



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería electrónica Industrial y automática**

**Control automático de velocidad en un  
vehículo para la realización de ensayos de  
impacto.**

**Autor:**

**Gómez Marín, Sergio**

**Tutores:**

**Mansilla Gallo, Alberto**

**Manso Burgos, José Gabriel**

Dpto. Ciencia de los Materiales e Ingeniería  
Metalúrgica, Expresión Gráfica en la Ingeniería,  
Ingeniería Cartográfica, Geodesia y  
Fotogrametría, Ingeniería Mecánica e Ingeniería  
de los Procesos de Fabricación

**Valladolid, 05-2019.**



---

**Universidad de Valladolid**



# Resumen

La finalidad de este proyecto es obtener una señal simulada de un pedal electrónico, que conseguirá controlar la aceleración de un vehículo real con el que se realizan ensayos de impacto en una pista de choque.

Para ello construiremos un banco de pruebas que nos ayudara a obtener los parámetros necesarios y la señal óptima de control.

**Palabras clave:** banco de pruebas, autómata, lazo de control, LabVIEW, PID.

# Abstract

The purpose of this project is to obtain a simulated signal from an electronic pedal, which will control the acceleration of a real vehicle with which impact tests are made on a crash track.

For this we will build a test bench that will help us obtain the necessary parameters and the optimal control signal.

**Key Words:** test bench; automatic control; control loop; LabVIEW; PID.



---

**Universidad de Valladolid**



## Índice

Introducción y objetivos. ....	7
Descripción del control de velocidad del vehículo. ....	10
El vehículo de pruebas. ....	10
Esquema real del control de la velocidad en el vehículo. ....	13
Explicación del funcionamiento del pedal electrónico en un vehículo ¿Cómo funciona?: ....	14
Sensor de medida de la velocidad. ¿Qué es y cómo funciona? ....	19
Tipos de sensores ABS: ....	20
Diseño y construcción del banco de pruebas. ....	25
Variador de frecuencia y motor de las pruebas. ....	29
Motor AEG trifásico VDE 0530. ....	29
Variador de frecuencia RS 510. ....	30
ECM del vehículo y nuestro NI cDAQ-9174. ....	32
El entorno de trabajo. ....	36
Desarrollo software de la señal del pedal electrónico. ....	38
Control manual. ....	38
Control automático. ....	42
Sistemas de control cerrados. ....	42
¿Qué es un PID? ....	43
Cálculo de los parámetros del PID. ....	48
Método de Ziegler y Nichols. ....	50
Algoritmo de la selección del modo de conducción. ....	53
Verificación del sistema en el banco de ensayos. ....	56
Conclusiones. ....	59
Bibliografía. ....	63
Anexos. ....	65
Anexo – 1. Hojas de características cdaq-9174 ....	65
Anexo –2. Hojas de características NI-9220. ....	68
Anexo –3. Hojas de características NI-9263. ....	71
Anexo –4. Programa completo LABVIEW. ....	75
Anexo –5. Dibujo cotas banco de pruebas. ....	78



---

**Universidad de Valladolid**

## Introducción y objetivos.

El objetivo de este trabajo es el obtener la señal de voltaje de un pedal electrónico que llegará a la unidad de control del motor de la forma más óptima, gracias a la implementación de un PID junto con sus parámetros, para controlar la aceleración de un vehículo real.

Hacer que esta señal sea estable y aun así obtener la aceleración en el menor tiempo posible será algo prioritario. Para esto recurriremos a la construcción de un banco de pruebas donde realizaremos los ensayos de los diferentes parámetros gracias a las aproximaciones entre las piezas reales del vehículo y las utilizadas en el banco.

Pero antes debemos familiarizarnos con algunos conceptos no siempre bien conocidos por todos, como es el saber qué es el limitador de velocidad y el control de velocidad.

### ¿En qué consiste un limitador?

Con el paso del tiempo los vehículos han ido aumentando de prestaciones, potencia, seguridad...etc. Han ido incluyendo una electrónica de control capaz de gestionar en tiempo real cada parte que lo compone, de tal forma que el usuario tiene a su mano una gran cantidad de información que lo ayuda en la toma de decisiones a la hora de realizar el acto de conducir.

Toda esta evolución en la electrónica en el automóvil se traduce en una mayor seguridad, confort y consumo. Es por esto que el objetivo de todo este trabajo sea mucho más amplio que simplemente entender cómo funciona dicho control de velocidad, si no, en posibles ventajas y desventajas en comparación con los ya existentes o incluso en un futuro sustituir lo ya diseñado por otro autómata con mejores prestaciones.



Figura 1 Recuperado de <https://www.motor.mapfre.es/accesorios/noticias-accesorios/limitador-velocidad/>



Introduciendo de forma más concreta este trabajo; dado que el vehículo y las equivalencias entre las piezas reales y las usadas en las pruebas se harán más adelante, explicaremos de forma global que problema nos encontramos y que herramientas nos han ayudado a solventar las pruebas.

Hoy en día prácticamente todo el mundo conoce lo que es un control de velocidad o ha oído hablar de ello, es un sistema que apoya a la conducción manteniendo una velocidad fijada de antemano, sin que el conductor tenga que presionar el pedal del acelerador, el propio vehículo se encargaría de realizar las labores de frenado y aceleración por él, de una forma suave y controlada.



Figura 2 Recuperado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Control\\_de\\_velocidad](https://es.wikipedia.org/wiki/Control_de_velocidad)

Todo esto tiene una implicación directa sobre el grado de fatiga del conductor, consiguiendo un menor cansancio al reducir el número de tareas, y centrarse en manejar únicamente la dirección. Por no hablar de evitar posibles multas debido al exceso de velocidad en algunos tramos gracias a un ritmo de conducción constante y relajada.

Ahora que hemos recordado qué es un control de velocidad; ¿Qué es un limitador?

Continuando con la explicación anterior esto es sencillo, permite al usuario establecer una velocidad máxima a la que se desea circular, la diferencia básica con el crucero, es que el conductor está obligado a manejar el pedal del acelerador, es decir; a realizar el acto de conducir completo no estando obligado a rebasar la consigna previa. Cuando esto sucede el sistema avisa con sonidos y alertas luminosas al conductor no dejándole rebasar ese límite.

El funcionamiento de estos dos dispositivos como hemos podido comprobar son muy diferentes, ya que los limitadores son muy útiles en autopistas, autovías y trayectos largos, evitando frenazos y acelerones bruscos lo que repercute directamente en un mejor rendimiento del combustible.

Un detalle en la implementación de estos dispositivos, es que en vehículos de particulares no será obligatorio hasta el año 2022 pero, en aquellos vehículos destinados al transporte de personas (más de ocho asientos), y mercancías (más de 3500 Kg) están obligados a su instalación.

