self)

        self.w1 = Slider(0, 5)
        self.horizontalLayout.addWidget(self.w1)
        self.horizontalLayout.addWidget(pm.window)

self.w1.slider.valueChanged.connect(pm._updatePressurePlotViaSlider)

    # def update_plot(self):
    #     a = self.w1.x
    #     b = self.w2.x
    #     c = self.w3.x
    #     d = self.w4.x
    #     x = np.linspace(0, 10, 100)
    #     data = a + np.cos(x + c * np.pi / 180) * np.exp(-b * x) * d
    #     self.curve.setData(data)

app = QApplication(sys.argv)

# Esta función se encarga de la lectura y procesamiento continuo de datos
desde un dispositivo Arduino
# a través de la comunicación serial, decodifica estos datos y actualiza
un objeto PlotManager para
# reflejar esos datos en gráficos de peso y presión.

def serialReader(pm : PlotManager):
    """Reads from the arduino serial monitor, decodes message and updates
graph values"""

```

```

serial_reader = ArduinoReader()
success = serial_reader.bindPort()
if not success:
    print("Could not open serial port")
    return
else:
    print("Opened serial port ", serial_reader.port_name)
serial_reader.open()
while running:
    #Collect arduino message
    msg = serial_reader.read()
    if msg is None:
        continue
    data = decodeMsg(msg)

    if data is None:
        continue
    if data.reset:
        pm.scatter_spots = []
        pm.weight_timings = []
        pm.weight_values = []
        pm.loadcell_1_values = []
        pm.loadcell_2_values = []
        pm.loadcell_3_values = []
        pm.loadcell_4_values = []
    else:
        pm.weight_timings.append(data.time)
        pm.weight_values.append(data.weight)
        print(data)
        # pm.time_to_value_index[str(data.time)] =
len(pm.weight_timings) - 1
        pm.loadcell_1_values.append(data.l1)
        pm.loadcell_2_values.append(data.l2)
        pm.loadcell_3_values.append(data.l3)
        pm.loadcell_4_values.append(data.l4)
        pm.scatter_spots.append({'pos': [data.x,data.y], 'data':
data.time})
    if data.trigger:
        pm.addPistonTrigger(data.time)

        pm.updateWeightPlot()
        pm.updatePressurePlot()

# Este bloque de código inicializa los elementos de la interfaz gráfica,
# configura un
# hilo para la lectura de datos seriales en segundo plano, y luego muestra
# la interfaz
# gráfica al usuario, ejecutando el bucle principal de eventos de la
# aplicación para la
# interacción con el usuario. Cuando el usuario cierra la aplicación, se
# termina el
# hilo de lectura serial y el programa se cierra ordenadamente.

if __name__ == '__main__':
    # updatePressurePlot()      #init graph with default values
    # updateWeightPlot()      #init graph with default values

```

```
# running = False
pm = PlotManager()
w = Widget(pm)
running = True
pm.slider = w.w1
t = Thread(target=serialReader, args=[pm])
t.start()