Además, existe una directiva europea para la legislación del transporte que pretende regular todo este sector, define en qué condiciones un vehículo debe instalar este dispositivo y cuales están exentos:





- Los que no puedan sobrepasar velocidades entre 90 y 100 km/h para mercancías y pasajeros.
- Vehículos oficiales de cuerpos de seguridad, fuerzas armadas, servicios de urgencias...etc.
- Los que tengan finalidad de ensayos científicos.
- Los utilizados para el servicio público de transporte en áreas urbanas.

## Descripción del control de velocidad del vehículo.

Dado que ya sabemos un poco más de estos dispositivos, vamos a tratar de particularizarlo para nuestro problema real. Necesitamos conseguir acelerar un vehículo, que remolca o arrastra a otros debido a su gran potencia para la realización de ensayos de impacto; es decir el coche de pruebas chocara con ciertos materiales de la seguridad vial por parte de la empresa, para comprobar su fatiga y resistencia.

Entonces es necesario que el automóvil que colisiona lo haga a una velocidad fija y estable, pero esto es complicado de conseguir, debido a que el vehículo que tracciona es manejado por un operario y su conducción puede no ser precisa, siendo el espacio de aceleración limitado (apenas 200m), por no indicar los problemas de seguridad que puede conllevar.

### El vehículo de pruebas.

Para poder realizar el proyecto, necesitamos partir de un vehículo de pruebas para asemejar nuestras piezas del laboratorio, en este caso partiremos de un Porsche Cayenne Biturbo (2007-2008) 500 CV, el cual es utilizado en la pista antes mencionada para empujar a otros vehículos con motivo de realizar ensayos de deformación en algunos tipos de metales, con el impacto de otros vehículos, y poder realizar ajustes y mejoras en ellos; guardarraíles de autopistas, farolas, señales de tráfico...etc.



Figura 3 Recuperado de <https://www.arpem.com/coches/coches/porsche/cayenne/modelos-08/porsche-cayenne-500-turbo.html>

Adjuntamos una pequeña ficha técnica del vehículo para que se entienda mejor las dimensiones y potencias del mismo:

Prestaciones y consumos homologados	
<b>Velocidad máxima</b>	275 km/h
<b>Aceleración 0-100 km/h</b>	5,1 s
<b>Aceleración 0-1000 m</b>	24,2 s
<b>Recuperación 80-120 km/h en 4ª</b>	No disponible
<b>Consumo urbano</b>	22,5 l/100 km
<b>Consumo extraurbano</b>	10,5 l/100 km
<b>Consumo medio</b>	14,9 l/100 km
<b>Emisiones de CO<sub>2</sub></b>	358 gr/km
<b>Normativa de emisiones</b>	No disponible

Tabla 1; Consumos homologados Recuperado de <https://www.km77.com/coches/porsche/cayenne/2007/estandar/turbo/cayenne-turbo/datos>

Motor de Combustión	
<b>Propósito</b>	Impulsar el vehículo
<b>Combustible</b>	Gasolina
<b>Potencia máxima</b>	500 CV / 368 kW
<b>Revoluciones potencia máxima</b>	6.000 rpm
<b>Par máximo</b>	700 Nm
<b>Revoluciones par máximo</b>	2.250 - 4.500 rpm
<b>Situación</b>	Delantero longitudinal
<b>Número de cilindros</b>	8
<b>Disposición de los cilindros</b>	En V
<b>Material del bloque</b>	Aluminio
<b>Material de la culata</b>	Aluminio
<b>Diámetro</b>	96 mm
<b>Carrera</b>	83 mm
<b>Cilindrada</b>	4.806 cm <sup>3</sup>
<b>Relación de compresión</b>	10,5 a 1

Tabla 2; Características del motor. Recuperado de <https://www.km77.com/coches/porsche/cayenne/2007/estandar/turbo/cayenne-turbo/datos>



Transmisión	
<b>Tracción</b>	Total
<b>Caja de cambios</b>	Automático
<b>Número de velocidades</b>	6
<b>Tipo de mando</b>	No disponible
<b>Tipo de Embrague</b>	No disponible
<b>Tipo de mecanismo</b>	No disponible
<b>Desarrollos</b> (km/h cada 1.000 rpm)	
1 <sup>a</sup>	9,9
2 <sup>a</sup>	17,4
3 <sup>a</sup>	26,5
4 <sup>a</sup>	35,6
5 <sup>a</sup>	48
6 <sup>a</sup>	59,8
R	12,2

Tabla 3; Transmisión del vehículo Recuperado de <https://www.km77.com/coches/porsche/cayenne/2007/estandar/turbo/cayenne-turbo/datos>

Hasta este punto hemos tenido cierto contacto con el vehículo, pero por la mucha demanda que tiene la empresa de él, cada vez que he necesitado alguna información he acudido a mi tutor de las prácticas que me ha facilitado toda la información necesaria de piezas, esquemas, sensores.

## Esquema real del control de la velocidad en el vehículo.

En un primer lugar, pasamos a explicar el esquema real de cómo trata el vehículo la velocidad a través de su propia electrónica para entender que piezas necesitamos y como lo vamos a implementar.

Es simple; todo el esquema se reduce a un pedal electrónico que en función de la posición, genera una señal eléctrica; esta señal es captada por el ordenador del vehículo o también llamado ECM, que según la lógica de programación propia de la marca realiza un tratamiento de la señal y genera una salida.

Esta salida regula una válvula restringiendo el caudal de aire y combustible que llega a la cámara de combustión, el motor aumenta de revoluciones según el combustible que recibe y este aumento o disminución de la velocidad lo capta el sensor ABS para mostrarla en el cuadro de instrumentos. Más adelante explicaremos cada pieza en detalle pero esto nos sirve para tener una visión global del esquema de cómo podemos atacar el problema para este controlador.

Un detalle importante es el mencionado ECM (ordenador de control del vehículo) el cual no podemos modificar ni programar; esto nos hace tener la primera consideración para solventar el problema real. Necesitaremos simular la señal del pedal hacia este ordenador para que crea que se trata del propio pedal y el vehículo acelere.



Figura 4. ECM del vehículo. Recuperado de [http://psas.scripts.mit.edu/home/get\\_pdf.php?name=1-5-ETC-system-description.pdf](http://psas.scripts.mit.edu/home/get_pdf.php?name=1-5-ETC-system-description.pdf)

## Explicación del funcionamiento del pedal electrónico en un vehículo ¿Cómo funciona?:

El pedal electrónico de aceleración es una pieza básica en el control del automóvil, en sus inicios se encontraba unido mecánicamente al motor a través de un cable de acero, pero según han ido avanzando y perfeccionándose la electrónica han ido evolucionando con ella dando lugar al acelerador electrónico; es decir seguir controlando la posición de la mariposa o de la inyección pero de forma electrónica.



Figura 5. Pedales y cable antiguos. Recuperado de <http://fdetonline.com/acelerador-electronico-funciona/>

El pedal electrónico, gestiona una señal que trabaja en diferencia de potencial, hacia el ECM antes mencionado (figura 4) del vehículo, que es el encargado de gestionar todas las señales que proceden de los miles de diferentes sensores que contiene cada utilitario; esta ECM recibe la señal procedente del pedal y según su programación, genera una señal eléctrica de salida hacia la mariposa de admisión como hemos visto anteriormente, la velocidad aumenta y esto lo registra el sensor ABS, encargado de hacernos llegar la referencia al panel de mandos; por tanto en este punto, llegamos a una conclusión básica, y es que la ECM de nuestro vehículo no lo vamos a poder modificar ya que está programado de forma muy específica y es casi imposible poder llegar a re-programar, por tanto únicamente en el momento que queramos pasar a un modo de aceleración automática, simularemos la señal del pedal electrónico puenteando el verdadero pedal electrónico, e introduciendo nuestra propia señal “engañando” a este controlador.

De forma muy general, todo el conjunto del acelerador electrónico se basa en un sensor de mayor o menor rango, que capta la posición en ese instante y como hemos avanzado anterior mente, comunica esta señal con el ECM; este ordena al actuador que modifique la apertura de la mariposa de admisión (servo motor), cuya posición a su vez el detectada por otro sensor. Mencionamos que no vamos a hacer distinción entre vehículos diésel y gasolina ya que únicamente se diferencian en la forma de inyectar el combustible en la cámara de combustión.



Figura 6; Mariposa de admisión. Recuperado de <http://fdetonline.com/acelerador-electronico-funciona/>

La parte más importante de este pedal electrónico es el propio sensor o APP (Accelerator Pedal Position), se encuentra encapsulado en el interior y existen muchos tipos de sensores, pero los más extendidos son los de tipo resistivo.

Desde el punto de vista electrónico son muy sencillos, ya que se basa en un divisor de tensión con un potenciómetro o resistencia variable.

Su funcionamiento es aplicando una diferencia de potencial entre los terminales 1 y 3, siendo el 2 un terminal variable según el movimiento del propio pedal, así su propia salida (terminal 2) será variable según dicha posición; se puede saber su valor de voltaje de salida según la relación (figura 7):

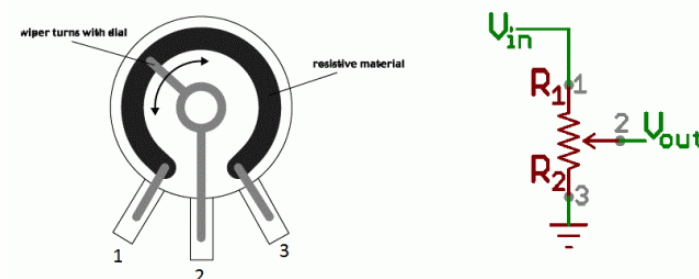


Figura 7; Divisor de tensión. Recuperado de <http://fdetonline.com/acelerador-electronico-funciona/>

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{R1+R2} * R2$$

Figura 8; Fórmula matemática del divisor de tensión. Recuperado de <http://fdetonline.com/acelerador-electronico-funciona/>

Vout por tanto en los valores máximos y mínimos del recorrido tendrá un valor de Vin o 0V respectivamente, este dato es sumamente importante ya que así podremos obtener el máximo rango de valores y obtener una señal eficaz y sensible.

Por esto, realizamos una inspección a nuestro vehículo para averiguar el modelo de pieza exactas que necesitamos nos encontramos con un sensor resistivo (figura 9).



Figura 9; Modelo del pedal en el Porsche.

El pedal para las pruebas en el laboratorio nos lo facilitaron desde un desguace cercano, procedía de un vehículo (Volkswagen passat 2012), que montaba el mismo modelo de pedal, modelo exacto: 7L0 723 507 D.

Entonces, si ya conocemos el modelo del pedal y su tecnología, ¿Por qué nos encontramos con seis terminales de salida?



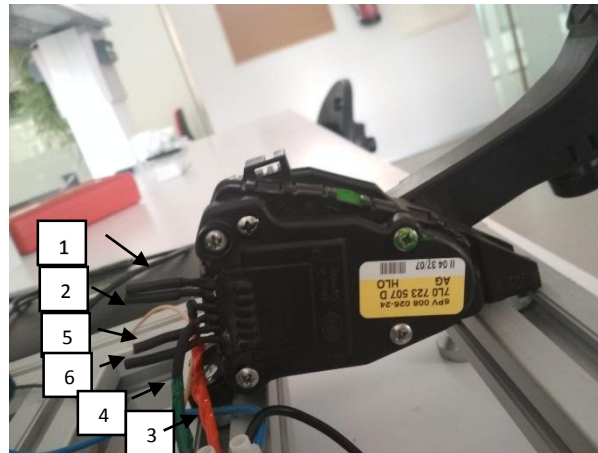


Figura 10; Modelo del pedal en el Porsche.

Es fácil; como hemos hablado anteriormente el pedal es una pieza muy relevante en la principal función de cualquier vehículo; moverse, también lo es en seguridad, entonces tiene que aparecer analizado el posible fallo del sensor, por esto, las medidas que arroja el pedal están duplicadas, es decir tenemos dos sensores de tal forma que el ECM tomará una diferencia de las medidas para comprobar si estas miden correctamente, aunque una medida sea incongruente no tiene por qué estar mal, aquí entra en juego la lógica que se persiga según el diseño del sistema de aceleración, y si según esta lógica es errónea avisara al usuario con los correspondientes avisos y luces de señal.

Teniendo el pedal físico con nosotros y sabiendo cómo funciona, necesitamos en un futuro (cuando la bancada de pruebas esté terminada), poder controlar el motor con este pedal electrónico, por tanto estudiaremos las salidas reales que nuestro pedal nos da en los terminales, los cuales vemos en la figura 10.

Estos terminales de salida se componen de dos potenciómetros, como hemos explicado anteriormente, nosotros hemos trabajado con uno directamente para evitar la mayor complejidad que supondría sacar los seis terminales y realizar la medición diferencial, insisto que todo esto es de forma experimental.

Observamos que entre los terminales 3-4 de nuestro conector obtenemos la mayor variación de resistencia (realizando las medidas con un multímetro entre todos los terminales  $1.046-1.883 \Omega$ ), lo que nos ofrece un mayor rango de manejo del motor en un futuro.

Pero claro en este punto nos encontramos el primer problema de instrumentación; si alimentamos estos terminales (terminales 3-4) con una CC y realizamos la medición, siempre obtendremos la misma media ¿Cómo podemos solucionar esto?