pm.updatePressurePlot() #init graph with default values
pm.updateWeightPlot() #init graph with default values
w.show()
app.exec_()
running = False
sys.exit()
```



## V50 ... V53 Series, 3/2, 5/2 or 5/3 Solenoid actuated and pilot operated spool valve



- > Port size: 1/8 ... 1/2 (ISO G/NPT)
- > High flow in-line valves
- > Compact and robust design
- > Low power energy efficient solenoids
- > Flexible in-line and manifold mounting options



### Technical features

**Medium:**

Compressed air, filtered (40 µm) lubricated or non lubricated

**Operation:**

Softseal spool valve, solenoid and pilot actuated

**Port size:**

1/8, 1/4, 3/8, 1/2

**Mounting position:**

In-line or sub-base

**Operating pressure:**

Details of minimum and maximum pressure see overleaf.

**Flow:**

See tables overleaf

**Ambient/Media temperature:**

Pilot models: -5°C ... +60°C (+23 ... +140 °F)

Solenoid models:

-5°C ... +50°C (+23 ... +122 °F);  
Air supply must be dry enough to avoid ice formation at temperatures below +2°C (+35 °F).

**Materials:**

Body/sub-base: die-cast aluminium alloy or aluminium alloy, white painted  
Softseal spool: NBR/aluminium alloy  
Mounting sheets/screws: steel  
Springs: stainless steel

### Electrical details for solenoid operators

<b>Voltage tolerance</b>	± 10%
<b>Rating</b>	100% continuous duty
<b>Inlet orifice</b>	0,6 mm; V50 0,8 mm; V51 ... V53
<b>Electrical connection (corresponding to chosen coil)</b>	EN 175301-803 - Form C; 15 mm; V50 Industrial Standard; 22 mm; V51 ... V53
<b>Solenoid coil mounting</b>	Four positions x 90°
<b>Manual override</b>	Push and turn to lock (plastic)
<b>Protection class</b>	IP 65 (with sealed plug)



Our policy is one of continued research and development. We therefore reserve the right to amend, without notice, the specifications given in this document. (2008 - 5049d) © 2015 Norgren GmbH

08/22  
en 5.3.080.01



**Technical data, 3/2 and 5/2 way valves, solenoid actuated, standard models**

Symbol	Function	Port size	Actuation/return	Pilot supply	Operating pressure (bar)	Flow (l/min)	Manual override	Weight (kg)	Drawing No.	Model *1)
	3/2	G1/8	Solenoid/air	Internal	2...8	480	Push & turn	0,120	1	V50A413A-A2
	3/2	G1/4	Solenoid/spring	Internal	2...8	1020	Push & turn	0,203	2	V51B417A-A2
	3/2	G3/8	Solenoid/spring	Internal	2...8	1705	Push & turn	0,350	2	V52C417A-A2
	3/2	G1/2	Solenoid/spring	Internal	2...8	2480	Push & turn	0,353	2	V53D417A-A2
	3/2	G1/8	Solenoid/solenoid	Internal	2...8	480	Push & turn	0,172	3	V50A411A-A2
	3/2	G1/4	Solenoid/solenoid	Internal	2...8	1020	Push & turn	0,296	4	V51B411A-A2
	3/2	G3/8	Solenoid/solenoid	Internal	2...8	1705	Push & turn	0,439	4	V52C411A-A2
	3/2	G1/2	Solenoid/solenoid	Internal	2...8	2480	Push & turn	0,437	4	V53D411A-A2
	5/2	G1/8	Solenoid/air	Internal	2...8	480	Push & turn	0,124	5	V50A513A-A2
	5/2	G1/4	Solenoid/spring	Internal	2...8	1020	Push & turn	0,184	6	V51B517A-A2
	5/2	G3/8	Solenoid/spring	Internal	2...8	1705	Push & turn	0,293	6	V52C517A-A2
	5/2	G1/2	Solenoid/spring	Internal	2...8	2480	Push & turn	0,303	6	V53D517A-A2
	5/2	G1/8	Solenoid/solenoid	Internal	2...8	480	Push & turn	0,176	7	V50A511A-A2
	5/2	G1/4	Solenoid/solenoid	Internal	2...8	1020	Push & turn	0,292	8	V51B511A-A2
	5/2	G3/8	Solenoid/solenoid	Internal	2...8	1705	Push & turn	0,452	8	V52C511A-A2
	5/2	G1/2	Solenoid/solenoid	Internal	2...8	2480	Push & turn	0,190	8	V53D511A-A2

\*1) Insert coil code from below tables.

**Technical data, 5/3 way valves, solenoid actuated, standard models**

Symbol	Function	Port size	Mid position	Actuation/return	Pilot supply	Operating pressure (bar)	Flow (l/min)	Manual override	Weight (kg)	Drawing No.	Model *1)
	5/3	G1/8	APB	Solenoid/solenoid	Internal	3...8	270	Push & turn	0,338	9	V50A611A-A2
	5/3	G1/4	APB	Solenoid/solenoid	Internal	3...8	755	Push & turn	0,387	10	V51B611A-A2
	5/3	G3/8	APB	Solenoid/solenoid	Internal	3...8	1190	Push & turn	0,565	11	V52C611A-A2
	5/3	G1/2	APB	Solenoid/solenoid	Internal	3...8	1910	Push & turn	0,634	11	V53D611A-A2
	5/3	G1/8	COE	Solenoid/solenoid	Internal	3...8	270	Push & turn	0,338	9	V50A711A-A2
	5/3	G1/4	COE	Solenoid/solenoid	Internal	3...8	755	Push & turn	0,387	10	V51B711A-A2
	5/3	G3/8	COE	Solenoid/solenoid	Internal	3...8	1190	Push & turn	0,565	11	V52C711A-A2
	5/3	G1/2	COE	Solenoid/solenoid	Internal	3...8	1910	Push & turn	0,634	11	V53D711A-A2
	5/3	G1/8	COP	Solenoid/solenoid	Internal	3...8	270	Push & turn	0,338	9	V50A811A-A2
	5/3	G1/4	COP	Solenoid/solenoid	Internal	3...8	755	Push & turn	0,387	10	V51B811A-A2
	5/3	G3/8	COP	Solenoid/solenoid	Internal	3...8	1190	Push & turn	0,565	11	V52C811A-A2
	5/3	G1/2	COP	Solenoid/solenoid	Internal	3...8	1910	Push & turn	0,634	11	V53D811A-A2

\*1) Insert coil code from below tables.

APB = All Ports Blocked; COE = Centre Open Exhaust; COP = Centre Open Pressure

**Voltage codes and spare coils**

**V50 series only**

15 mm coil for connector interface acc. EN 175 301-803, form C				
	Voltage	Power Inrush/Hold	Model	Code
	12 V d.c.	2,9 W	V12958-A12	12A
	24 V d.c.	2,9 W	V12958-A13	13A
	110/120 V 50/60 Hz	3,7/3,1 VA	V12958-A18	18A
	220/240 V 50/60 Hz	3,7/3,1 VA	V12958-A19	19A

**V51 ... V53 series**

22 mm coil for connector interface acc. to industrial standard				
	Voltage	Power Inrush/Hold	Model	Code
	12 V d.c.	2 W	GM/48/12/J/21	12J
	24 V d.c.	2 W	GM/48/13/J/21	13J
	110/120 V 50/60 Hz	4/2,5 VA	GM/48/18/J/21	18J
	220/240 V 50/60 Hz	6/5 VA	GM/48/19/J/21	19J

**Connector plugs - include of delivery**

15 mm, EN 175301-803 (DIN 43650 B) Form C 2-pole + PE	Industrial standard 22 mm 2-pole + PE
V10027-D00	0657868



Option selector

V5\*\*\*1\*A-A2\*\*\*

Thread size	Substitute
1/8"	0
1/4"	1
3/8"	2
1/2"	3
Thread	Substitute
G 1/8	A
G 1/4	B
G 3/8	C
G 1/2	D
NPT-Thread	Substitute
1/8 NPT	P
1/4 NPT	R
3/8 NPT	S
1/2 NPT	T

Voltage (Series V50)	Substitute
12 V d.c. 29 W	12A
24 V d.c. 29 W	13A
110/120 V a.c. (50/60 Hz) 37/31 VA	18A
220/240 V a.c. (50/60 Hz) 37/31 VA	19A
Voltage (Series V51 ... V53)	Substitute
12 V d.c. 2 W	12J
24 V d.c. 2 W	13J
110/120 V a.c. (50/60 Hz) 4/2.5 VA	18J
220/240 V a.c. (50/60 Hz) 6/5 VA	19J
Actuation	Substitute
Solenoid/air	3
Solenoid/spring	7
Solenoid/solenoid	1
Function	Substitute
3/2 Normally closed	4
5/2	5
5/3 All ports blocked	6
5/3 Centre open exhaust	7
5/3 Centre open pressure	8



Technical data, 3/2 or 5/2 way valves, pilot actuated, standard models

Symbol	Function	Port size	Pilot	Return	Operating pressure (bar)	Pilot pressure (bar)	Flow (l/min)	Weight (kg)	Drawing No.	Model	
	3/2	G1/8	Air	Air spring	0...8	15...8	480	0,061	12	V50A4D3A-XA090	
	3/2	G1/4	Air	Spring	0...8	15...8	1020	0,122	13	V51B4D7A-XA090	
	3/2	G3/8	Air	Spring	0...8	2...8	1705	0,295	13	V52C4D7A-XA090	
	3/2	G1/2	Air	Spring	0...8	2...8	2480	0,300	13	V53D4D7A-XA090	
	3/2	G1/8	Air	Air	0...8	15...8	480	0,074	14	V50A4DDA-XA020	
	3/2	G1/4	Air	Air	0...8	15...8	1020	0,134	15	V51B4DDA-XA020	
	3/2	G3/8	Air	Air	0...8	2...8	1705	0,324	15	V52C4DDA-XA020	
	3/2	G1/2	Air	Air	0...8	2...8	2480	0,326	15	V53D4DDA-XA020	
	5/2	G1/8	Air	Air spring	0...8	15...8	480	0,071	16	V50A5D3A-XA090	
		5/2	G1/4	Air	Spring	0...8	15...8	1020	0,106	17	V51B5D7A-XA090
		5/2	G3/8	Air	Spring	0...8	2...8	1705	0,236	17	V52C5D7A-XA090
5/2		G1/2	Air	Spring	0...8	2...8	2480	0,275	17	V53D5D7A-XA090	
	5/2	G1/8	Air	Air	0...8	15...8	480	0,084	18	V50A5DDA-XA020	
	5/2	G1/4	Air	Air	0...8	15...8	1020	0,134	19	V51B5DDA-XA020	
	5/2	G3/8	Air	Air	0...8	2...8	1705	0,236	19	V52C5DDA-XA020	
	5/2	G1/2	Air	Air	0...8	2...8	2480	0,750	19	V53D5DDA-XA020	

Technical data, 5/3 way valves, pilot actuated, standard models

Symbol	Function	Port size	Pilot	Mid position	Return	Operating pressure (bar)	Pilot pressure (bar)	Flow (l/min)	Weight (kg)	Drawing No.	Model
	5/3	G1/8	Air	APB	Air	0...8	15...8	270	0,095	20	V50A6DDA-XA020
	5/3	G1/4	Air	APB	Air	0...8	15...8	755	0,179	21	V51B6DDA-XA020
	5/3	G3/8	Air	APB	Air	0...8	2...8	1190	0,301	22	V52C6DDA-XA020
	5/3	G1/2	Air	APB	Air	0...8	2...8	1910	0,338	22	V53D6DDA-XA020
	5/3	G1/8	Air	COE	Air	0...8	15...8	270	0,095	20	V50A7DDA-XA020
	5/3	G1/4	Air	COE	Air	0...8	15...8	755	0,179	21	V51B7DDA-XA020
	5/3	G3/8	Air	COE	Air	0...8	2...8	1190	0,301	22	V52C7DDA-XA020
	5/3	G1/2	Air	COE	Air	0...8	2...8	1910	0,338	22	V53D7DDA-XA020
	5/3	G1/8	Air	COP	Air	0...8	15...8	270	0,095	20	V50A8DDA-XA020
	5/3	G1/4	Air	COP	Air	0...8	15...8	755	0,179	21	V51B8DDA-XA020
	5/3	G3/8	Air	COP	Air	0...8	2...8	1190	0,301	22	V52C8DDA-XA020
	5/3	G1/2	Air	COP	Air	0...8	2...8	1910	0,338	22	V53D8DDA-XA020

APB = All Ports Blocked; COE = Centre Open Exhaust; COP = Centre Open Pressure

Option selector

**V5\*\*\*D\*A-X\*0\*0**

<b>Thread size</b>	Substitute	<b>Air function</b>	Substitute
1/8"	0	Pilot operated/pilot return	2
1/4"	1	Pilot operated/spring return	9
3/8"	2	<b>Pilot port thread</b>	Substitute
1/2"	3	G 1/8	A
<b>Thread</b>	Substitute	1/8 NPT	P
G 1/8	A	<b>Return</b>	Substitute
G 1/4	B	Air spring	3
G 3/8	C	Spring	7
G 1/2	D	Air	D
<b>NPT-Thread</b>	Substitute	<b>Function</b>	Substitute
1/8 NPT	P	3/2 Normally closed	4
1/4 NPT	R	5/2	5
3/8 NPT	S	5/3 All ports blocked	6
1/2 NPT	T	5/3 Centre open exhaust	7
		5/3 Centre open pressure	8



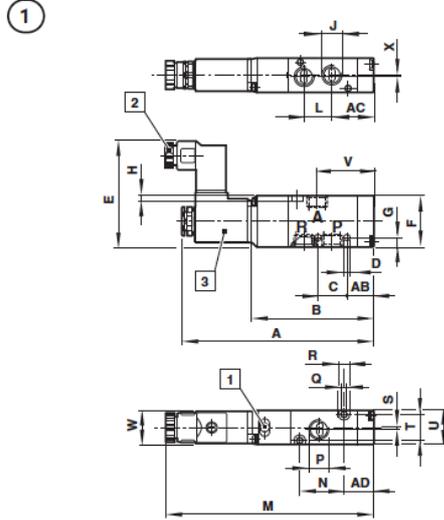
**Manifold system and blanking plates**

Manifold for 3 port valves			Blanking plate for 3 port valves	Manifold for 5 port valves		Blanking plate for 5 port valves
For valve series	Page 14 ISO G thread	NPT thread	Page 15	Page 14 ISO G thread	NPT thread	Page 15
V50 (1/8")	V50A3*1)	V50P3*1)	V500351	V50A5*1)	V50P5*1)	V500551
V51 (1/4")	V51B3*1)	V51R3*1)	V510351	V51B5*1)	V51R5*1)	V510551
V52 (3/8")	V52C3*1)	V52S3*1)	V520351	V52C5*1)	V52S5*1)	V520551
V53 (1/2")	V53D3*1)	V53T3*1)	V530351	V53D5*1)	V53T5*1)	V530551

\*1) Number of station 02 ... 09 for 2 ... 9 stations  
 Number of station 10 for 10 stations



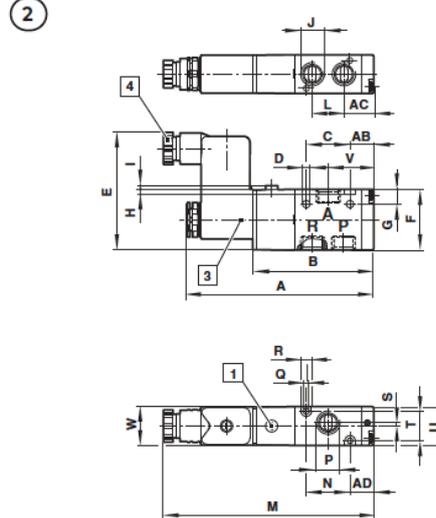
**3/2 Single solenoid pilot valve, 1/8" port  
Air return**



- 1 Manual override (Push and Turn)
- 2 Gland size Pg 7

**3/2 Single solenoid pilot valve,  
1/4"... 1/2" ports  
Spring return**

Dimensions in mm  
Projection/First angle

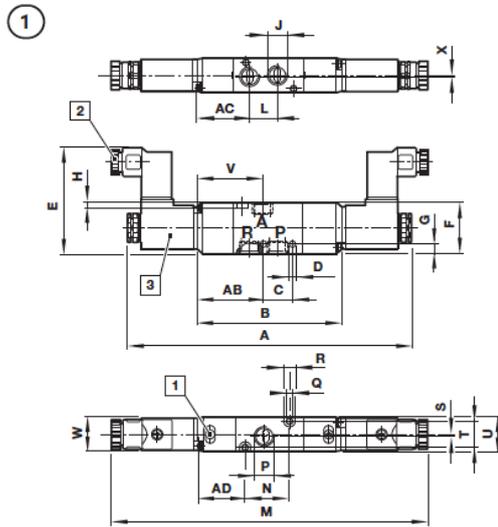


- 3 Solenoid rotates 2 x 180° (V50), 4 x 90° (V51 ... V53)
- 4 Gland size Pg 9

Series	Drawing	A	AB	AC	AD	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
V50	1	99,5	13,5	21,5	15,5	65	15	3,2	55,5	27	5	3	—	1/8"	14,5	108	23	1/8"	3,2	6	1	13	18	29,5	16	0,5
V51	2	106,5	13,5	17	13,5	69	25	4,2	67	35	8,5	3	3	1/4"	18	120	25	1/4"	3,2	6	2	17	22,5	26	22	—
V52	2	126,5	13	26	15	89	26	4,5	73	46,5	39,5	4	3	3/8"	26	139,5	41	3/8"	4,5	8	—	23	30	41	22	—
V53	2	133	12,5	27	15	96	29	4,5	73	46,5	39,5	4	3	1/2"	29	146	48	1/2"	4,2	8	2,5	23	30	40,5	22	—



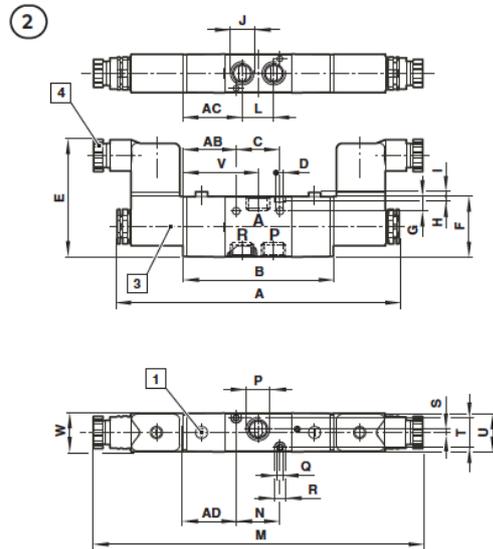
3/2 Double solenoid pilot valve, 1/8" port



- 1 Manual override (Push and Turn)
- 2 Gland size Pg 7

3/2 Double solenoid pilot valve, 1/4"... 1/2" ports

Dimensions in mm  
Projection/First angle

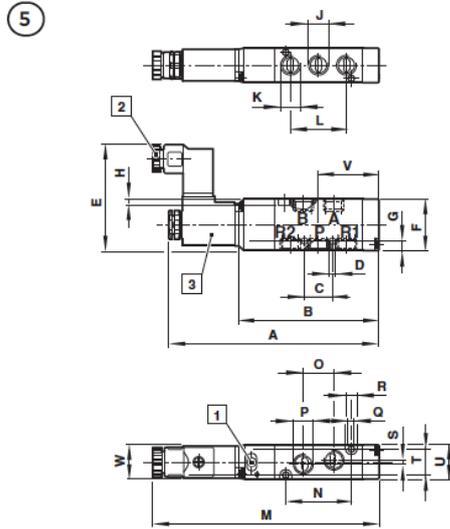


- 3 Solenoid rotates 2 x 180° (V50), 4 x 90° (V51 ... V53)
- 4 Gland size Pg 9

Series	Drawing	A	AB	AC	AD	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