Sencillo; instalando un divisor de tensión antes de estos terminales 3-4, en este caso una resistencia de  $220 \Omega$ , y el conjunto alimentándolo con una fuente de

alimentación de 5V CC. La medición por tanto de esta variación de tensión, se obtendrá en los propios terminales 3-4, obteniendo un esquema como se puede observar en la figura 11.

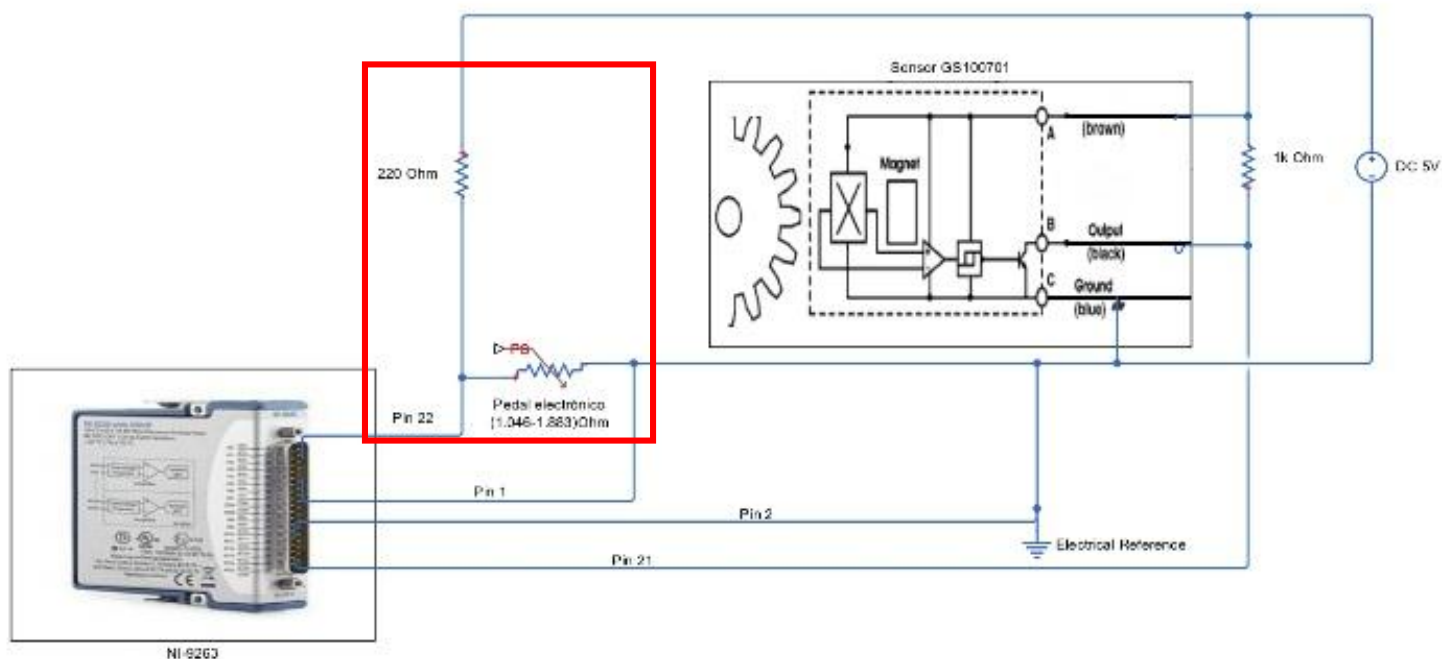


Figura 11; Esquema electrónico pedal y sensor ABS.

Como se puede intuir en la figura, todos los sensores posteriores (ABS) estarán alimentados a 5 V así solo utilizaremos una fuente de alimentación.

Destacamos el divisor de tensión que construimos, para tomar una medida precisa de la resistencia variable gracias a la tarjeta de NI (señalado en rojo en la figura).

### Sensor de medida de la velocidad. ¿Qué es y cómo funciona?

El ABS o también llamado sistema antibloqueo, constituye un elemento de seguridad del vehículo. Su principal función es minimizar en mayor medida el riesgo de accidentes mediante el control del proceso de frenado. Durante el frenado existe un riesgo muy alto que la rueda quede bloqueada, el ABS tiene como finalidad el realizar un control adaptativo del líquido de freno que controla el sistema de frenado de cada rueda, mejorando la estabilidad en la conducción; la direccionalidad; la distancia de parada.

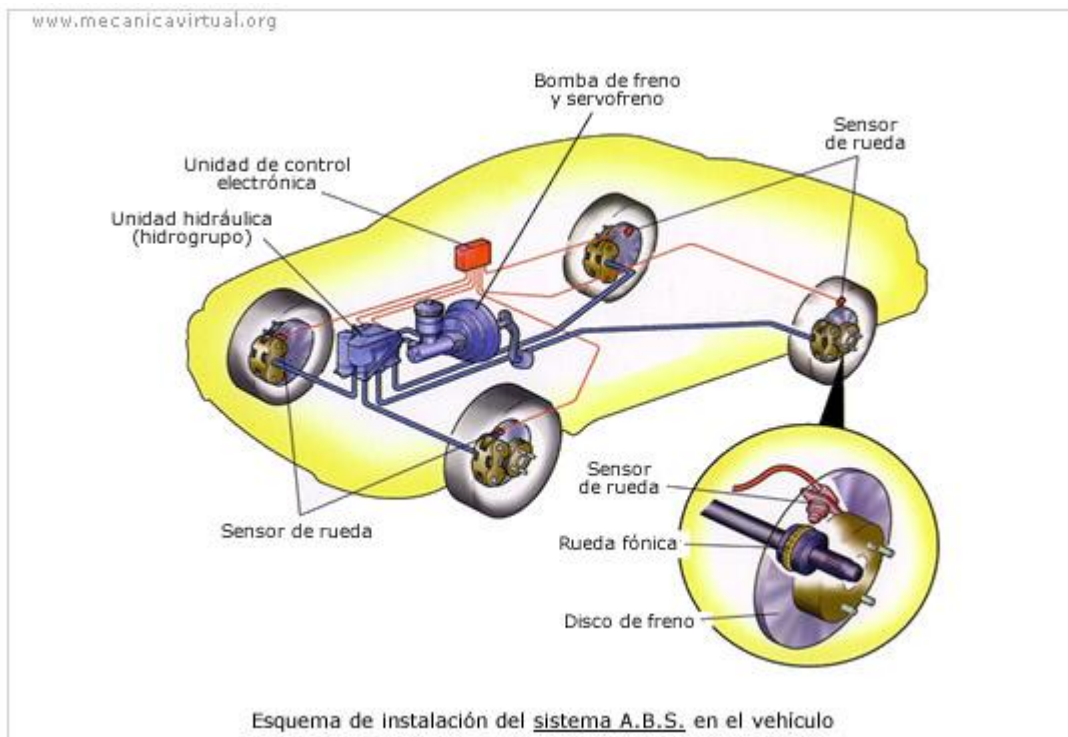


Figura 12; Sistema ABS. Recuperado de <http://www.mecanicavirtual.org>

La ubicación de este tipo de sensores pueden ser muy variadas, de forma habitual suele estar colocado en una zona próxima al porta mangueta de la rueda, para determinar la velocidad de giro enviando esta señal de control al ECM. Si esta unidad detecta que hay un descenso muy significativo en la velocidad; esta tecnología interviene modulando la presión de frenado individualmente en cada rueda evitando que se queden bloqueadas y patinen sobre el asfalto permitiendo tener un control del vehículo; es decir evita un frenado brusco haciendo que la rueda siga girando levemente.

Esta información es utilizada por otros componentes del vehículo como los sistemas de navegación GPS o las cajas de cambios (en vehículos automáticos), sistemas electrónicos de estabilidad, de ascenso de pendientes...etc.

### Tipos de sensores ABS:

Como la importancia de estos sensores es elevada, han tenido mucha evolución y mucha variedad de tecnología, por tanto podemos realizar una clasificación según su tecnología.

Los tipos de sensores más habituales son:

- Sensores pasivos.
- Sensores pasivos.

#### *Sensores ABS pasivos (Inductivos):*

Se distinguen por estar asociados a una rueda dentada, más grandes que la media y con menor precisión; no empiezan a funcionar hasta que no alcanza la velocidad de rotación determinada mínima.

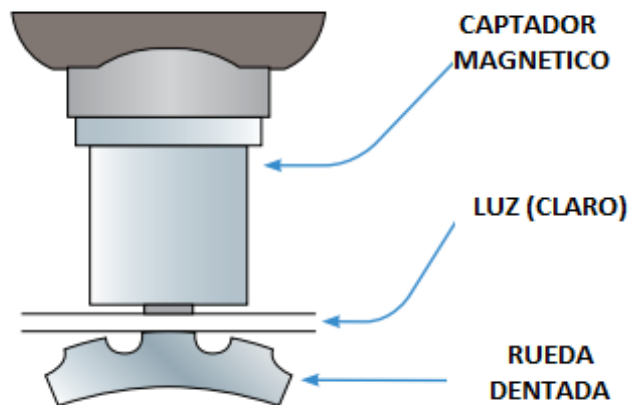


Figura 13; Sistema ABS. Recuperado de <http://www.mecanicavirtual.com>

Se basa en una bobina que rodea un núcleo magnético y un imán permanente, la variación de flujo magnético que producen en los dientes de la rueda, induce una tensión en forma sinodal, proporcional a la velocidad de la rueda.

#### *Sensores ABS activos:*

Se les denomina activos ya que requieren de una fuente de alimentación externa, la señal de salida que se obtiene es de tipo cuadrada repetida, siendo su frecuencia proporcional a la velocidad de la rueda a medir, como alimentamos de una fuente externa, este tipo de sensores son más precisos, ya que inicialmente (velocidad cero) obtenemos medida al igual en velocidades muy bajas.

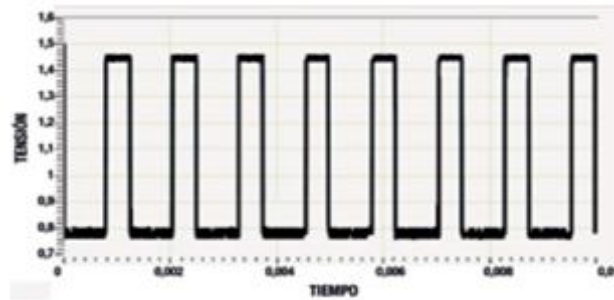
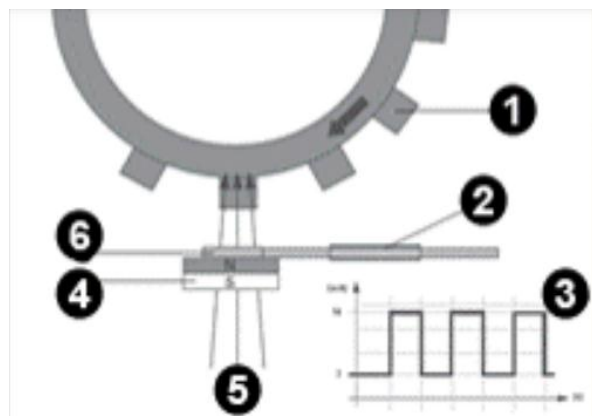


Figura 14; Recuperado de <http://www.mecanicavirtual.com>

Dentro de este tipo encontramos:

### Sensor ABS tipo Hall:

De elevada precisión, se componen de un semiconductor asociado a un circuito electrónico, protegiendo al sensor de posibles picos de tensión que dañarían el circuito y un imán permanente. Su funcionamiento se basa en el efecto hall, que consiste en la generación de un voltaje variable transversal al campo magnético.



1. Rueda dentada.
2. Conector.
3. Tipo de señal.
4. Imán permanente.
5. Campo magnético.
6. Sensor Hall.

Figura 15; Recuperado de <http://www.mecanicavirtual.com>

El imán permanente se integra detrás del sensor hall creando un campo magnético que atraviesa la sonda hall, y la rueda dentada. Cuando se produce giro, se genera una variación en el campo magnético, el sensor mide esta variación y trata los cambios mediante una señal rectangular de voltaje, al igual que los sensores ABS activos. La señal no depende de la velocidad, por lo tanto la señal es muy fiable incluso a 0 RPM:

### Sensores ABS Hall con anillo codificador magnético.

Aquí la variación del campo magnético es debido al cambio de polaridad de una rueda pre imantada seccionalmente. En este caso el sensor hall no tiene integrado ningún imán permanente, permitiendo que su construcción sea muy reducida, de forma habitual el cojinete de la ruda alberga a este disco para ahorrar espacio.

1. Disco codificador.
2. Sensor Hall.
3. Cuerpo del sensor.

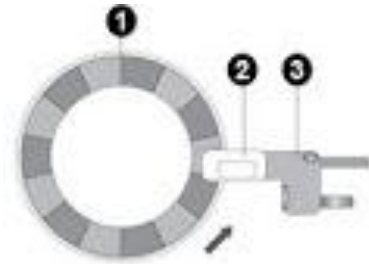


Figura 16; Recuperado de <http://www.mecanicavirtual.com>

### Sensor ABS magnético resistivo (AMR):

Este tipo de sensores son prácticamente insensibles a la distancia del codificador transmitiendo una señal muy fiable. El sensor se monta encima de un codificador magnético y como los anteriores miden el campo magnético en sentido transversal; con esta variación en el campo se puede determinar la velocidad y el sentido de giro de rotación.