V50	3	144,5	36,5	29	27	76,5	15	3,2	55,5	27	5	3	—	1/8"	14,5	161,5	23	1/8"	3,2	6	1	13	18	35,5	16	0,5
V51	4	144,5	30,5	34	30,5	86	25	4,2	67	35	8,5	3	3	1/4"	18	188	25	1/4"	3,2	6	2	17	22,5	43	22	—
V52	4	182	31	44	33	107	26	4,5	73	46,5	39,5	4	3	3/8"	26	208	41	3/8"	4,5	8	—	23	30	59	22	—
V53	4	188	30,5	45	33	114	29	4,5	73	46,5	39,5	4	3	1/2"	29	214	48	1/2"	4,2	8	2,5	23	30	58,5	22	—



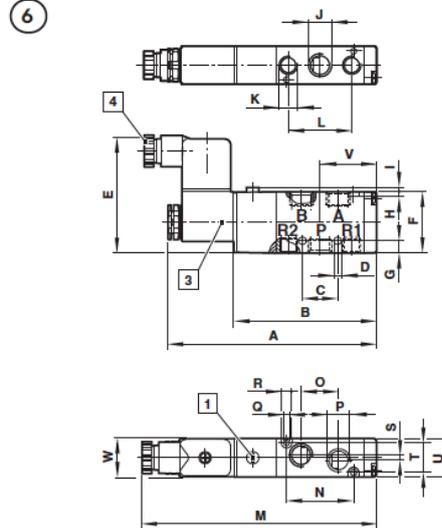
**5/2 Single solenoid pilot valve, 1/8" port  
Air return**



- 1 Manual override (Push and Turn)
- 2 Gland size Pg 7

**5/2 Single solenoid pilot valve,  
1/4"... 1/2" ports  
Spring return**

Dimensions in mm  
Projection/First angle

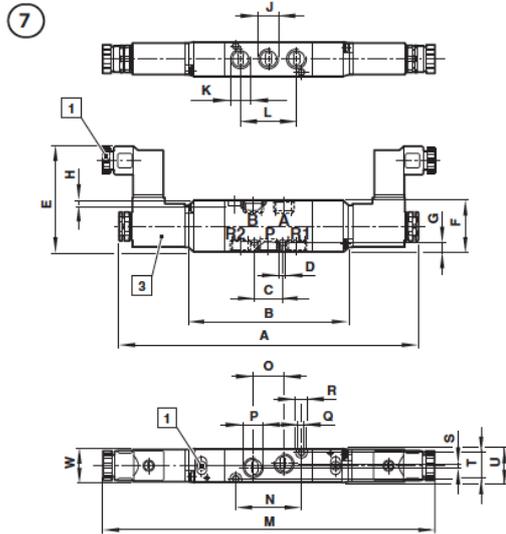


- 3 Solenoid rotates 2 x 180° (V50), 4 x 90° (V51 ... V53)
- 4 Gland size Pg 9

Series	Drawing	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
V50	5	110	76	14,5	3,2	54	27	5	3	—	1/8"	1/8"	29	118,5	34	16	1/8"	3,2	6	2	13	18	32,5	16
V51	6	118,5	81	20	4,2	67	35	7	3	3	1/4"	1/8"	36	132	38	21	1/4"	3,2	6	3	17	22,5	32	22
V52	6	145,5	108	26	5,5	73	46,5	4,5	4	3	3/8"	3/8"	52	158,5	13	30	3/8"	4,5	8	—	23	30	45	22
V53	6	157	120	29	4,5	73	46,5	7	4	3	1/2"	1/2"	58	170	72	28	1/2"	4,2	8	4,5	23	30	51	22



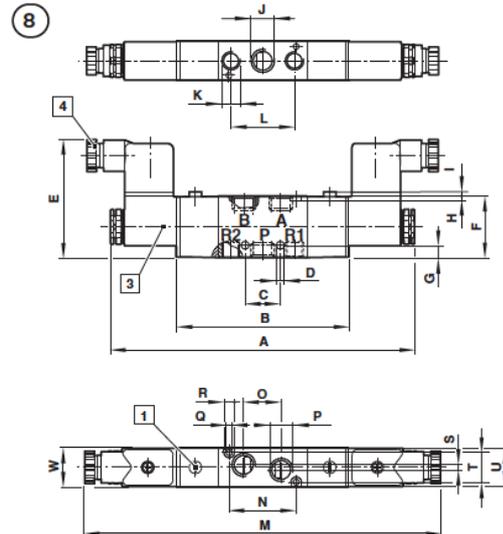
5/2 Double solenoid pilot valve, 1/8" port



- 1 Manual override (Push and Turn)
- 2 Gland size Pg 7

5/2 Double solenoid pilot valve, 1/4" ... 1/2" ports

Dimensions in mm  
Projection/First angle

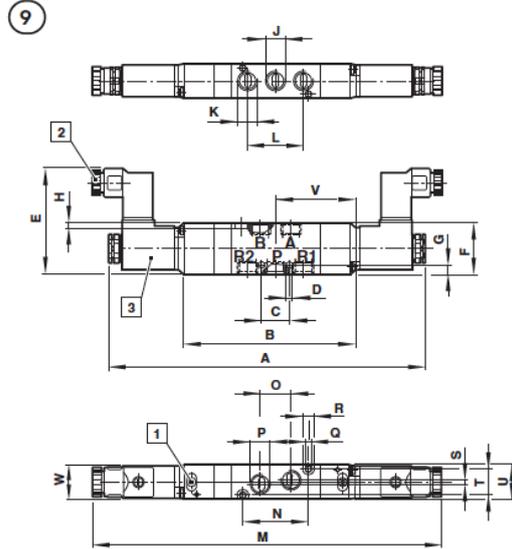


- 3 Solenoid rotates 2 x 180° (V50), 4 x 90° (V51 ... V53)
- 4 Gland size Pg 9

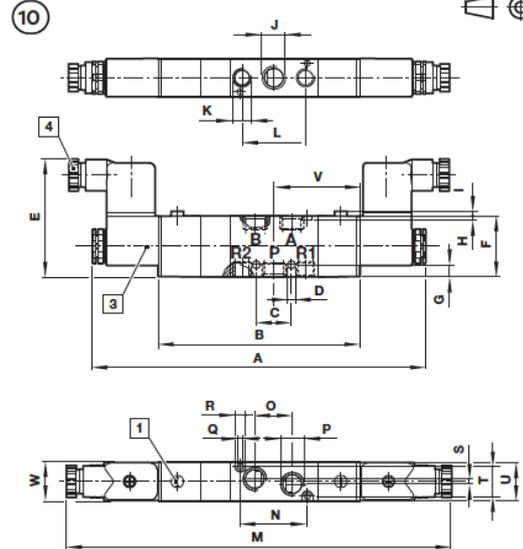
Series	Drawing	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	W
V50	7	155	87	14,5	3,2	55	27	5	3	—	1/8"	1/8"	29	172	34	16	1/8"	3,2	6	2	13	18	16
V51	8	173	98	20	4,2	67	35	7	3	3	1/4"	1/8"	36	200	38	21	1/4"	3,2	6	3	17	22,5	22
V52	8	201	126	26	5,5	73	46,5	4,5	4	3	3/8"	3/8"	52	228	13	30	3/8"	4,5	8	—	23	30	22
V53	8	212	138	29	4,5	73	46,5	7	4	3	1/2"	1/2"	58	238	72	28	1/2"	4,2	8	4,5	23	30	22



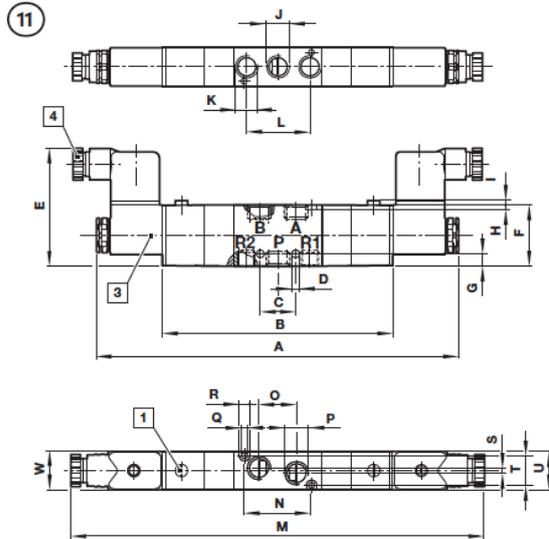
5/3 Double solenoid pilot valve, 1/8" port



5/3 Double solenoid pilot valve, 1/4" port Dimensions in mm  
Projection/First angle



5/3 Double solenoid pilot valve, 3/8" and 1/2" ports



- 1 Manual override (Push and Turn)
- 2 Gland size Pg 7
- 3 Solenoid rotates 2 x 180° (V50), 4 x 90° (V51 ... V53)
- 4 Gland size Pg 9

Series	Drawing	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
V50	9	164	96	14,5	3,2	55	27	5	3	—	1/8"	1/8"	29	181	34	16	1/8"	3,2	6	2	13	18	43,5	16
V51	10	194	119	20	4,2	67	35	7	3	3	1/4"	1/8"	36	221	38	21	1/4"	3,2	6	3	17	22,5	48,5	22
V52	11	254,5	179,5	26	5,5	73	46,5	4,5	4	3	3/8"	3/8"	52	281,5	13	30	3/8"	4,5	8	—	23	30	—	22
V53	11	265,5	191,5	29	4,5	73	46,5	7	4	3	1/2"	1/2"	58	291,5	72	28	1/2"	4,2	8	4,5	23	30	—	22

en 5.3.080.10

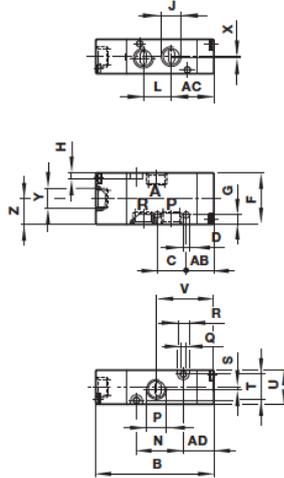
Our policy is one of continued research and development. We therefore reserve the right to amend, without notice, the specifications given in this document. (2008 - 5049d) © 2015 Norgren GmbH

08/22



**3/2 Single air pilot valve, 1/8" port**  
Air spring return

12

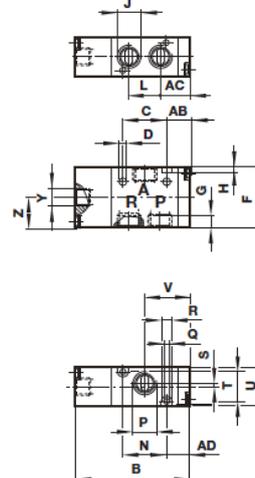


**3/2 Single air pilot valve, 1/4"... 1/2" ports**  
Spring return

Dimensions in mm  
Projection/First angle



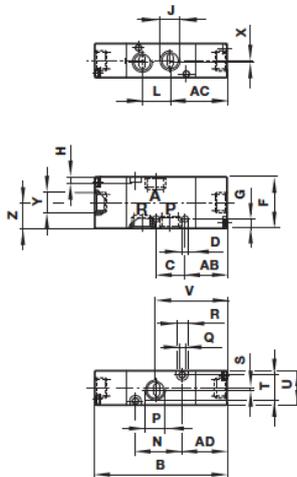
13



Series	Drawing	AB	AC	AD	B	C	D	F	G	H	J	L	N	P	Q	R	S	T	U	V	X	Y	Z
V50	12	13,5	21,5	15,5	61,5	15	3,2	27	5	3	1/8"	14,5	23	1/8"	3,2	6	1	13	18	29,5	0,5	1/8"	13,5
V51	13	13,5	17	13,5	65,5	25	4,2	35	8,5	3	1/4"	18	25	1/4"	3,2	6	2	17	22,5	26	-	1/8"	17,5
V52	13	13	26	15	87	26	4,5	46,5	39,5	4	3/8"	26	41	3/8"	4,5	8	-	23	30	41	-	1/8"	17
V53	13	12,5	27	15	94	29	4,5	46,5	39,5	4	1/2"	29	48	1/2"	4,2	8	2,5	23	30	40,5	-	1/8"	17

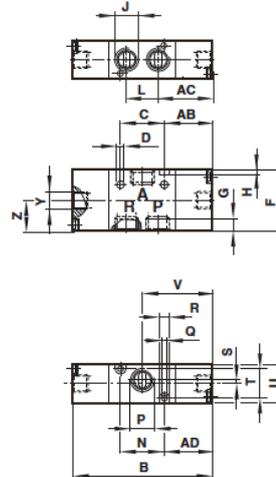
**3/2 Double air pilot valve, 1/8" port**

14



**3/2 Double air pilot valve, 1/4"... 1/2" ports**

15

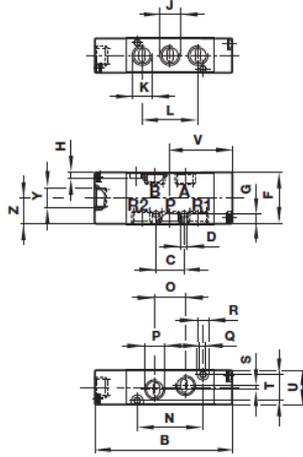


Series	Drawing	AB	AC	AD	B	C	D	F	G	H	J	L	N	P	Q	R	S	T	U	V	X	Y	Z
V50	14	13,5	21,5	15,5	69	15	3,2	27	5	3	1/8"	14,5	23	1/8"	3,2	6	1	13	18	29,5	0,5	1/8"	13,5
V51	15	13,5	17	13,5	79	25	4,2	35	8,5	3	1/4"	18	25	1/4"	3,2	6	2	17	22,5	26	-	1/8"	17,5
V52	15	13	26	15	103	26	4,5	46,5	39,5	4	3/8"	26	41	3/8"	4,5	8	-	23	30	41	-	1/8"	17
V53	15	12,5	27	15	110	29	4,5	46,5	39,5	4	1/2"	29	48	1/2"	4,2	8	2,5	23	30	40,5	-	1/8"	17



**5/2 Single air pilot valve, 1/8" port  
Air spring return**

16

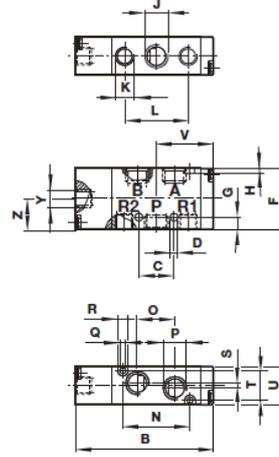


**5/2 Single air pilot valve, 1/4"... 1/2" ports  
Spring return**

Dimensions in mm  
Projection/First angle



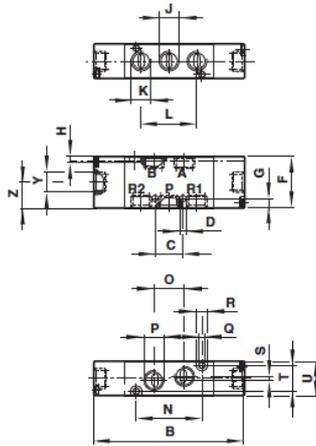
17



Series	Drawing	B	C	D	F	G	H	J	K	L	N	L	O	P	Q	R	S	T	U	V	Y	Z	Z
V50	16	72,5	14,5	3,2	27	5	3	1/8"	1/8"	29	34	14,5	16	1/8"	3,2	6	2	13	18	32,5	1/8"	13,5	13,5
V51	17	77,5	20	4,2	35	7	3	1/4"	1/8"	36	38	18	21	1/4"	3,2	6	3	17	22,5	32	1/8"	17,5	17,5
V52	17	106	26	5,5	46,5	4,5	4	3/8"	3/8"	52	13	26	30	3/8"	4,5	8	-	23	30	45	1/8"	17	17
V53	17	118	29	4,5	46,5	7	4	1/2"	1/2"	58	72	29	28	1/2"	4,2	8	4,5	23	30	51	1/8"	17	17

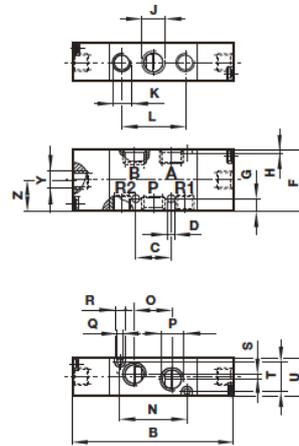
**5/2 Double air pilot valve, 1/8" port**

18



**5/2 Double air pilot valve, 1/4"... 1/2" ports**

19

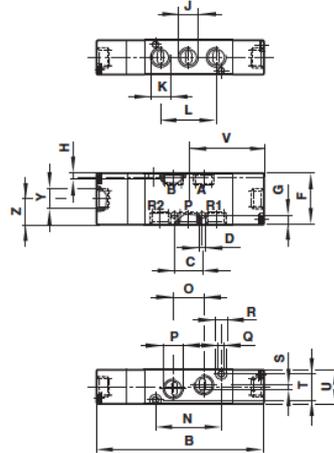


Series	Drawing	B	C	D	F	G	H	J	K	L	N	O	P	Q	R	S	T	U	Y	Z
V50	18	80	14,5	3,2	27	5	3	1/8"	1/8"	29	34	16	1/8"	3,2	6	2	13	18	1/8"	13,5
V51	19	91	20	4,2	35	7	3	1/4"	1/8"	36	38	21	1/4"	3,2	6	3	17	22,5	1/8"	17,5
V52	19	122	26	5,5	46,5	4,5	4	3/8"	3/8"	52	13	30	3/8"	4,5	8	-	23	30	1/8"	17
V53	19	134	29	4,5	46,5	7	4	1/2"	1/2"	58	72	28	1/2"	4,2	8	4,5	23	30	1/8"	17



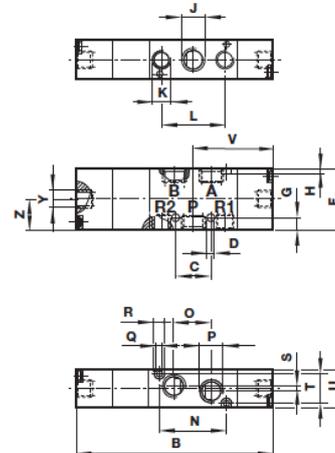
5/3 Double air pilot valve, 1/8" port

20



5/3 Double air pilot valve, 1/4" port

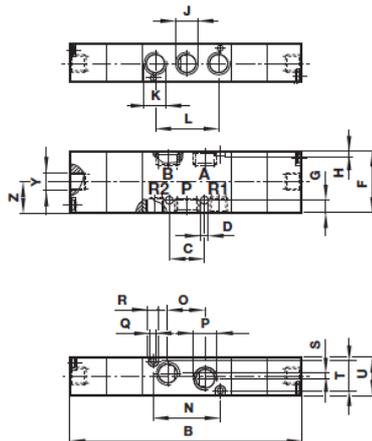
21



Dimensions in mm  
Projection/First angle

5/3 Double air pilot valve, 3/8" and 1/2" ports

22



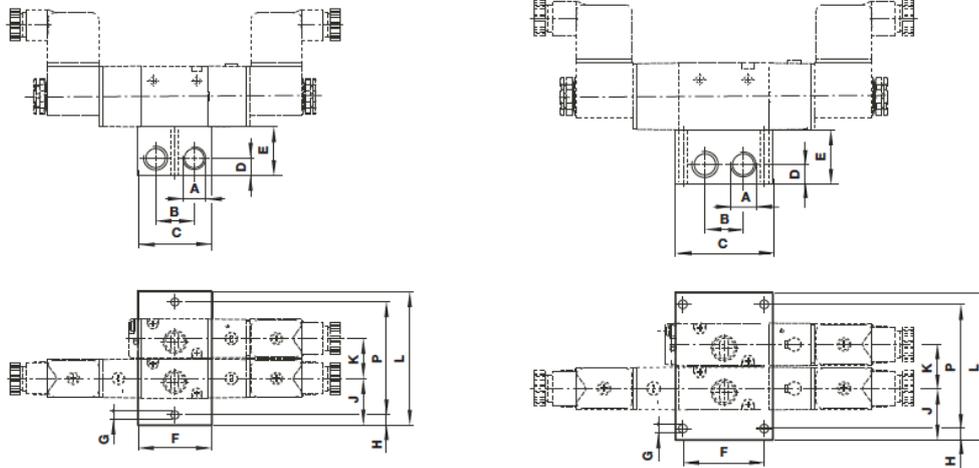
Series	Drawing	B	C	D	F	G	H	J	K	L	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	Y	Z
V50	20	89	14,5	3,2	27	5	3	1/8	1/8"	29	34	16	1/8"	3,2	6	2	13	18	40	1/8"	13,5
V51	21	112	20	4,2	35	7	3	1/4	1/8"	36	38	21	1/4"	3,2	6	3	17	22,5	45,5	1/8"	17,5
V52	22	175,5	26	5,5	46,5	4,5	4	3/8	3/8"	52	13	30	3/8"	4,5	8	-	23	30	87,5	1/8"	17
V53	22	187,5	29	4,5	46,5	7	4	1/2	1/2"	58	72	28	1/2"	4,2	8	4,5	23	30	93,5	1/8"	17



**Manifold system, 3/2 valves  
for V50 and V51**

**for V52 and V53**

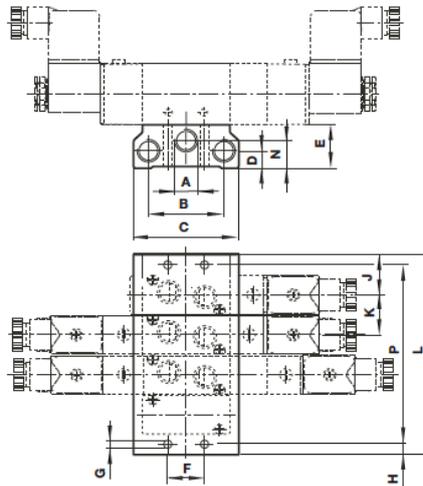
Dimensions in mm  
Projection/First angle



Series	A	B	C	D	E	ØG	H	J	K	L	P	Weight (kg)
V50	1/4"	22	42	10	28	4,5	5	19	19	19 + (N x 19)	9 + (N x 19)	0,05 + (N x 0,05)
V51	1/4"	22	42	10	28	4,5	6	27	23	31 + (N x 23)	19 + (N x 23)	0,08 + (N x 0,06)
V52	3/8"	26	66	11,5	27	4,5	5	25	31	19 + (N x 31)	9 + (N x 31)	0,06 + (N x 0,11)
V53	1/2"	30	72	15	32	4,5	5	25	31	19 + (N x 31)	9 + (N x 31)	0,07 + (N x 0,14)

N = Number of stations 2 ... 10

**Manifold system, 5/2 and 5/3 valves**

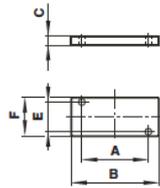


Series	A	B	C	D	E	F	ØG	H	J	K	L	P	Weight (kg)
V50	1/4"	40	58	11	25	20	4,5	5	19	19	19 + (N x 19)	9 + (N x 19)	0,04 + (N x 0,04)
V51	1/4"	43	60	10	25	21	4,5	6	23	23	23 + (N x 23)	11 + (N x 23)	0,07 + (N x 0,06)
V52	3/8"	61	84	12	27	30	4,5	5	25	31	19 + (N x 31)	9 + (N x 31)	0,06 + (N x 0,09)
V53	1/2"	58	96	13	30	30	4,5	5	25	31	19 + (N x 31)	9 + (N x 31)	0,08 + (N x 0,15)

N = Number of stations 2 ... 10



Blanking plate



Dimensions in mm  
Projection/First angle

For Function	Valve port size	A	B	C	E	F	Weight (kg)	Model
3/2	1/8	23	35	2	13	18	0,01	V500351
3/2	1/4	25	38	2	17	22,5	0,02	V510351
3/2	3/8	41	55	2	23	30	0,03	V520351
3/2	1/2	48	62	2	23	30	0,06	V530351
5/2	1/8	34	43	2	13	18	0,01	V500551
5/2	1/4	38	50	2	17	22,5	0,02	V510551
5/2	3/8	43	54	2	23	30	0,03	V520551
5/2	1/2	50	62	2	23	30,5	0,08	V530551

**Warning**

These products are intended for use in industrial compressed air systems only. Do not use these products where pressures and temperatures can exceed those listed under »**Technical features/ data**«.

Before using these products with fluids other than those specified, for non-industrial applications, life-support systems or other applications not within published specifications, consult Norgren.

Through misuse, age, or malfunction, components used in fluid power systems can fail in various modes.

The system designer is warned to consider the failure modes of all component parts used in fluid power systems and to provide adequate safeguards to prevent personal injury or damage to equipment in the event of such failure.

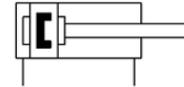
System designers must provide a warning to end users in the system instructional manual if protection against a failure mode cannot be adequately provided.

System designers and end users are cautioned to review specific warnings found in instruction sheets packed and shipped with these products.

## Cilindro normalizado DSNU-25-15-P-A

Número de artículo: 1908305

FESTO



General operating condition

### Hoja de datos

Característica	Valor
Carrera	15 mm
Diámetro del émbolo	25 mm
Rosca del vástago	M10x1,25
Amortiguación	Amortiguación por topes elásticos/placas en ambos lados
Posición de montaje	Cualquiera
Conforme a la norma	CETOP RP 52 P ISO 6432
Extremo del vástago	Rosca exterior
Forma constructiva	Émbolo Vástago Camisa del cilindro
Detección de posición	Para sensor de proximidad
Símbolo	00991217
Variantes	Vástago simple
Presión de funcionamiento	0.1 MPa ... 1 MPa
Presión de funcionamiento	1 bar ... 10 bar
Modo de funcionamiento	Doble efecto
Medio de funcionamiento	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Nota sobre el medio de trabajo/mando	Admite funcionamiento con lubricación (lo cual requiere seguir utilizándolo)
Clase de resistencia a la corrosión CRC	2 - riesgo de corrosión moderado
Conformidad PWIS	VDMA24364-B1/B2-L
Clase de sala limpia	Clase 6 según ISO 14644-1
Temperatura ambiente	-20 °C ... 80 °C
Energía de impacto en las posiciones finales	0.3 J
Fuerza teórica con 6 bar, retorno	247.4 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	294.5 N
Masa móvil con carrera de 0 mm	71 g
Aumento masa móvil por 10 mm de carrera	6 g
Peso básico con carrera de 0 mm	238 g
Peso adicional por 10 mm de carrera	11 g
Tipo de fijación	Con accesorios
Conexión neumática	G1/8
Nota sobre el material	Conformidad con la Directiva RoHS
Material de la tapa	Aleación de forja de aluminio Anodizado incoloro

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Material de las juntas	NBR TPE-U (PU)
Material del vástago	Acero inoxidable de alta aleación
Material de la camisa del cilindro	Acero inoxidable de alta aleación



- Aluminium-Alloy IP65 single point load cell
- Colourless anodized

- Suitable for single or double load cell structured platform scales
- Maximum platform size: 350 x 400 mm

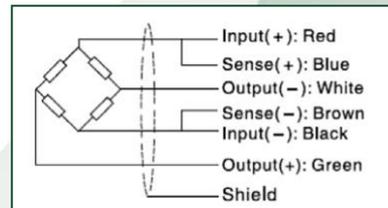
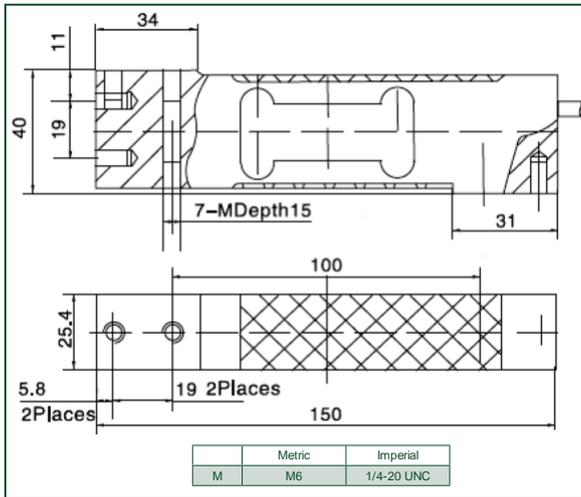
Capacity	Accuracy	Part-Number
3 kg	C3	AL6N-C3-3kg-3B6
5 kg	C3	AL6N-C3-5kg-3B6
8 kg	C3	AL6N-C3-8kg-3B6
10 kg	C3	AL6N-C3-10kg-3B6
15 kg	C3/C4	AL6N-Cx-15kg-3B6
20 kg	C3/C4	AL6N-Cx-20kg-3B6
30 kg	C3/C4	AL6N-Cx-30kg-3B6
50 kg	C3/C4	AL6N-Cx-50kg-3B6
75 kg	C3/C4	AL6N-Cx-75kg-3B6
100 kg	C3	AL6N-C3-100kg-3B6



OIML test certif cate no. D09-06.11 Revision 1  
 OIML C of C no. R60/2000-CNI-06.04  
 NTEP certif cate no. 11-055



Accuracy class		OIML R60 C3	OIML R60 C4
Output sensitivity (= FS)	mV/V	2.0 ± 0.002	
Maximum capacity (E <sub>max</sub> )	kg	3, 5, 8, 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100	15, 20, 30, 50, 75
Maximum number of load cell intervals (n <sub>LC</sub> )		3000	4000
Ratio of minimum LC verification interval Y = E <sub>min</sub> / v <sub>min</sub>		12000	20000
Minimum Dead Load Output Return (Z = 1/2 * E <sub>max</sub> / DR)		4000	
Combined Error	%FS	≤ ± 0.0230	≤ ± 0.0175
Minimum dead load	kg	0	
Safe overload	of E <sub>max</sub>	150%	
Ultimate overload	of E <sub>max</sub>	300 %	
Zero balance	of FS	≤ ± 2.0 %	
Excitation, recommended voltage	V	5 - 12	
Excitation maximum	V	18	
Terminal resistance, input	Ω	409 ± 6	
Terminal resistance, output	Ω	350 ± 3	
Insulation impedance	MΩ	≥ 5000 (at 50VDC)	
Temperature range, compensated	°C	-10 ~ +40	
Temperature range, operating	°C	-35 ~ +65	
Element material		Aluminium	
Recommended torque on fixation bolts	Nm	10	
Ingress Protection (according to EN 60529)		IP65	



- Adopt a shielded, 6 conductor cable and cable jacket is PVC
- Cable length: 3.0 +/- 0.05 mm
- Cable diameter: 5.0 +/- 0.02 mm
- Shield is not connected to body



Variohm EuroSensor - Williams' Barn - Tiffeld Road - Towcester - Northants - NN12 6HP - UK  
 sales@variohm.com • www.variohm.com • +44 (0) 1327 351004

Subject to change without notice

AL6N - English - 05/12

## 24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales

### DESCRIPTION

Based on Avia Semiconductor's patented technology, HX711 is a precision 24-bit analog-to-digital converter (ADC) designed for weigh scales and industrial control applications to interface directly with a bridge sensor.

The input multiplexer selects either Channel A or B differential input to the low-noise programmable gain amplifier (PGA). Channel A can be programmed with a gain of 128 or 64, corresponding to a full-scale differential input voltage of  $\pm 20\text{mV}$  or  $\pm 40\text{mV}$  respectively, when a 5V supply is connected to AVDD analog power supply pin. Channel B has a fixed gain of 32. On-chip power supply regulator eliminates the need for an external supply regulator to provide analog power for the ADC and the sensor. Clock input is flexible. It can be from an external clock source, a crystal, or the on-chip oscillator that does not require any external component. On-chip power-on-reset circuitry simplifies digital interface initialization.

There is no programming needed for the internal registers. All controls to the HX711 are through the pins.

### FEATURES

- Two selectable differential input channels
- On-chip active low noise PGA with selectable gain of 32, 64 and 128
- On-chip power supply regulator for load-cell and ADC analog power supply
- On-chip oscillator requiring no external component with optional external crystal
- On-chip power-on-reset
- Simple digital control and serial interface: pin-driven controls, no programming needed
- Selectable 10SPS or 80SPS output data rate
- Simultaneous 50 and 60Hz supply rejection
- Current consumption including on-chip analog power supply regulator:
  - normal operation  $< 1.5\text{mA}$ , power down  $< 1\mu\text{A}$
- Operation supply voltage range: 2.6 ~ 5.5V
- Operation temperature range:  $-40 \sim +85^\circ\text{C}$
- 16 pin SOP-16 package

### APPLICATIONS

- Weigh Scales
- Industrial Process Control

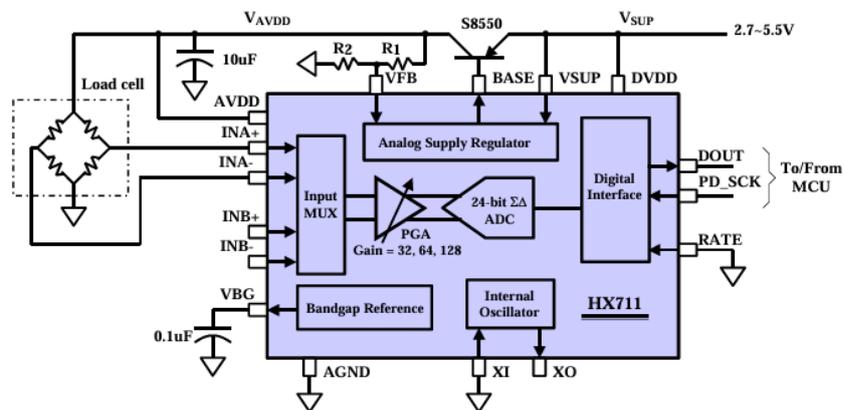
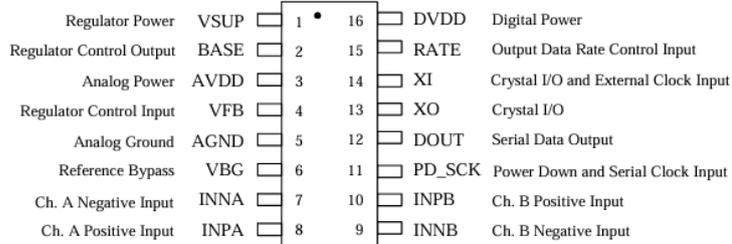


Fig. 1 Typical weigh scale application block diagram



HX711

**Pin Description**



SOP-16L Package

Pin #	Name	Function	Description
1	VSUP	Power	Regulator supply: 2.7 ~ 5.5V
2	BASE	Analog Output	Regulator control output (NC when not used)
3	AVDD	Power	Analog supply: 2.6 ~ 5.5V
4	VFB	Analog Input	Regulator control input (connect to AGND when not used)
5	AGND	Ground	Analog Ground
6	VBG	Analog Output	Reference bypass output
7	INA-	Analog Input	Channel A negative input
8	INA+	Analog Input	Channel A positive input
9	INB-	Analog Input	Channel B negative input
10	INB+	Analog Input	Channel B positive input
11	PD_SCK	Digital Input	Power down control (high active) and serial clock input
12	DOUT	Digital Output	Serial data output
13	XO	Digital I/O	Crystal I/O (NC when not used)
14	XI	Digital Input	Crystal I/O or external clock input, 0: use on-chip oscillator
15	RATE	Digital Input	Output data rate control, 0: 10Hz; 1: 80Hz
16	DVDD	Power	Digital supply: 2.6 ~ 5.5V

**Table 1 Pin Description**

**KEY ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

Parameter	Notes	MIN	TYP	MAX	UNIT
Full scale differential input range	V(inp)-V(inn)	$\pm 0.5(AVDD/GAIN)$			V
Common mode input		AGND+1.2		AVDD-1.3	V
Output data rate	Internal Oscillator, RATE = 0	10			Hz
	Internal Oscillator, RATE = DVDD	80			
	Crystal or external clock, RATE = 0	$f_{clk}/1,105,920$			
	Crystal or external clock, RATE = DVDD	$f_{clk}/138,240$			
Output data coding	2's complement	800000		7FFFFFF	HEX
Output settling time <sup>(1)</sup>	RATE = 0	400			ms
	RATE = DVDD	50			
Input offset drift	Gain = 128	0.2			mV
	Gain = 64	0.4			
Input noise	Gain = 128, RATE = 0	50			nV(rms)
	Gain = 128, RATE = DVDD	90			
Temperature drift	Input offset (Gain = 128)	$\pm 6$			nV/°C
	Gain (Gain = 128)	$\pm 5$			ppm/°C
Input common mode rejection	Gain = 128, RATE = 0	100			dB
Power supply rejection	Gain = 128, RATE = 0	100			dB
Reference bypass (V <sub>BC</sub> )		1.25			V
Crystal or external clock frequency		1	11.0592	20	MHz
Power supply voltage	DVDD	2.6		5.5	V
	AVDD, VSUP	2.6		5.5	
Analog supply current (including regulator)	Normal	1400			$\mu$ A
	Power down	0.3			
Digital supply current	Normal	100			$\mu$ A
	Power down	0.2			

(1) Settling time refers to the time from power up, reset, input channel change and gain change to valid stable output data.

**Table 2 Key Electrical Characteristics**

### Analog Inputs

Channel A differential input is designed to interface directly with a bridge sensor's differential output. It can be programmed with a gain of 128 or 64. The large gains are needed to accommodate the small output signal from the sensor. When 5V supply is used at the AVDD pin, these gains correspond to a full-scale differential input voltage of  $\pm 20\text{mV}$  or  $\pm 40\text{mV}$  respectively.

Channel B differential input has a fixed gain of 32. The full-scale input voltage range is  $\pm 80\text{mV}$ , when 5V supply is used at the AVDD pin.

### Power Supply Options

Digital power supply (DVDD) should be the same power supply as the MCU power supply.

When using internal analog supply regulator, the dropout voltage of the regulator depends on the external transistor used. The output voltage is equal to  $V_{AVDD} = V_{BC} * (R1+R2) / R1$  (Fig. 1). This voltage should be designed with a minimum of 100mV below VSUP voltage.

If the on-chip analog supply regulator is not used, the VSUP pin should be connected to either AVDD or DVDD, depending on which voltage is higher. Pin VFB should be connected to Ground and pin BASE becomes NC. The external 0.1uF bypass capacitor shown on Fig. 1 at the VBG output pin is then not needed.

### Clock Source Options

By connecting pin XI to Ground, the on-chip oscillator is activated. The nominal output data rate when using the internal oscillator is 10 (RATE=0) or 80SPS (RATE=1).

If accurate output data rate is needed, crystal or external reference clock can be used. A crystal can be directly connected across XI and XO pins. An external clock can be connected to XI pin, through a 20pF ac coupled capacitor. This external clock is not required to be a square wave. It can come directly from the crystal output pin of the MCU chip, with amplitude as low as 150 mV.

When using a crystal or an external clock, the internal oscillator is automatically powered down.

### Output Data Rate and Format

When using the on-chip oscillator, output data rate is typically 10 (RATE=0) or 80SPS (RATE=1).

When using external clock or crystal, output data rate is directly proportional to the clock or crystal frequency. Using 11.0592MHz clock or crystal results in an accurate 10 (RATE=0) or 80SPS (RATE=1) output data rate.

The output 24 bits of data is in 2's complement format. When input differential signal goes out of the 24 bit range, the output data will be saturated at 800000h (MIN) or 7FFFFFFh (MAX), until the input signal comes back to the input range.

### Serial Interface

Pin PD\_SCK and DOUT are used for data retrieval, input selection, gain selection and power down controls.

When output data is not ready for retrieval, digital output pin DOUT is high. Serial clock input PD\_SCK should be low. When DOUT goes to low, it indicates data is ready for retrieval. By applying 25–27 positive clock pulses at the PD\_SCK pin, data is shifted out from the DOUT output pin. Each PD\_SCK pulse shifts out one bit, starting with the MSB bit first, until all 24 bits are shifted out. The 25<sup>th</sup> pulse at PD\_SCK input will pull DOUT pin back to high (Fig.2).

Input and gain selection is controlled by the number of the input PD\_SCK pulses (Table 3). PD\_SCK clock pulses should not be less than 25 or more than 27 within one conversion period, to avoid causing serial communication error.

PD_SCK Pulses	Input channel	Gain
25	A	128
26	B	32
27	A	64

**Table 3 Input Channel and Gain Selection**

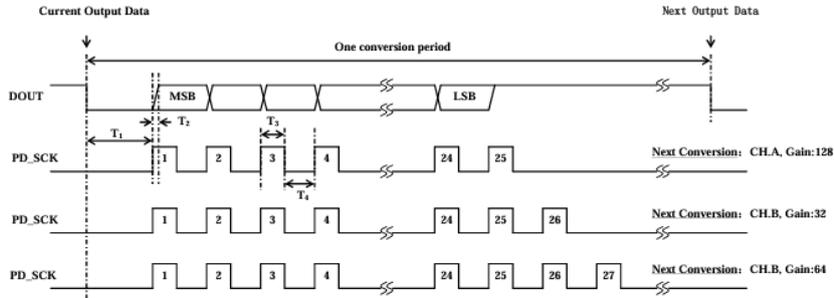


Fig.2 Data output, input and gain selection timing and control

Symbol	Note	MIN	TYP	MAX	Unit
T <sub>1</sub>	DOUT falling edge to PD_SCK rising edge	0.1			μs
T <sub>2</sub>	PD_SCK rising edge to DOUT data ready			0.1	μs
T <sub>3</sub>	PD_SCK high time	0.2	1	50	μs
T <sub>4</sub>	PD_SCK low time	0.2	1		μs

**Reset and Power-Down**

When chip is powered up, on-chip power on rest circuitry will reset the chip.

Pin PD\_SCK input is used to power down the HX711. When PD\_SCK Input is low, chip is in normal working mode.

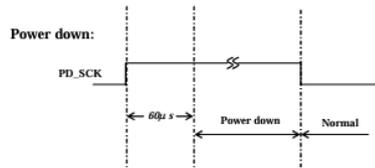


Fig.3 Power down control

When PD\_SCK pin changes from low to high and stays at high for longer than 60μs, HX711 enters power down mode (Fig.3). When internal regulator is used for HX711 and the external transducer, both HX711 and the transducer will be

powered down. When PD\_SCK returns to low, chip will reset and enter normal operation mode.

After a reset or power-down event, input selection is default to Channel A with a gain of 128.

**Application Example**

Fig.1 is a typical weigh scale application using HX711. It uses on-chip oscillator (XI=0), 10Hz output data rate (RATE=0). A Single power supply (2.7~5.5V) comes directly from MCU power supply. Channel B can be used for battery level detection. The related circuitry is not shown on Fig. 1.

Reference PCB Board (Single Layer)

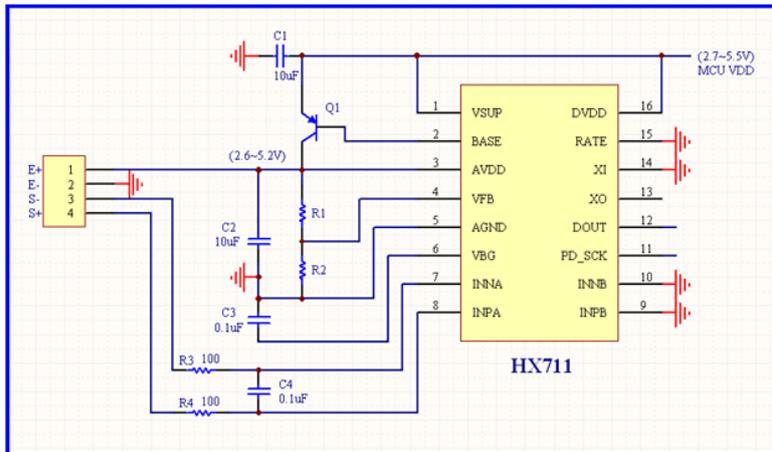


Fig.4 Reference PCB board schematic

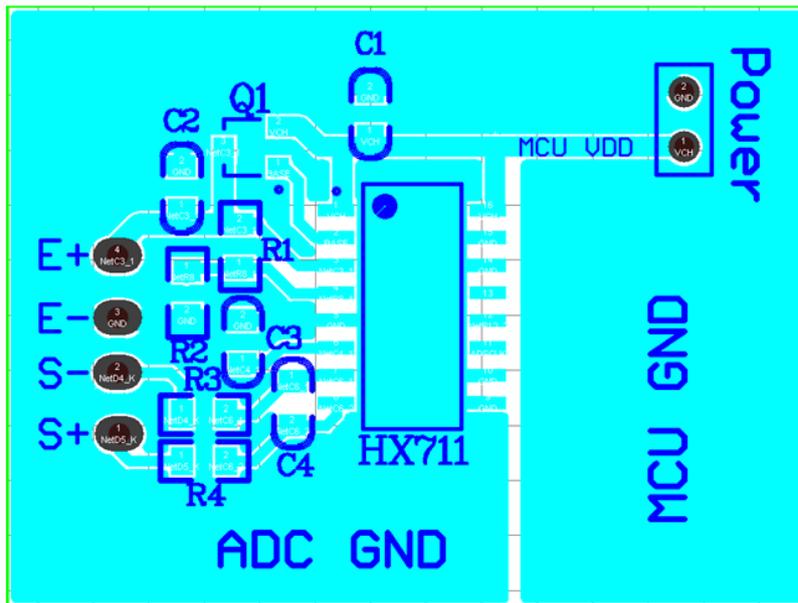


Fig.5 Reference PCB board layout

**Reference Driver (Assembly)**