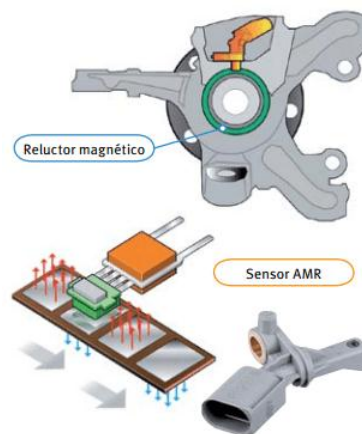


Figura 17; Recuperado de <http://www.mecanicavirtual.com>

Para nuestro caso particular y después de realizar pruebas con otros sensores, utilizaremos el modelo suministrado por RS (con su correspondiente hoja de características), el sensor ZF GS100701. Tomamos la decisión de optar por este, porque según el utilizado por la marca Porsche, es un sensor que traba en una frecuencia similar al original, para poder obtener resultados lo más precisos posibles a la realidad.



Figura 18; Recuperado de <https://es.rs-online.com/web/p/sensores-de-efecto-hall/7659321/>

Como detalle en su manejo, una vez después de leer de forma detallada el datasheet, nos damos cuenta que necesitamos una resistencia en Pull-Up para que pueda funcionar.

**Recommended external pull-up resistor:**

Volts DC	5	9	12	15	24
Ohms	1k	1.8k	2.4k	3k	3k

**Open Collector Sinking Block Diagram**

**Contact**  
Call, fax or visit our website  
For more information.

**ZF Electronics Corporation**  
11200 88th Avenue  
Pleasant Prairie, WI 53158

Phone: 262.942.6500  
Web: [www.cheernycorp.com](http://www.cheernycorp.com)  
E-Mail: [cep\\_sales@zf.com](mailto:cep_sales@zf.com)  
Fax: 262.942.6566

© 2008 ZF Electronics Corporation Revised 083011

**For best results, we recommend targets made from low carbon cold rolled steel. Other factors that influence sensor performance include geartooth height and width, space between teeth, shape of the teeth and thickness of the target. As a general guideline, consider a target with the following minimum parameters:**

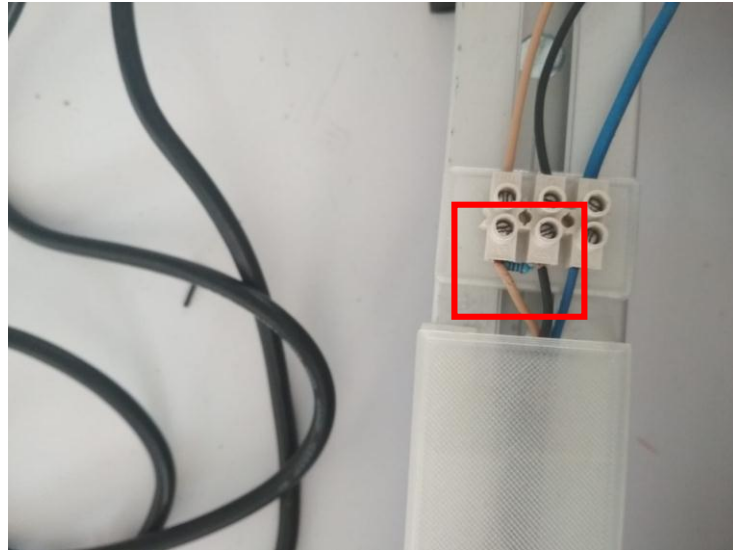
Tooth Height	Tooth Width	Distance Between Teeth	Target Thickness
.200"	.100"	.400"	.250"

Specifications subject to change without notice.

Figura 19; Recuperado de <https://es.rs-online.com/web/p/sensores-de-efecto-hall/7659321/>



Como el pedal que utilizaremos no es más que un pequeño potenciómetro encubierto, optamos por elegir una tensión de trabajo de 5 V (figura 19 señalado en rojo) en continua para poder alimentar todos los sensores con una única fuente, ahorrando cables y simplificando el esquema.



*Figura 20. Detalle de la resistencia en Pull-Up ( $1k \Omega$ ).*



## Diseño y construcción del banco de pruebas.

Todos los componentes de los que hemos hablado anteriormente los instalaremos sobre unos perfiles de aluminio que disponemos en el almacén, en este caso son perfiles de 40x40, con una gran versatilidad.

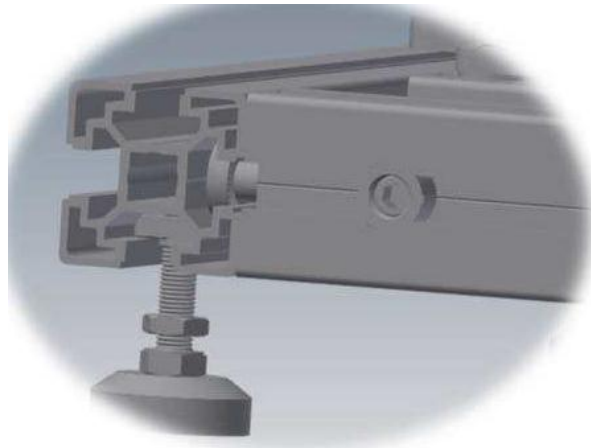


Figura 21. Detalle de unión de los perfiles utilizados.