```

/*-----*/
Call from ASM:      LCALL  ReaAD
Call from C:      extern unsigned long ReadAD(void);
                  .
                  .
                  unsigned long data;
                  data=ReadAD();
                  .
                  .
/*-----*/

PUBLIC      ReadAD
HX711ROM    segment code
rseg       HX711ROM

sbit       ADDO = P1.5;
sbit       ADSK = P0.0;
/*-----*/
OUT:      R4, R5, R6, R7  R7=>LSB
/*-----*/

ReadAD:
  CLR  ADSK          //AD Enable (PD_SCK set low)
  SETB ADDO          //Enable 51CPU I/O
  JB  ADDO,$         //AD conversion completed?
  MOV  R4,#24

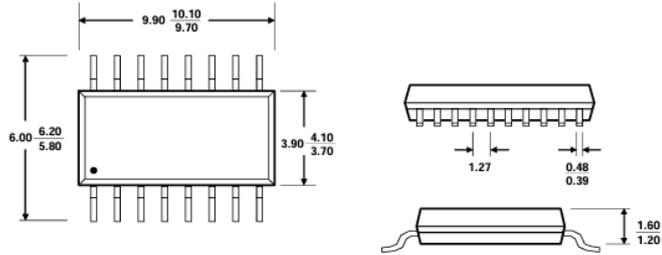
ShiftOut:
  SETB ADSK          //PD_SCK set high (positive pulse)
  NOP
  CLR  ADSK          //PD_SCK set low
  MOV  C,ADD0        //read on bit
  XCH  A,R7          //move data
  RLC  A
  XCH  A,R7
  XCH  A,R6
  RLC  A
  XCH  A,R6
  XCH  A,R5
  RLC  A
  XCH  A,R5
  DJNZ R4,ShiftOut  //moved 24BIT?
  SETB ADSK
  NOP
  CLR  ADSK
  RET
END

```

**Reference Driver (C)**

```
//-----  
sbit ADDO = P1^5;  
sbit ADSK = P0^0;  
unsigned long ReadCount(void){  
    unsigned long Count;  
    unsigned char i;  
    ADDO=1;  
    ADSK=0;  
    Count=0;  
    while (ADDO);  
    for (i=0;i<24;i++){  
        ADSK=1;  
        Count=Count<<1;  
        ADSK=0;  
        if (ADDO) Count++;  
    }  
    ADSK=1;  
    Count=Count^0x800000;  
    ADSK=0;  
    return (Count);  
}
```

Package Dimensions



Typ  $\frac{\text{MAX}}{\text{MIN}}$  Unit: mm

SOP-16L Package



# BD6xxx

## Complementary power Darlingtons transistors

### Features

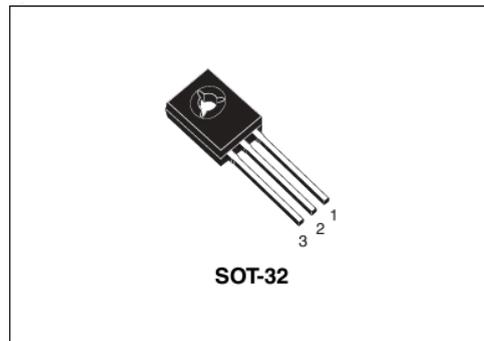
- Good  $h_{FE}$  linearity
- High  $f_T$  frequency
- Monolithic Darlingtons configuration with integrated antiparallel collector-emitter diode

### Applications

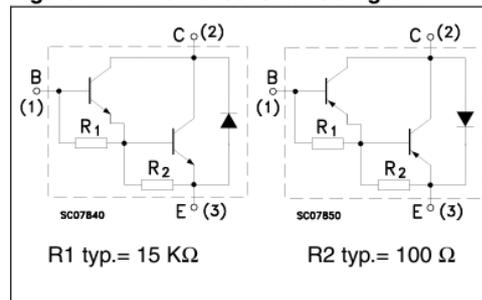
- Linear and switching industrial equipment

### Description

The devices are manufactured in planar base island technology with monolithic Darlingtons configuration.



**Figure 1. Internal schematic diagram**



**Table 1. Device summary**

Order codes	Marking	Package	Packaging
BD677	BD677	SOT-32	Tube
BD677A	BD677A		
BD678	BD678		
BD678A	BD678A		
BD679	BD679		
BD679A	BD679A		
BD680	BD680		
BD680A	BD680A		
BD681	BD681		
BD682	BD682		

---

## Contents

<b>1</b>	<b>Absolute maximum ratings</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Electrical characteristics</b> .....	<b>4</b>
2.1	Typical characteristic (curves) .....	6
2.2	Test circuit .....	8
<b>3</b>	<b>Package mechanical data</b> .....	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Revision history</b> .....	<b>11</b>

BD6xxx

Absolute maximum ratings

# 1 Absolute maximum ratings

Table 2. Absolute maximum ratings

Symbol	Parameter	Value			Unit	
		NPN	BD677 BD677A	BD679 BD679A		BD681
		PNP	BD678 BD678A	BD680 BD680A		BD682
$V_{CBO}$	Collector-base voltage ( $I_E = 0$ )		60	80	100	V
$V_{CEO}$	Collector-emitter voltage ( $I_B = 0$ )					
$V_{EBO}$	Emitte-base voltage ( $I_C = 0$ )		5			V
$I_C$	Collector current		4			A
$I_{CM}$	Collector peak current		6			A
$I_B$	Base current		0.1			A
$P_{TOT}$	Total dissipation at $T_{case} = 25^\circ\text{C}$		40			W
$T_{stg}$	Storage temperature		-65 to 150			$^\circ\text{C}$
$T_J$	Max. operating junction temperature		150			$^\circ\text{C}$

Note: For PNP types voltage and current values are negative

## 2 Electrical characteristics

( $T_{\text{case}} = 25^{\circ}\text{C}$ ; unless otherwise specified)

**Table 3. Electrical characteristics**

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$I_{\text{CEO}}$	Collector cut-off current ( $I_{\text{B}} = 0$ )	$V_{\text{CE}} = \text{half rated } V_{\text{CEO}}$			0.5	mA
$I_{\text{CBO}}$	Collector cut-off current ( $I_{\text{E}} = 0$ )	$V_{\text{CE}} = \text{rated } V_{\text{CBO}}$ $V_{\text{CE}} = \text{rated } V_{\text{CBO}}$ $T_{\text{c}} = 100^{\circ}\text{C}$			0.2 2	mA
$I_{\text{EBO}}$	Emitter cut-off current ( $I_{\text{C}} = 0$ )	$V_{\text{EB}} = 5 \text{ V}$			2	mA
$V_{\text{CEO(sus)}}^{(1)}$	Collector-emitter sustaining voltage ( $I_{\text{B}} = 0$ )	for BD677, BD677A, BD678, BD678A $I_{\text{C}} = 50 \text{ mA}$	60			V
		for BD679, BD679A, BD680, BD680A $I_{\text{C}} = 50 \text{ mA}$	80			
		for BD681, BD682 $I_{\text{C}} = 50 \text{ mA}$	100			
$V_{\text{CE(sat)}}^{(1)}$	Collector-emitter saturation voltage	for BD677, BD678, BD679, BD680, BD681, BD682 $I_{\text{C}} = 1.5 \text{ A}$ $I_{\text{B}} = 30 \text{ mA}$			2.5	V
		for BD677A, BD678A, BD679A, BD680A $I_{\text{C}} = 2 \text{ A}$ $I_{\text{B}} = 40 \text{ mA}$			2.8	
$V_{\text{BE}}^{(1)}$	Base-emitter voltage	for BD677, BD678, BD679, BD680, BD681, BD682 $I_{\text{C}} = 1.5 \text{ A}$ $V_{\text{CE}} = 3 \text{ V}$			2.5	V
		for BD677A, BD678A, BD679A, BD680A $I_{\text{C}} = 2 \text{ A}$ $V_{\text{CE}} = 3 \text{ V}$				

BD6xxx

Electrical characteristics

Table 3. Electrical characteristics (continued)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$h_{FE}^{(1)}$	DC current gain	for BD677, BD678, BD679, BD680, BD681, BD682 $I_C = 1.5 \text{ A}$ $V_{CE} = 3 \text{ V}$	750			
		for BD677A, BD678A, BD679A, BD680A $I_C = 2 \text{ A}$ $V_{CE} = 3 \text{ V}$				

1. Pulsed duration = 300 ms, duty cycle  $\geq 1.5\%$ .

Note: For PNP types voltage e current values are negative.

2.1 Typical characteristic (curves)

Figure 2. DC current gain (NPN)

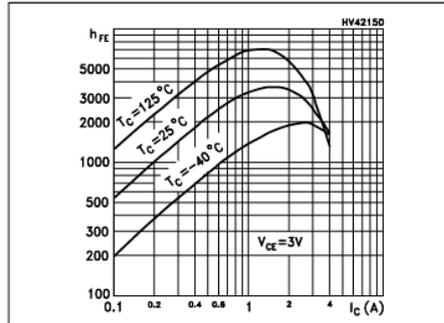


Figure 3. DC current gain (PNP)

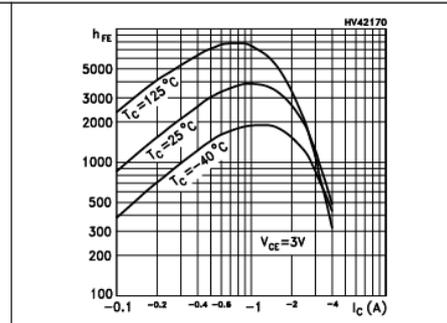


Figure 4. DC current gain (NPN)

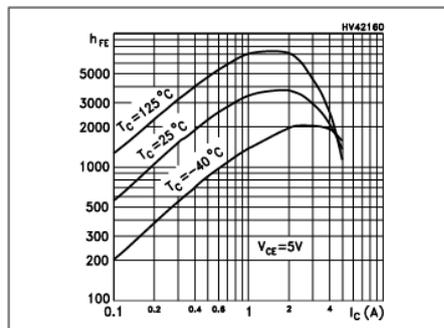


Figure 5. DC current gain (PNP)

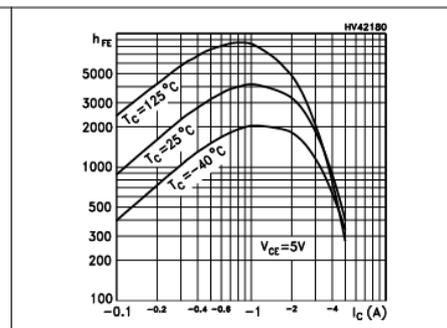


Figure 6. Collector-emitter saturation voltage (NPN)

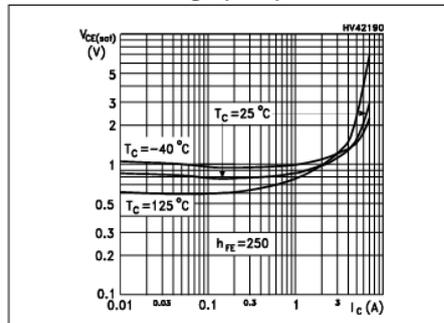
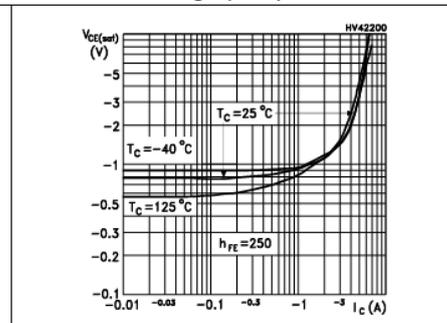


Figure 7. Collector-emitter saturation voltage (PNP)



BD6xxx

Electrical characteristics

Figure 8. Base-emitter saturation voltage (NPN)

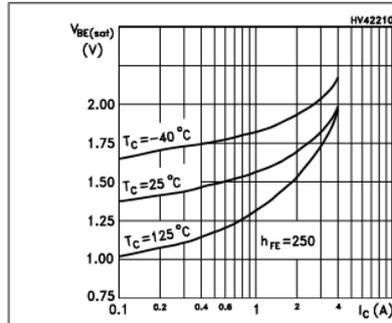


Figure 9. Base-emitter saturation voltage (PNP)

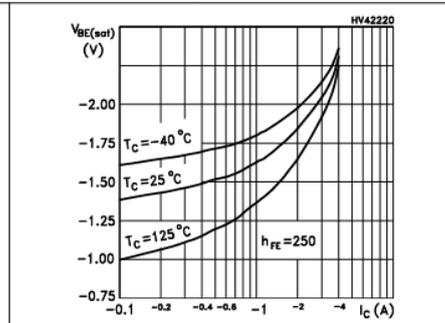


Figure 10. Base-emitter voltage (NPN)

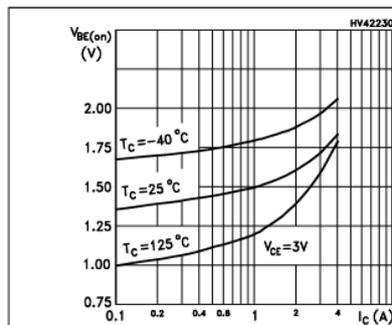


Figure 11. Base-emitter voltage (PNP)

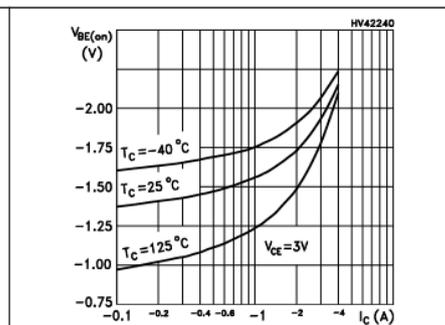


Figure 12. Resistive load switching time (NPN, on)

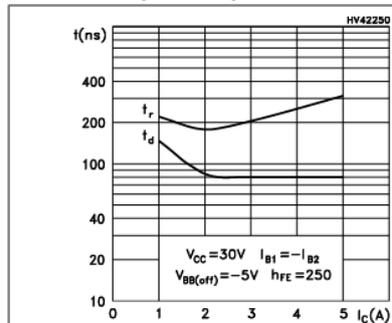


Figure 13. Resistive load switching time (PNP, on)

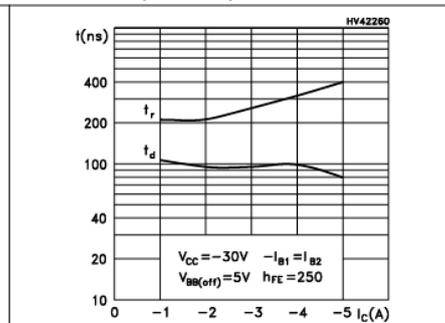
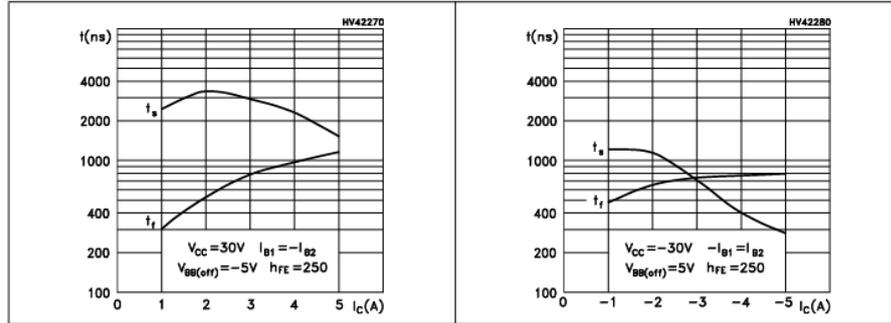
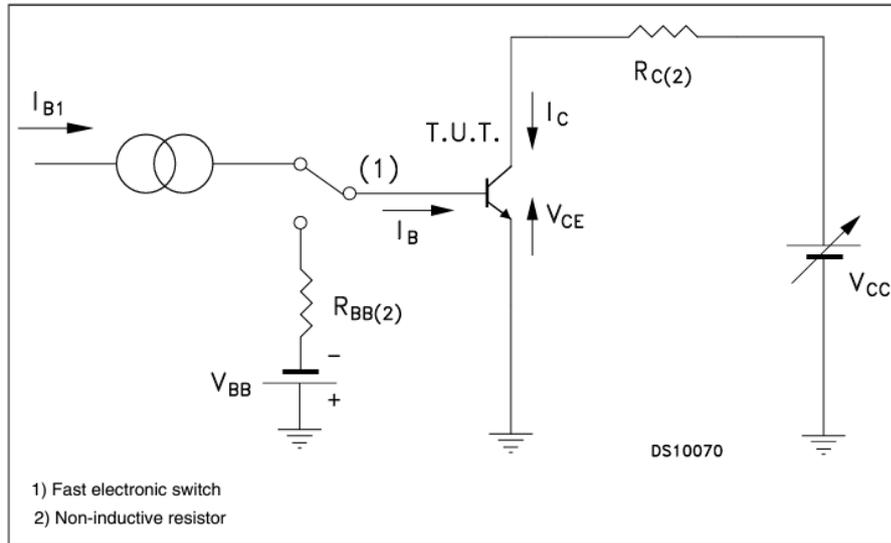


Figure 14. Resistive load switching time (NPN, off) Figure 15. Resistive load switching time (PNP, off)



2.2 Test circuit

Figure 16. Resistive load switching test circuit



Note: For PNP types voltage e current values are negative.

### 3 Package mechanical data

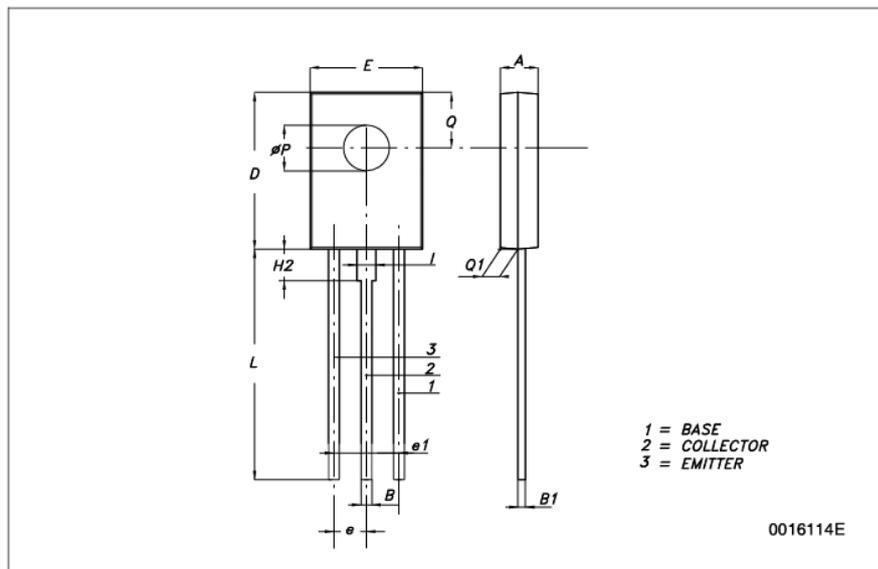
In order to meet environmental requirements, ST offers these devices in ECOPACK® packages. These packages have a lead-free second level interconnect . The category of second level interconnect is marked on the package and on the inner box label, in compliance with JEDEC Standard JESD97. The maximum ratings related to soldering conditions are also marked on the inner box label. ECOPACK is an ST trademark. ECOPACK specifications are available at: [www.st.com](http://www.st.com)

Package mechanical data

BD6xxx

**SOT-32 (TO-126) MECHANICAL DATA**

DIM.	mm.		
	MIN.	TYP	MAX.
A	2.4		2.9
B	0.64		0.88
B1	0.39		0.63
D	10.5		11.05
E	7.4		7.8
e	2.04	2.29	2.54
e1	4.07	4.58	5.08
L	15.3		16
P	2.9		3.2
Q		3.8	
Q1	1		1.52
H2		2.15	
I		1.27	



## 4 Revision history

Table 4. Document revision history

Date	Revision	Changes
21-Jun-2004	4	
14-Jan-2008	5	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Technology change from epybase to planar.</li><li>2. Updated <a href="#">Section 2.1: Typical characteristic (curves) on page 6</a></li><li>3. Content reworked to improve readability.</li></ol>

BD6xxx

**Please Read Carefully:**

Information in this document is provided solely in connection with ST products. STMicroelectronics NV and its subsidiaries ("ST") reserve the right to make changes, corrections, modifications or improvements, to this document, and the products and services described herein at any time, without notice.

All ST products are sold pursuant to ST's terms and conditions of sale.

Purchasers are solely responsible for the choice, selection and use of the ST products and services described herein, and ST assumes no liability whatsoever relating to the choice, selection or use of the ST products and services described herein.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted under this document. If any part of this document refers to any third party products or services it shall not be deemed a license grant by ST for the use of such third party products or services, or any intellectual property contained therein or considered as a warranty covering the use in any manner whatsoever of such third party products or services or any intellectual property contained therein.

**UNLESS OTHERWISE SET FORTH IN ST'S TERMS AND CONDITIONS OF SALE ST DISCLAIMS ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTY WITH RESPECT TO THE USE AND/OR SALE OF ST PRODUCTS INCLUDING WITHOUT LIMITATION IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE (AND THEIR EQUIVALENTS UNDER THE LAWS OF ANY JURISDICTION), OR INFRINGEMENT OF ANY PATENT, COPYRIGHT OR OTHER INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT.**

**UNLESS EXPRESSLY APPROVED IN WRITING BY AN AUTHORIZED ST REPRESENTATIVE, ST PRODUCTS ARE NOT RECOMMENDED, AUTHORIZED OR WARRANTED FOR USE IN MILITARY, AIR CRAFT, SPACE, LIFE SAVING, OR LIFE SUSTAINING APPLICATIONS, NOR IN PRODUCTS OR SYSTEMS WHERE FAILURE OR MALFUNCTION MAY RESULT IN PERSONAL INJURY, DEATH, OR SEVERE PROPERTY OR ENVIRONMENTAL DAMAGE. ST PRODUCTS WHICH ARE NOT SPECIFIED AS "AUTOMOTIVE GRADE" MAY ONLY BE USED IN AUTOMOTIVE APPLICATIONS AT USER'S OWN RISK.**

Resale of ST products with provisions different from the statements and/or technical features set forth in this document shall immediately void any warranty granted by ST for the ST product or service described herein and shall not create or extend in any manner whatsoever, any liability of ST.

ST and the ST logo are trademarks or registered trademarks of ST in various countries.

Information in this document supersedes and replaces all information previously supplied.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics. All other names are the property of their respective owners.

© 2008 STMicroelectronics - All rights reserved

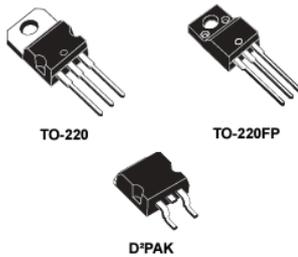
STMicroelectronics group of companies

Australia - Belgium - Brazil - Canada - China - Czech Republic - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Israel - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - United States of America

[www.st.com](http://www.st.com)

**LM217, LM317**

Datasheet

**1.2 V to 37 V adjustable voltage regulators****Features**

- Output voltage range: 1.2 to 37 V
- Output current in excess of 1.5 A
- 0.1% line and load regulation
- Floating operation for high voltages
- Complete series of protections: current limiting, thermal shutdown and SOA control

**Description**

The **LM217**, **LM317** are monolithic integrated circuits in TO-220, TO-220FP and D<sup>2</sup>PAK packages intended for use as positive adjustable voltage regulators.

They are designed to supply more than 1.5 A of load current with an output voltage adjustable over a 1.2 to 37 V range.

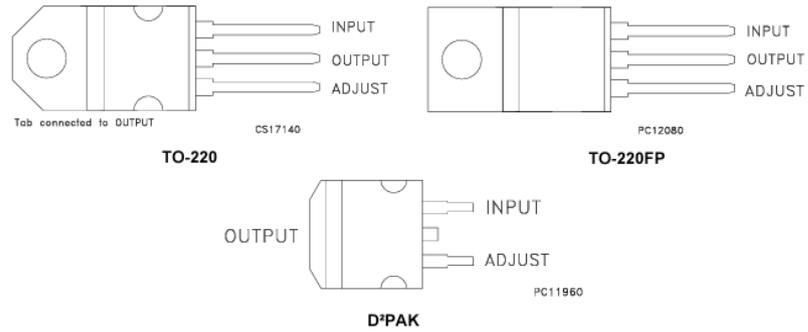
The nominal output voltage is selected by means of a resistive divider, making the device exceptionally easy to use and eliminating the stocking of many fixed regulators.

**Product status link**[LM217](#)[LM317](#)



1 Pin configuration

Figure 1. Pin connections (top view)





## 2 Maximum ratings

**Table 1. Absolute maximum ratings**

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_I - V_O$	Input-reference differential voltage	40	V
$I_O$	Output current	Internally limited	A
$T_{OP}$	Operating junction temperature for:	LM217	- 25 to 150
		LM317	0 to 125
		LM317B	-40 to 125
$P_D$	Power dissipation	Internally limited	
$T_{STG}$	Storage temperature	- 65 to 150	°C

**Note:** *Absolute maximum ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these condition is not implied.*

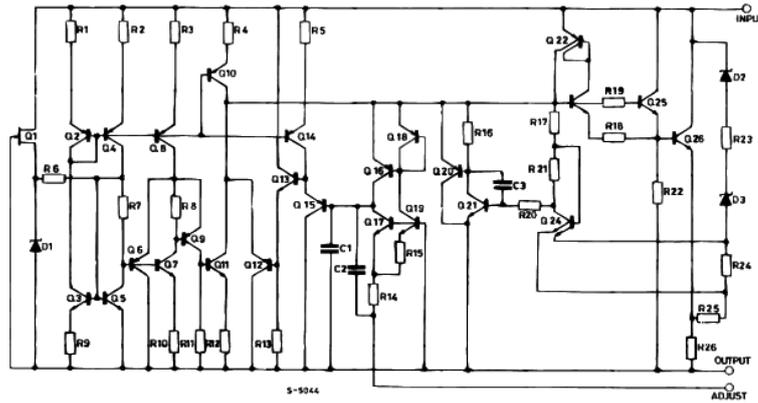
**Table 2. Thermal data**

Symbol	Parameter	D <sup>2</sup> PAK	TO-220	TO-220FP	Unit
$R_{thJA}$	Thermal resistance junction-ambient	62.5	50	60	°C/W
$R_{thJC}$	Thermal resistance junction-case	3	5	5	°C/W



3 Diagram

Figure 2. Schematic diagram





## 4 Electrical characteristics

$V_I - V_O = 5\text{ V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $I_{MAX} = 1.5\text{ A}$  and  $P_{MAX} = 20\text{ W}$ ,  $T_J = -25\text{ to }150\text{ }^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified.

**Table 3. Electrical characteristics for LM217**

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$\Delta V_O$	Line regulation	$V_I - V_O = 3\text{ to }40\text{ V}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$	0.01	0.02	%V
				0.02	0.05	
$\Delta V_O$	Load regulation	$V_O \leq 5\text{ V}$ $I_O = 10\text{ mA to }I_{MAX}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$	5	15	mV
				20	50	
		$V_O \geq 5\text{ V}$ $I_O = 10\text{ mA to }I_{MAX}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$	0.1	0.3	%
				0.3	1	
$I_{ADJ}$	Adjustment pin current		50	100	$\mu\text{A}$	
$\Delta I_{ADJ}$	Adjustment pin current	$V_I - V_O = 2.5\text{ to }40\text{ V}$ $I_O = 10\text{ mA to }I_{MAX}$		0.2	5	$\mu\text{A}$