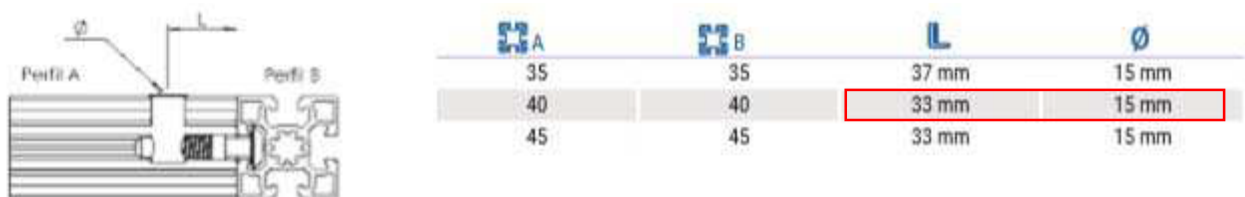
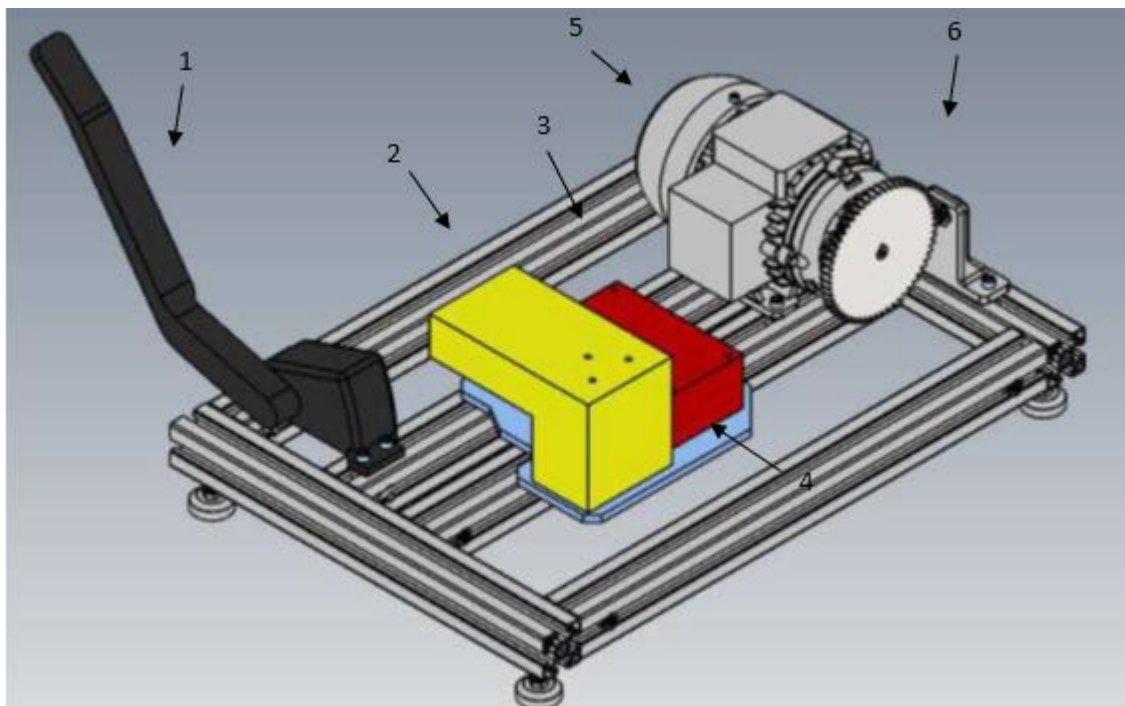


Figura 22. Detalle de unión de los perfiles utilizados.

Como podemos observar en las imágenes 21 y 22 para la unión de la superficie de nuestros perfiles, el fabricante nos da un elemento de unión específico (conector de cabeza redonda, ref.: 5352), para poder juntar todos nuestros perfiles con la distancia que deseamos, además de cierta tornillería específica para poder anclar todas las piezas.

Para poder instalar todo el conjunto es necesario, medir todas las piezas y buscar la solución más óptima con el menor gasto de material, por tanto nos apoyaremos en la impresión de algunas piezas con impresión 3D para que podamos colocar todo de forma eficiente.

Finalmente nos queda un banco de pruebas de la siguiente forma:



1 Pedal.	4 Placa de soporte.
2 Tarjeta de adquisición.	5 Motor eléctrico
3 Variador.	6 Sensor de velocidad.

Figura 23. Banco de pruebas

Las piezas que imprimiremos serán; una pieza que elevara el sensor de velocidad (ABS) y lo enfrentará a la rueda dentada, y un soporte para el variador y el bastidor de NI (cDAQ-9174):

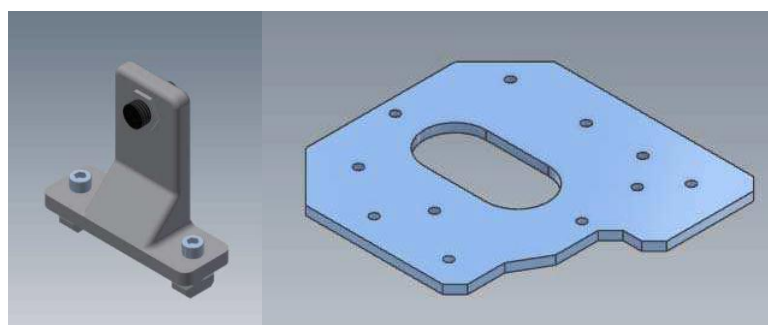


Figura 24. Piezas auxiliares impresas en 3D.

El material a imprimir será PLA; es un material con el que se pueden llegar a conseguir impresiones de calidad y con una aceptable resistencia, a pesar de no tener demasiadas cualidades elásticas, para nuestra aplicación es más que suficiente con dar rigidez a todo, y que sea lo suficientemente estable ante algunas vibraciones que todo el conjunto pueda sufrir.

Algunas propiedades de este tipo de materiales son:

- A nivel estético el PLA suele ofrecer un acabado muy preciso, y no es común la aparición de errores.
- La pieza resultante de la impresión es fácil de trabajar (lijar, taladrar o cortar) lo que amplía considerablemente sus posibilidades de uso.
- El PLA se puede pigmentar con facilidad, lo que hace que los fabricantes puedan ofrecer una enorme gama de colores de PLA. En otros materiales de impresión 3D la pigmentación resulta más compleja y los fabricantes ofrecen menos variedad.
- No produce gases tóxicos durante la impresión.
- La temperatura de impresión PLA es más baja que la mayoría de los otros filamentos, por lo que no es obligatorio el uso de cama caliente.
- Resistencia a la tracción (UTS): 50 MPa; Módulo de elasticidad (Young): 3.5 GPa; Resistencia a la flexión: 80 MPa.

*Cualidades extraídas de <https://www.impresoras3d.com/filamento-pla/>*



*Figura 25; Recuperado de <https://www.impresoras3d.com/filamento-pla/>*



Figura 26; Boninas de PLA Recuperado de  
<https://www.indiamart.com/proddetail/pla-filament-premium-quality-1-75mm-1kg-roll-seal-packed-15958167830.html>

## Variador de frecuencia y motor de las pruebas.

Para toda esta parte no podemos trabajar con un modelo aproximado del motor del porche, ya que sería casi imposible de tener en el laboratorio, además de la imposibilidad de simular la ECM del propio vehículo, por tanto y con las herramientas de las que disponemos, optamos por un pequeño motor eléctrico trifásico y un variador de frecuencia funcionando conjuntamente, a continuación pasamos a explicar algunas características de estos elementos.

Motor AEG trifásico VDE 0530.

Este tipo de motor utilizado entra en el grupo de motores cerrados, refrigerados superficialmente (IP 54 o IP 55), dispone de un rotor de jaula de ardilla 0.18 kW, con 4 polos a una alimentación asignada 220/380 V 50Hz.



Figura 27; Motor trifásico.