$V_{REF}$	Reference voltage	$V_I - V_O = 2.5\text{ to }40\text{ V}$ $I_O = 10\text{ mA to }I_{MAX}$ $P_D \leq P_{MAX}$	1.2	1.25	1.3	V
$\Delta V_O/V_O$	Output voltage temperature stability			1		%
$I_{O(min)}$	Minimum load current	$V_I - V_O = 40\text{ V}$		3.5	5	mA
$I_{O(max)}$	Maximum load current	$V_I - V_O \leq 15\text{ V}$ , $P_D < P_{MAX}$	1.5	2.2		A
		$V_I - V_O = 40\text{ V}$ , $P_D < P_{MAX}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.4		
eN	Output noise voltage (percentage of $V_O$ )	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.003		%
SVR	Supply voltage rejection <sup>(1)</sup>	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $f = 120\text{ Hz}$	$C_{ADJ} = 0$		65	dB
			$C_{ADJ} = 10\text{ }\mu\text{F}$	66	80	

1.  $C_{ADJ}$  is connected between adjust pin and ground.



$V_I - V_O = 5\text{ V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $I_{MAX} = 1.5\text{ A}$  and  $P_{MAX} = 20\text{ W}$ ,  $T_J = 0\text{ to }125\text{ }^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified.

**Table 4. Electrical characteristics for LM317**

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$\Delta V_O$	Line regulation	$V_I - V_O = 3\text{ to }40\text{ V}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$	0.01	0.04	%V
				0.02	0.07	
$\Delta V_O$	Load regulation	$V_O \leq 5\text{ V}$ $I_O = 10\text{ mA to }I_{MAX}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$	5	25	mV
				20	70	
		$V_O \geq 5\text{ V}$ , $I_O = 10\text{ mA to }I_{MAX}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$	0.1	0.5	%
				0.3	1.5	
$I_{ADJ}$	Adjustment pin current		50	100	$\mu\text{A}$	
$\Delta I_{ADJ}$	Adjustment pin current	$V_I - V_O = 2.5\text{ to }40\text{ V}$ $I_O = 10\text{ mA to }I_{MAX}$		0.2	5	$\mu\text{A}$
$V_{REF}$	Reference voltage (between pin 3 and pin 1)	$V_I - V_O = 2.5\text{ to }40\text{ V}$ $I_O = 10\text{ mA to }I_{MAX}$ $P_D \leq P_{MAX}$	1.2	1.25	1.3	V
$\Delta V_O/V_O$	Output voltage temperature stability			1		%
$I_{O(min)}$	Minimum load current	$V_I - V_O = 40\text{ V}$		3.5	10	mA
$I_{O(max)}$	Maximum load current	$V_I - V_O \leq 15\text{ V}$ , $P_D < P_{MAX}$	1.5	2.2		A
		$V_I - V_O = 40\text{ V}$ , $P_D < P_{MAX}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$	0.4			
eN	Output noise voltage (percentage of $V_O$ )	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.003		%
SVR	Supply voltage rejection <sup>(1)</sup>	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $f = 120\text{ Hz}$	$C_{ADJ} = 0$	65		dB
			$C_{ADJ} = 10\text{ }\mu\text{F}$	66	80	

1.  $C_{ADJ}$  is connected between adjust pin and ground.



$V_I - V_O = 5\text{ V}$ ,  $I_O = 500\text{ mA}$ ,  $I_{MAX} = 1.5\text{ A}$  and  $P_{MAX} = 20\text{ W}$ ,  $T_J = -40\text{ to }125\text{ }^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified.

**Table 5. Electrical characteristics for LM317B**

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$\Delta V_O$	Line regulation	$V_I - V_O = 3\text{ to }40\text{ V}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$	0.01	0.04	%V
				0.02	0.07	
$\Delta V_O$	Load regulation	$V_O \leq 5\text{ V}$ $I_O = 10\text{ mA to }I_{MAX}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$	5	25	mV
				20	70	
		$V_O \geq 5\text{ V}$ , $I_O = 10\text{ mA to }I_{MAX}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$	0.1	0.5	%
				0.3	1.5	
$I_{ADJ}$	Adjustment pin current		50	100	$\mu\text{A}$	
$\Delta I_{ADJ}$	Adjustment pin current	$V_I - V_O = 2.5\text{ to }40\text{ V}$ $I_O = 10\text{ mA to }500\text{ mA}$		0.2	5	$\mu\text{A}$
$V_{REF}$	Reference voltage (between pin 3 and pin 1)	$V_I - V_O = 2.5\text{ to }40\text{ V}$ $I_O = 10\text{ mA to }500\text{ mA}$ $P_D \leq P_{MAX}$	1.2	1.25	1.3	V
$\Delta V_O/V_O$	Output voltage temperature stability			1		%
$I_{O(min)}$	Minimum load current	$V_I - V_O = 40\text{ V}$		3.5	10	mA
$I_{O(max)}$	Maximum load current	$V_I - V_O \leq 15\text{ V}$ , $P_D < P_{MAX}$	1.5	2.2		A
		$V_I - V_O = 40\text{ V}$ , $P_D < P_{MAX}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$	0.4			
eN	Output noise voltage (percentage of $V_O$ )	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$ , $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.003		%
SVR	Supply voltage rejection <sup>(1)</sup>	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $f = 120\text{ Hz}$	$C_{ADJ} = 0$	65		dB
			$C_{ADJ} = 10\text{ }\mu\text{F}$	66	80	

1.  $C_{ADJ}$  is connected between adjust pin and ground.



## 5 Typical characteristics

Figure 3. Output current vs. input-output differential voltage

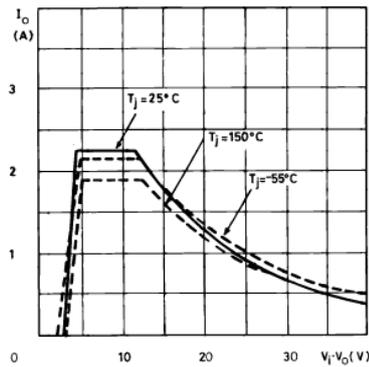


Figure 4. Dropout voltage vs. junction temperature

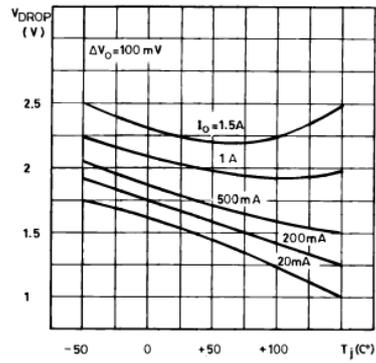


Figure 5. Reference voltage vs. junction

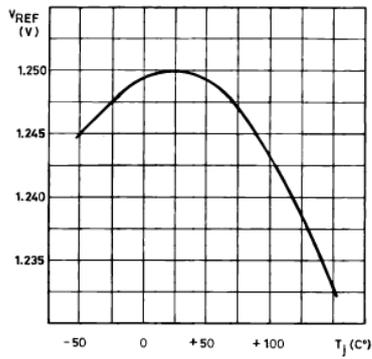
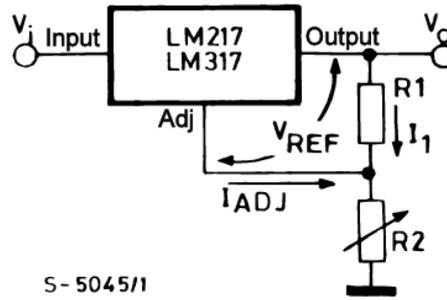




Figure 6. Basic adjustable regulator





## 6 Application information

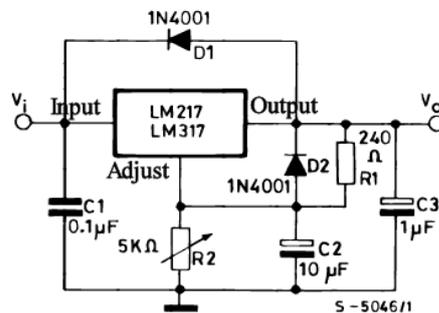
The LM217, LM317 provides an internal reference voltage of 1.25 V between the output and adjustments terminals. This is used to set a constant current flow across an external resistor divider (see Figure 6. [Basic adjustable regulator](#)), giving an output voltage  $V_O$  of:

$$V_O = V_{REF} (1 + R_2/R_1) + I_{ADJ} R_2$$

The device was designed to minimize the term  $I_{ADJ}$  (100  $\mu$ A max) and to maintain it very constant with line and load changes. Usually, the error term  $I_{ADJ} \times R_2$  can be neglected. To obtain the previous requirement, all the regulator quiescent current is returned to the output terminal, imposing a minimum load current condition. If the load is insufficient, the output voltage will rise. Since the LM217, LM317 is a floating regulator and "sees" only the input-to-output differential voltage, supplies of very high voltage with respect to ground can be regulated as long as the maximum input-to-output differential is not exceeded. Furthermore, programmable regulators are easily obtainable and, by connecting a fixed resistor between the adjustment and output, the device can be used as a precision current regulator. In order to optimize the load regulation, the current set resistor  $R_1$  (see Figure 6. [Basic adjustable regulator](#)) should be tied as close as possible to the regulator, while the ground terminal of  $R_2$  should be near the ground of the load to provide remote ground sensing. Performance may be improved with added capacitance as follow:

- An input bypass capacitor of 0.1  $\mu$ F
- An adjustment terminal to ground 10  $\mu$ F capacitor to improve the ripple rejection of about 15 dB ( $C_{ADJ}$ ).
- An 1  $\mu$ F tantalum (or 25  $\mu$ F Aluminium electrolytic) capacitor on the output to improve transient response. In addition to external capacitors, it is good practice to add protection diodes, as shown in figure below D1 protect the device against input short circuit, while D2 protect against output short circuit for capacitance discharging.

Figure 7. Voltage regulator with protection diodes



Note: *D1 protect the device against input short circuit, while D2 protects against output short circuit for capacitors discharging.*



Figure 8. Slow turn-on 15 V regulator

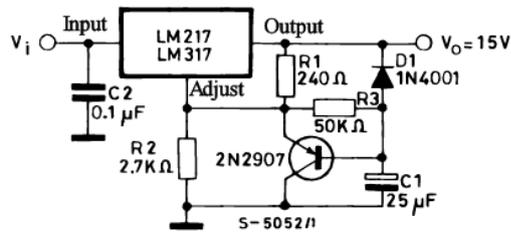
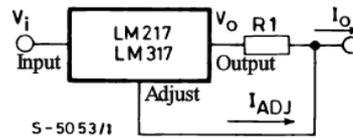


Figure 9. Current regulator



$$I_O = (V_{REF} / R_1) + I_{ADJ} = 1.25 \text{ V} / R_1$$

Figure 10. 5 V electronic shut-down regulator

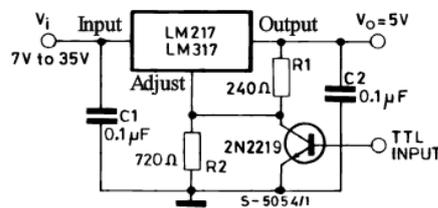
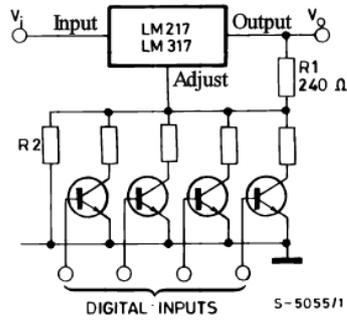


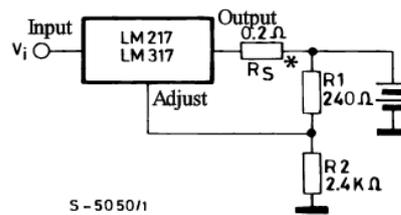


Figure 11. Digitally selected outputs



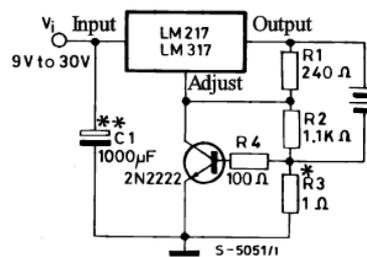
(R<sub>2</sub> sets maximum V<sub>O</sub>)

Figure 12. Battery charger (12 V)



\* R<sub>S</sub> sets output impedance of charger  $Z_O = R_S (1 + R_2 / R_1)$ . Use of R<sub>S</sub> allows low charging rates whit fully charged battery.

Figure 13. Current limited 6 V charger



\* R<sub>3</sub> sets peak current (0.6 A for 10).

\*\* C<sub>1</sub> recommended to filter out input transients.



## 7 Device summary

Table 6. Device summary

Order codes			
TO-220 (single gauge)	TO-220 (double gauge)	D <sup>2</sup> PAK (tape and reel)	TO-220FP
LM217T	LM217T-DG	LM217D2T-TR	
LM317T	LM317T-DG	LM317D2T-TR	LM317P
LM317BT			

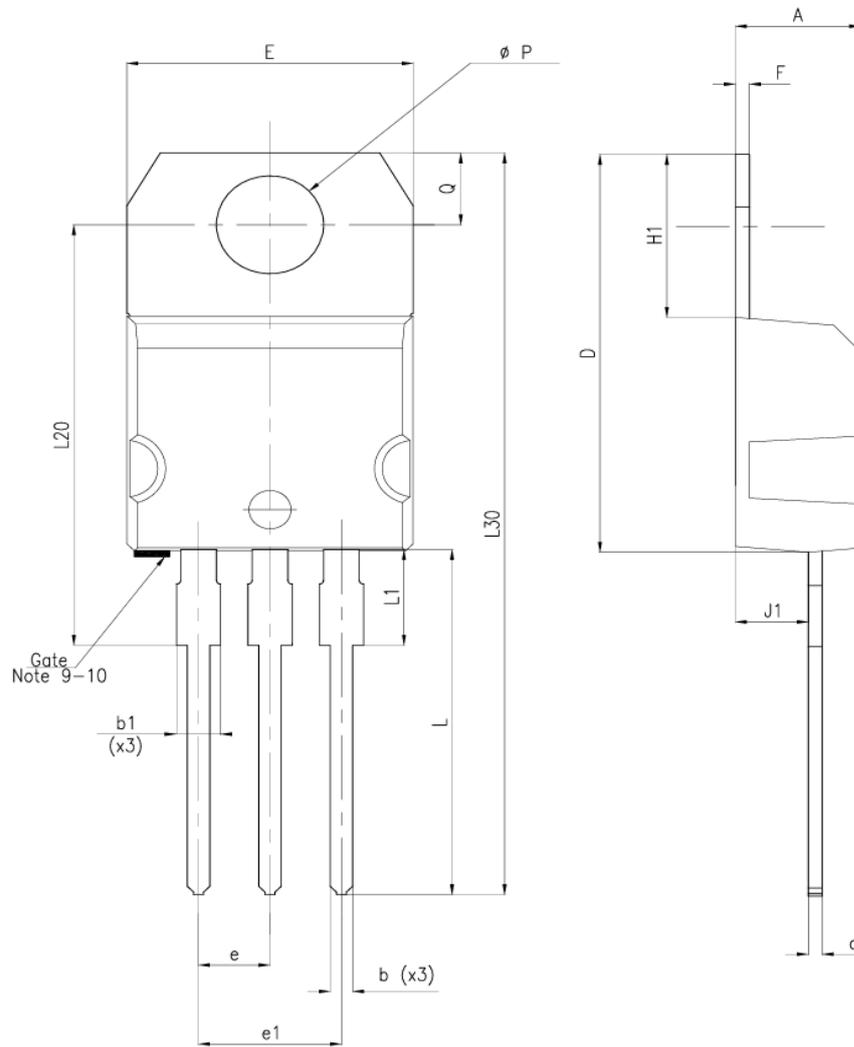


## 8 Package information

In order to meet environmental requirements, ST offers these devices in different grades of **ECOPACK** packages, depending on their level of environmental compliance. ECOPACK specifications, grade definitions and product status are available at: [www.st.com](http://www.st.com). ECOPACK is an ST trademark.

### 8.1 TO-220 (single gauge) package information

Figure 14. TO-220 (single gauge) package outline



8174627\_5


**Table 7. TO-220 (single gauge) mechanical data**

Dim.	mm		
	Min.	Typ.	Max.
A	4.40		4.60
b	0.61		0.88
b1	1.14		1.70
c	0.48		0.70
D	15.25		15.75
E	10.00		10.40
e	2.40		2.70
e1	4.95		5.15
F	0.51		0.60
H1	6.20		6.60
J1	2.40		2.72
L	13.00		14.00
L1	3.50		3.93
L20		16.40	
L30		28.90	
∅P	3.75		3.85
Q	2.65		2.95





LM217, LM317

TO-220 (dual gauge) package information

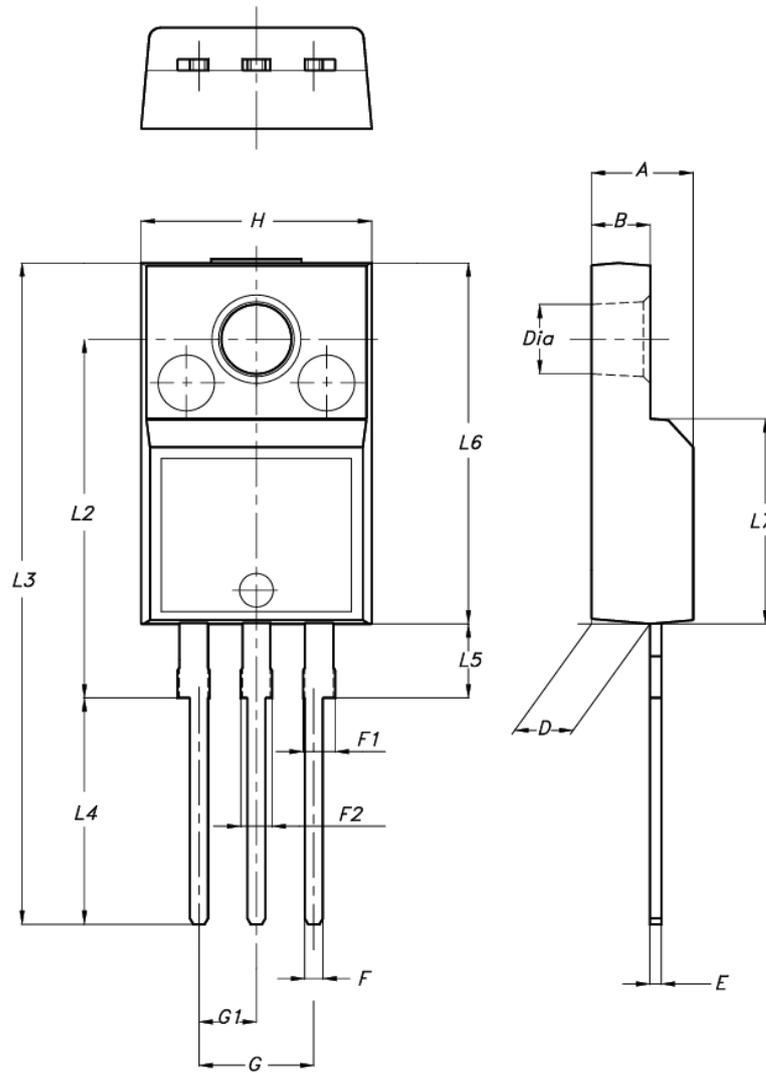
Table 8. TO-220 (dual gauge) mechanical data

Dim.	mm		
	Min.	Typ.	Max.
A	4.40		4.60
b	0.61		0.88
b1	1.14		1.70
c	0.48		0.70
D	15.25		15.75
D1		1.27	
E	10		10.40
e	2.40		2.70
e1	4.95		5.15
F	1.23		1.32
H1	6.20		6.60
J1	2.40		2.72
L	13		14
L1	3.50		3.93
L20		16.40	
L30		28.90	
ØP	3.75		3.85
Q	2.65		2.95



8.3 TO-220FP type A package information

Figure 16. TO-220FP package outline



7012510\_type\_A

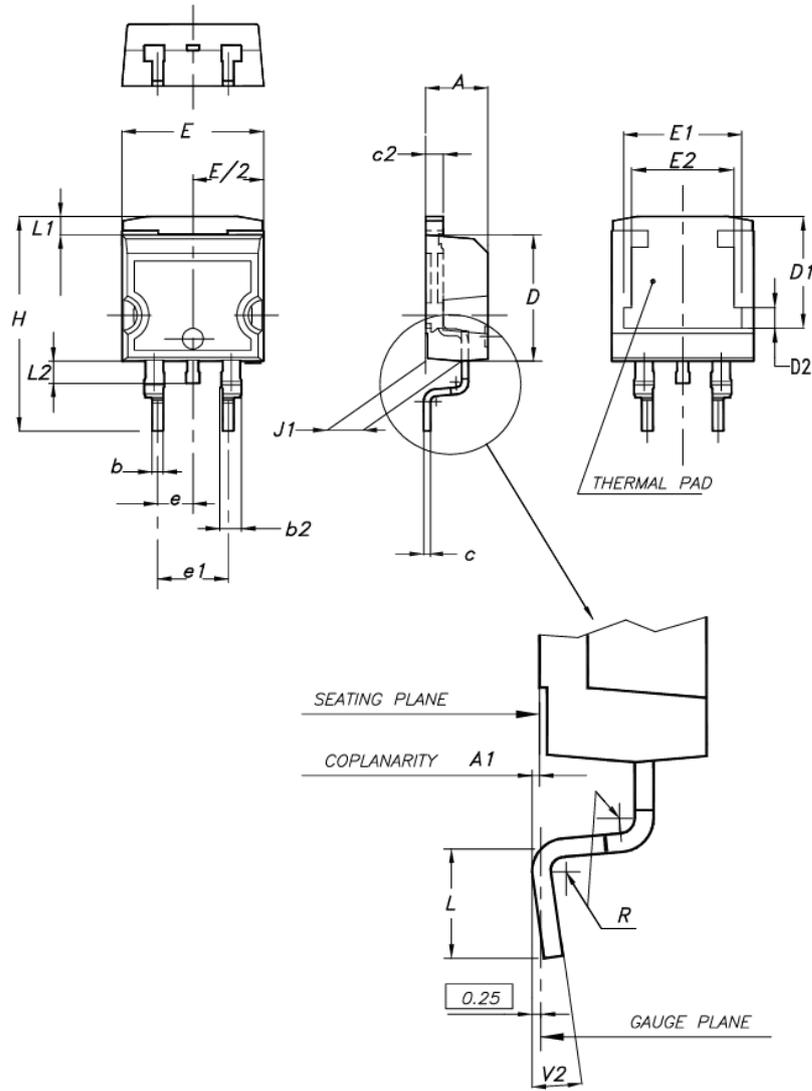

**Table 9. TO-220FP package mechanical data**

Dim.	mm		
	Min.	Typ.	Max.
A	4.4		4.6
B	2.5		2.7
D	2.5		2.75
E	0.45		0.7
F	0.75		1
F1	1.15		1.70
F2	1.15		1.70
G	4.95		5.2
G1	2.4		2.7
H	10		10.4
L2		16	
L3	28.6		30.6
L4	9.8		10.6
L5	2.9		3.6
L6	15.9		16.4
L7	9		9.3
Dia	3		3.2



8.4 D<sup>2</sup>PAK (SMD 2L STD-ST) type A package information

Figure 17. D<sup>2</sup>PAK (SMD 2L STD-ST) type A package outline



0079457\_22\_type A



LM217, LM317

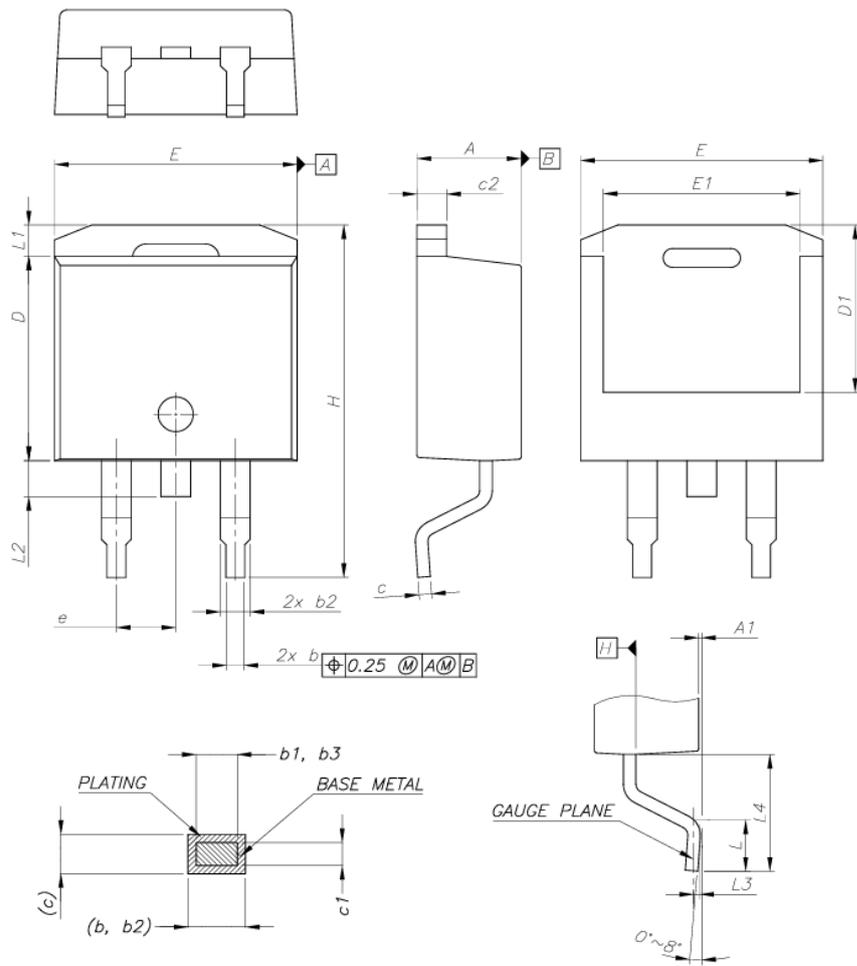
D<sup>2</sup>PAK (SMD 2L STD-ST) type A package informationTable 10. D<sup>2</sup>PAK (SMD 2L STD-ST) mechanical data

Dim.	mm		
	Min.	Typ.	Max.
A	4.40		4.60
A1	0.03		0.23
b	0.70		0.93
b2	1.14		1.70
c	0.45		0.60
c2	1.23		1.36
D	8.95		9.35
D1	7.50	7.75	8.00
D2	1.10	1.30	1.50
E	10		10.40
E1	8.50	8.70	8.90
E2	6.85	7.05	7.25
e		2.54	
e1	4.88		5.28
H	15		15.85
J1	2.49		2.69
L	2.29		2.79
L1	1.27		1.40
L2	1.30		1.75
R		0.4	
V2	0°		8°



8.5 D<sup>2</sup>PAK (ASE) type B package information

Figure 18. D<sup>2</sup>PAK (ASE subcon) type B package outline



0079457\_23\_type B



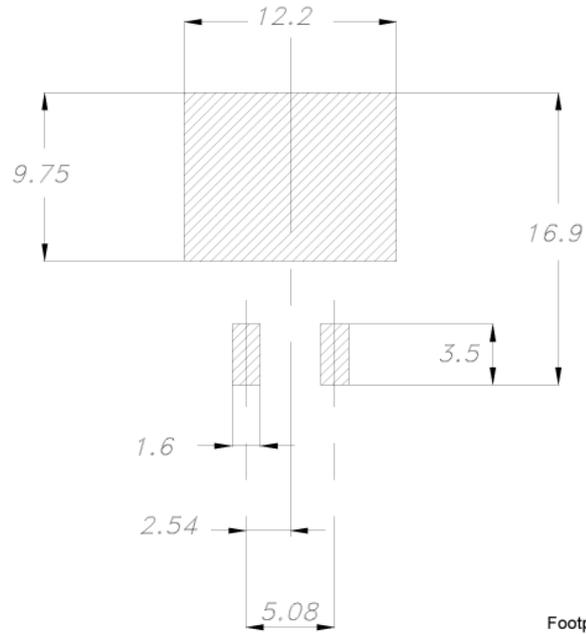
LM217, LM317

D<sup>2</sup>PAK (ASE) type B package informationTable 11. D<sup>2</sup>PAK (ASE) type B mechanical data

Dim.	mm		
	Min.	Typ.	Max.
A	4.36		4.56
A1	0		0.25
b	0.70		0.90
b1	0.51		0.89
b2	1.17		1.37
b3	1.36		1.46
c	0.38		0.694
c1	0.38		0.534
c2	1.19		1.34
D	8.60		9.00
D1	6.90		7.50
E	10.15		10.55
E1	8.10		8.70
e		2.54	
H	15.00		15.60
L	1.90		2.50
L1			1.65
L2			1.78
L3		0.25	
L4	4.78		5.28



Figure 19. D<sup>2</sup>PAK recommended footprint (dimensions are in mm)



Footprint\_0079457



8.6 D<sup>2</sup>PAK packaging information

Figure 20. D<sup>2</sup>PAK tape outline

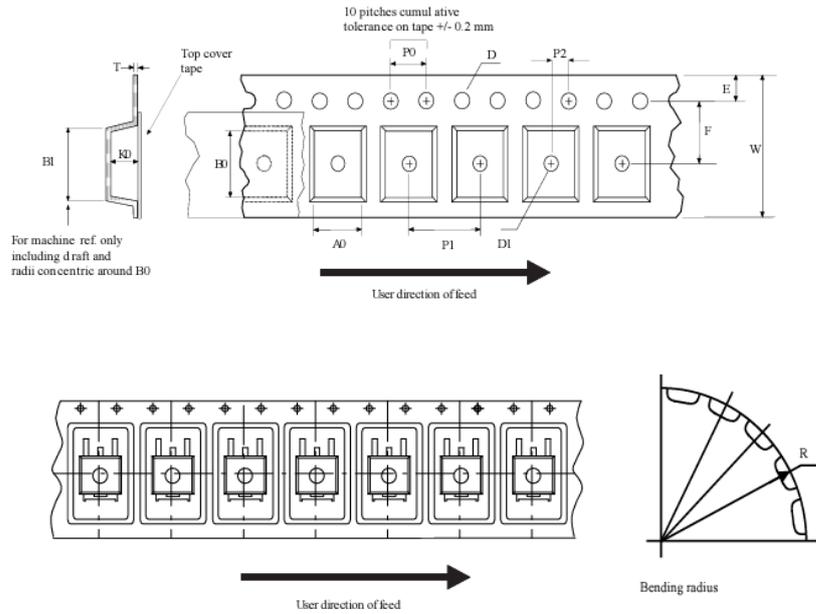




Figure 21. Reel for D<sup>2</sup>PAK

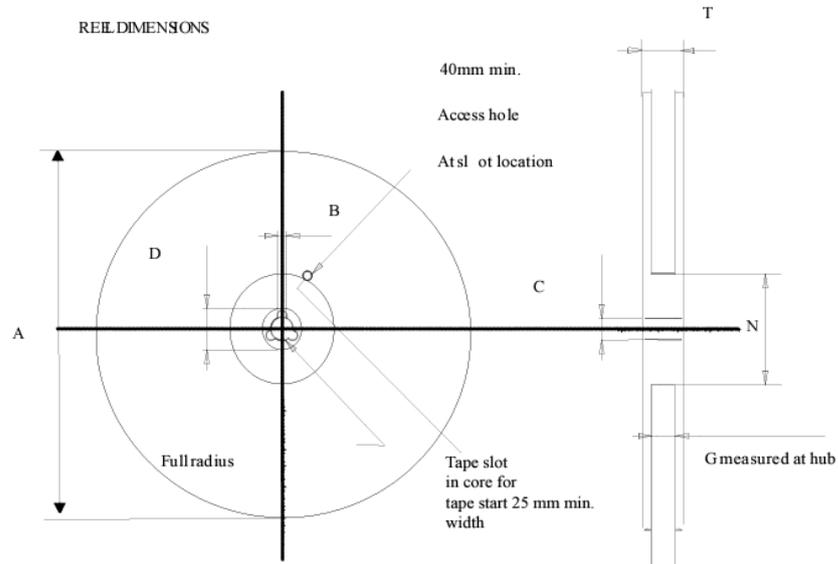


Table 12. D<sup>2</sup>PAK tape and reel mechanical data

Dim.	Tape		Dim.	Reel	
	mm			mm	
	Min.	Max.		Min.	Max.
A0	10.5	10.7	A		330
B0	15.7	15.9	B	1.5	
D	1.5	1.6	C	12.8	13.2
D1	1.59	1.61	D	20.2	
E	1.65	1.85	G	24.4	26.4
F	11.4	11.6	N	100	
K0	4.8	5.0	T		30.4
P0	3.9	4.1			
P1	11.9	12.1		Base qty	1000
P2	1.9	2.1		Bulk qty	1000
R	50				
T	0.25	0.35			
W	23.7	24.3			



## Revision history

Table 13. Document revision history

Date	Revision	Changes
01-Sep-2004	10	Mistake VREF==> V <sub>O</sub> , tables 1, 4 and 5.
19-Jan-2007	11	D <sup>2</sup> PAK mechanical data has been updated, add footprint data and the document has been reformatted.
13-Jun-2007	12	Change values ΔI <sub>ADJ</sub> and V <sub>REF</sub> test condition of I <sub>O</sub> = 10 mA to I <sub>MAX</sub> ==> I <sub>O</sub> = 10 mA to 500 mA on Table 5.
23-Nov-2007	13	Added Table 1.
06-Feb-2008	14	Added: TO-220 mechanical data Figure 14 on page 14 and Table 6 on page 13.
02-Mar-2010	15	Added: notes Figure 14 on page 14, Figure 15 on page 15, Figure 16 and Figure 17 on page 16.
17-Nov-2010	16	Modified: R <sub>thJC</sub> value for TO-220 Table 3 on page 4.
18-Nov-2011	17	Added: order code LM317T-DG Table 1 on page 1.
13-Feb-2012	18	Added: order code LM217T-DG Table 1 on page 1.
12-Mar-2014	19	The part number LM117 has been moved to a separate datasheet. Removed TO-3 package. Updated the description in cover page Modified Table 1: Device summary, Table 3: Thermal data, Figure 1: Pin connections (top view), Section 4: Electrical characteristics, Section 5: Typical characteristics, Section 6: Application information, Section 7: Package mechanical data. Added Section 8: Packaging mechanical data. Minor text changes.
28-May-2018	20	Updated Section 8.5 D <sup>2</sup> PAK (ASE) type B package information.
31-Jul-2019	21	Updated T <sub>OP</sub> unit in Table 1. Absolute maximum ratings.



## Contents

<b>1</b>	<b>Pin configuration</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Maximum ratings</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Diagram</b> .....	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Electrical characteristics</b> .....	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Typical characteristics</b> .....	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>Application information</b> .....	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>Device summary</b> .....	<b>13</b>
<b>8</b>	<b>Package information</b> .....	<b>14</b>
8.1	TO-220 (single gauge) package information .....	14
8.2	TO-220 (dual gauge) package information .....	15
8.3	TO-220FP type A package information .....	17
8.4	D <sup>2</sup> PAK (SMD 2L STD-ST) type A package information .....	19
8.5	D <sup>2</sup> PAK (ASE) type B package information .....	21
8.6	D <sup>2</sup> PAK packing information .....	24
	<b>Revision history</b> .....	<b>27</b>



## List of tables

Table 1.	Absolute maximum ratings	3
Table 2.	Thermal data	3
Table 3.	Electrical characteristics for LM217	5
Table 4.	Electrical characteristics for LM317	6
Table 5.	Electrical characteristics for LM317B	7
Table 6.	Device summary	13
Table 7.	TO-220 (single gauge) mechanical data	15
Table 8.	TO-220 (dual gauge) mechanical data	17
Table 9.	TO-220FP package mechanical data	19
Table 10.	D <sup>2</sup> PAK (SMD 2L STD-ST) mechanical data	21
Table 11.	D <sup>2</sup> PAK (ASE) type B mechanical data	23
Table 12.	D <sup>2</sup> PAK tape and reel mechanical data	26
Table 13.	Document revision history	27



## List of figures

Figure 1.	Pin connections (top view) . . . . .	2
Figure 2.	Schematic diagram . . . . .	4
Figure 3.	Output current vs. input-output differential voltage . . . . .	8
Figure 4.	Dropout voltage vs. junction temperature . . . . .	8
Figure 5.	Reference voltage vs. junction . . . . .	8
Figure 6.	Basic adjustable regulator . . . . .	9
Figure 7.	Voltage regulator with protection diodes . . . . .	10
Figure 8.	Slow turn-on 15 V regulator . . . . .	11
Figure 9.	Current regulator . . . . .	11
Figure 10.	5 V electronic shut-down regulator . . . . .	11
Figure 11.	Digitally selected outputs . . . . .	12
Figure 12.	Battery charger (12 V) . . . . .	12
Figure 13.	Current limited 6 V charger. . . . .	12
Figure 14.	TO-220 (single gauge) package outline . . . . .	14
Figure 15.	TO-220 (dual gauge) package outline . . . . .	16
Figure 16.	TO-220FP package outline. . . . .	18
Figure 17.	D <sup>2</sup> PAK (SMD 2L STD-ST) type A package outline . . . . .	20
Figure 18.	D <sup>2</sup> PAK (ASE subcon) type B package outline . . . . .	22
Figure 19.	D <sup>2</sup> PAK recommended footprint (dimensions are in mm) . . . . .	24
Figure 20.	D <sup>2</sup> PAK tape outline . . . . .	25
Figure 21.	Reel for D <sup>2</sup> PAK. . . . .	26

**IMPORTANT NOTICE – PLEASE READ CAREFULLY**

STMicroelectronics NV and its subsidiaries ("ST") reserve the right to make changes, corrections, enhancements, modifications, and improvements to ST products and/or to this document at any time without notice. Purchasers should obtain the latest relevant information on ST products before placing orders. ST products are sold pursuant to ST's terms and conditions of sale in place at the time of order acknowledgement.

Purchasers are solely responsible for the choice, selection, and use of ST products and ST assumes no liability for application assistance or the design of Purchasers' products.

No license, express or implied, to any intellectual property right is granted by ST herein.

Resale of ST products with provisions different from the information set forth herein shall void any warranty granted by ST for such product.

ST and the ST logo are trademarks of ST. For additional information about ST trademarks, please refer to [www.st.com/trademarks](http://www.st.com/trademarks). All other product or service names are the property of their respective owners.

Information in this document supersedes and replaces information previously supplied in any prior versions of this document.

© 2019 STMicroelectronics – All rights reserved

## 9 BIBLIOGRAFÍA

1. What is a «load cell?» 【Introduction to Load Cells】 A&D. [en línea], [sin fecha]. [consulta: 31 enero 2024]. Disponible en: [https://www.aandd.jp/products/weighing/loadcell/introduction/loadcells\\_qa\\_01.html](https://www.aandd.jp/products/weighing/loadcell/introduction/loadcells_qa_01.html).
2. ABU-OWN, A., SOMMERVILLE, K., SCURR, J.H. y COLERIDGE SMITH, P.D., 1995. Effects of compression and type of bed surface on the microcirculation of the heel. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery* [en línea], vol. 9, no. 3, [consulta: 31 enero 2024]. ISSN 10785884. DOI 10.1016/S1078-5884(05)80139-X. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S107858840580139X>.
3. Aglomerado Normal. Fustes Pram [en línea], [sin fecha]. [consulta: 3 febrero 2024]. Disponible en: <https://fustespram.com/es/producto/tablero-aglomerado-normal/>.
4. AL6N-C3-100KG-3B6 | Variohm EuroSensor Load Cell Load Cell 100kg. Distrelec Germany [en línea], [sin fecha]. [consulta: 3 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.distrelec.de/en/load-cell-load-cell-100kg-variohm-group-al6n-c3-100kg-3b6/p/30012156>.
5. Arduino Uno Rev3. Arduino Official Store [en línea], [sin fecha]. [consulta: 3 febrero 2024]. Disponible en: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>.
6. Arduino with Load Cell and HX711 Amplifier (Digital Scale) | Random Nerd Tutorials. [en línea], 2022. [consulta: 31 enero 2024]. Disponible en: <https://randomnerdtutorials.com/arduino-load-cell-hx711/>.
7. BD679 STMicroelectronics | Mouser. Mouser Electronics [en línea], [sin fecha]. [consulta: 3 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.mouser.es/ProductDetail/511-BD679>.
8. Biltron Fuente de alimentacion triple salida regulable Mlink APS3005S-3D. Biltron [en línea], [sin fecha]. [consulta: 3 febrero 2024]. Disponible en: <https://biltron.com/producto/fuente-alimentacion-regulable-aps3005s-3d/>.
9. BUSCHMANN, W.R., JAHSS, M.H., KUMMER, F., DESAI, P., GEE, R.O. y RICCI, J.L., 1995. Histology and Histomorphometric Analysis of the Normal and Atrophic Heel Fat Pad. *Foot & Ankle International* [en línea], vol. 16, no. 5, [consulta: 31 enero 2024]. ISSN 1071-1007, 1944-7876. DOI 10.1177/107110079501600502. Disponible en: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/107110079501600502>.
10. Cilindro neumático Festo, DSNU-25-15-P-A, Doble Acción Macho G 1/8 | RS. [en línea], [sin fecha]. [consulta: 3 febrero 2024]. Disponible en: <https://es.rs-online.com/web/p/cilindros-lineales-neumaticos/1214661>.

11. Compressor L24, 1500 W. [en línea], [sin fecha]. [consulta: 3 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.biltema.no/en-no/tools/compressed-air/compressors/compressor-l24-1500-w-2000045125>.
12. CRACOWSKI, J. y ROUSTIT, M., 2020. Human Skin Microcirculation. En: R. TERJUNG (ed.), *Comprehensive Physiology* [en línea]. 1. S.I.: Wiley, pp. 1105-1154. [consulta: 31 enero 2024]. ISBN 9780470650714. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cphy.c190008>.
13. Dahle, H., Mirtaheri, P., Korostynska, O., & Engell, H. (2022). *The Role of the Heel as a Mechanical Sensor in Postural Control and Human Balance* [Master thesis]. Oslomet.
14. Filamento impresora 3D UltiMaker PLA a la venta en la Tienda Sicnova. [en línea], [sin fecha]. [consulta: 3 febrero 2024]. Disponible en: <https://tienda.sicnova3d.com/ultimaker-materiales/6624-filamento-impresora-3d-ultimaker-pla>.
15. GaitLine | World's Most Comfortable Shoes | Official Online Store. GaitLine US [en línea], [sin fecha]. [consulta: 31 enero 2024]. Disponible en: <https://gaitline.com/>.
16. Gibbs' Reflective Cycle. The University of Edinburgh [en línea], 2020. [consulta: 31 enero 2024]. Disponible en: <https://www.ed.ac.uk/reflection/reflectors-toolkit/reflecting-on-experience/gibbs-reflective-cycle>.
17. Guyton, A. C. (2006). *Textbook of medical physiology* (11th ed.). Elsevier Saunders.
18. HANDLER, A. y GINTY, D.D., 2021. The mechanosensory neurons of touch and their mechanisms of activation. *Nature Reviews Neuroscience* [en línea], vol. 22, no. 9, [consulta: 31 enero 2024]. ISSN 1471-003X, 1471-0048. DOI 10.1038/s41583-021-00489-x. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41583-021-00489-x>.
19. History of pneumatics: A timeline of evolution. [en línea], [sin fecha]. [consulta: 31 enero 2024]. Disponible en: <https://www.pneumatictips.com/pneumatics-ages-timeline-evolution-2/>.
20. IBRAHIM, A.A.E., BAGHERANI, Nooshin, SMOLLER, B., BAGHERANI, Negin y REYES-BARRON, C., 2022. Anatomy and Organization of Human Skin. En: B. SMOLLER y Nooshin BAGHERANI (eds.), *Atlas of Dermatology, Dermatopathology and Venereology* [en línea]. Cham: Springer International Publishing, pp. 109-132. [consulta: 31 enero 2024]. ISBN 9783319538105. Disponible en: [https://link.springer.com/10.1007/978-3-319-53811-2\\_3](https://link.springer.com/10.1007/978-3-319-53811-2_3).
21. Módulo de pesaje electrónico HX711 (ref: 0015) – electronperdido.com. [en línea], [sin fecha]. [consulta: 3 febrero 2024]. Disponible en: <https://electronperdido.com/shop/sensores/fuerza/modulo-de-pesaje-electronico-hx711/>.

22. Norgren V50A511A-A2000 Inline Valves - Solenoid New NMP. [en línea], [sin fecha]. [consulta: 3 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.maxodeals.com/es/v50a511a-a2000-32735x0077>.
23. LM317T STMicroelectronics | Mouser. Mouser Electronics [en línea], [sin fecha]. [consulta: 3 febrero 2024]. Disponible en: <https://mou.sr/3HIGIjx>.
24. Oxidative phosphorylation | Biology (article). Khan Academy [en línea], [sin fecha]. [consulta: 31 enero 2024]. Disponible en: <https://www.khanacademy.org/science/ap-biology/cellular-energetics/cellular-respiration-ap/a/oxidative-phosphorylation-etc>.
25. Rail Acero Inoxidable 3x120 cm. Mar de Fondo [en línea], [sin fecha]. [consulta: 3 febrero 2024]. Disponible en: <https://mardefondo.shop/producto/rail-acero-inoxidable-3x120-cm/>.
26. Resistencia 1K ohm 0,25w  $\pm$ 5% 300v. ElectroComponentes.es [en línea], [sin fecha]. [consulta: 3 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.electrocomponentes.es/fijas/39-resistencia-1k-ohm-025w.html>.
27. Resistencia 6K8 ohm 0,25w  $\pm$ 5% 300v. ElectroComponentes.es [en línea], [sin fecha]. [consulta: 3 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.electrocomponentes.es/fijas/47-60-resistencia-6k8-ohm-025w.html>.
28. SEN GUPTA, A., 2019. Hemoglobin-based Oxygen Carriers: Current State-of-the-art and Novel Molecules. Shock [en línea], vol. 52, no. 1S, [consulta: 31 enero 2024]. ISSN 1073-2322, 1540-0514. DOI 10.1097/SHK.0000000000001009. Disponible en: <https://journals.lww.com/10.1097/SHK.0000000000001009>.
29. STORBYUNIVERSITETET, O.-, [sin fecha]. European Project Semester (EPS). [en línea]. [consulta: 31 enero 2024]. Disponible en: <https://www.oslomet.no/en/study/tkd/european-project-semester>.
30. Ultimaker S3. impresoras3d.com [en línea], [sin fecha]. [consulta: 3 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.impresoras3d.com/producto/ultimaker-s3/>.
31. VÄLISUO, P., 2015. Optical methods for assessing skin flap survival. Biophotonics for Medical Applications [en línea]. S.l.: Elsevier, pp. 331-346. [consulta: 31 enero 2024]. ISBN 9780857096623. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780857096623000129>.
32. What is Scrum? | Scrum.org. [en línea], [sin fecha]. [consulta: 31 enero 2024]. Disponible en: <https://www.scrum.org/resources/what-scrum-module>.
33. ZEGARRA-PARODI, R., SNIDER, E.J., SOO PARK, P.Y. y DEGENHARDT, B.F., 2014. Laser Doppler Flowmetry in Manual Medicine Research. Journal of Osteopathic Medicine [en línea], vol. 114, no. 12, [consulta: 31 enero 2024]. ISSN 2702-3648. DOI 10.7556/jaoa.2014.178. Disponible en: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.7556/jaoa.2014.178/html>.