Siendo un motor bastante común y sencillo para esta aplicación no nos centraremos en sus características en exceso, ya que trabajara en vacío y controlado por un variador de frecuencia de calidad, que nos permitirá realizar arranques suaves. Sí que mencionaremos la forma de la conexión de las placas del estator, en triángulo ya que según podemos ver en su placa característica

para esta conexión tenemos una tensión nominal de 230V, y como el variador se encargara de realizar la puesta en marcha controlada, no tenemos ningún problema con el motor.

#### Variador de frecuencia RS 510.

Este elemento es de suma importancia para nuestra aplicación, ya que en todo momento trabajaremos con una tensión monofásica del laboratorio, y este conjunto es capaz de aún, alimentándolo con tensión monofásica a 230 V y 50 Hz; tener tres líneas de salida trifásica para alimentar el motor como podemos ver en la imagen 29.

Dejando de lado el posible truco de utilizar un condensador de grandes dimensiones, para conseguir alimentar un motor trifásico a partir de una línea monofásica que aprendimos en algunas asignaturas de la carrera.



Figura 28. Variador instalado en el banco de pruebas.

**STEP 1** Check Nameplate and Connect Input / Output Wiring -

Check the inverter nameplate to insure that the information agrees with your order. Also insure that the power available is rated appropriately for the drive being used.

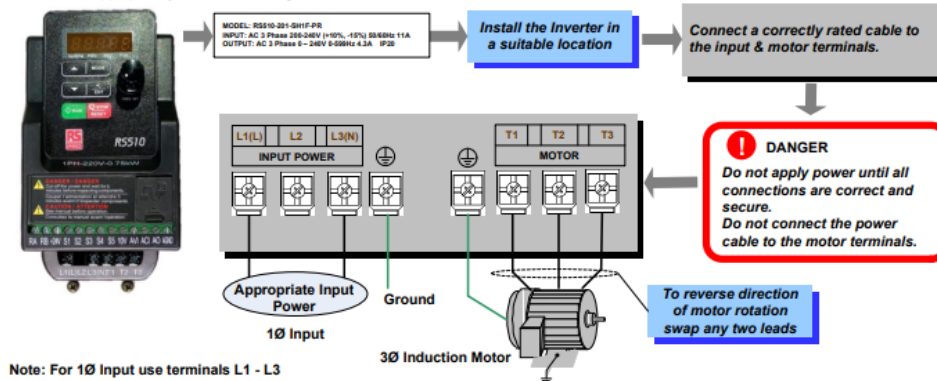


Figura 29; Recuperado de <https://docs-emea.rs-online.com/webdocs/15ad/0900766b815ad6dc.pdf>

Una vez solucionado el problema de la alimentación, tenemos que abordar otro igualmente importante; ¿cómo podemos controlar de forma externa este variador, y por tanto el motor?

Leyendo en detalle el manual de uso de este variador, nos damos cuenta que entre sus muchos modos hay uno que nos puede resultar bastante interesante para nuestra aplicación, y es la capacidad de modificar la frecuencia que alimenta al motor a través de un potenciómetro externo.

**STEP 6** Using an external potentiometer for speed control

**Default Setting:** The RS510 by default uses the keypad for frequency reference, follow instructions below to use a remote reference (external potentiometer).

**Instructions to change to remote reference:**

- Power down the drive, wait 10 mins.
- Make the connections as shown below in Fig. 2b.
- Verify that all connections are secure then power-up the drive.

**Do not apply power until all connections are correct and secure.**

After power-up set parameter **00-05=2** (Speed Reference from Control Terminals).

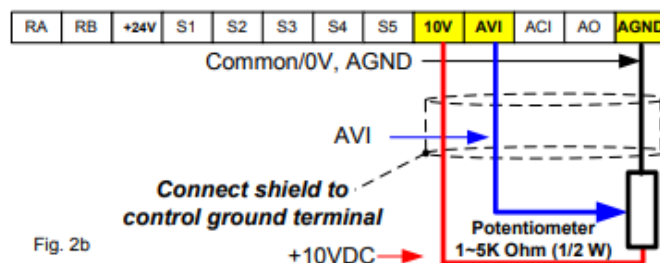


Figura 30; Recuperado de <https://docs-emea.rs-online.com/webdocsc/15ad/0900766b815ad6dc.pdf>



Un potenciómetro no es más que una diferencia de potencial variable, y es exactamente lo que sacamos a través del uno de los módulos que como podemos comprobar en la figura 32 hemos seleccionado; es decir utilizaremos este modo para controlar la velocidad del motor a través de una de las dos tarjetas de NI que nos ofrece una salida de voltaje. El variador siempre estará puesto en ese modo.

Tendremos que tener en cuenta observando las características de este modo que la tensión máxima que admite este rango varía entre 0 y 10 V por tanto todos los cálculos de la programación tendrán que ir orientados en ese rango.

### [ECM del vehículo y nuestro NI cDAQ-9174](#)

Para explicar que es el ECM de cualquier vehículo hemos tenido que entender con anterioridad que todas las piezas que componen nuestro automóvil necesitan comunicarse entre sí, además de controlar toda la información que recopilan los sensores. Esto es precisamente lo que hace el ECM; es un módulo electrónico responsable de recibir y transmitir las señales de todos los sensores de vehículo, vigilando posibles fallos en el sistema del automóvil. La ubicación de este ECM, depende de las marcas y del modelo que vayamos a estudiar.

Está basado en una programación cerrada y propia de cada marca, por lo que para solventar este problema del limitador de velocidad descartamos su manipulación y simplemente simularemos una señal de acelerador para hacer creer a este pequeño ordenador que se está presionando este actuador, cuando en realidad es una señal generada por nuestro autómatas.

Al contrario que para la elección de los sensores y actuadores mencionados anteriormente, aquí no tenemos ningún patrón a seguir, ya que el autómatas será la única parte del esquema que añadiremos para controlar la velocidad; el autómatas elegido será el proporcionado por National Instruments, para ser más concretos el bastidor NI cDAQ-9174 (el autómatas es el conjunto de bastidor y ordenador). Por si solo este elemento no realiza ninguna función, su principal objetivo es la comunicación del ordenador con los pequeños módulos o tarjetas que puede soportar; nos encontramos ante otra decisión; ¿qué módulos necesitaremos?





Figura 31; Recuperado de <http://www.ni.com/es-es/support/model.cdaq-9174.html>

Como he resumido anteriormente, los sensores que trabajan de forma real en el coche, tratan un tipo de señal de voltaje, entonces como primer módulo, resulta obvio que será un tarjeta capaz de leer por varios canales, señales de voltaje en un rango aproximado de -10 a 10v.

Seleccionamos el modulo NI-9220, capaz de recibir 16 canales de entrada simultánea, y unas características de instrumentación de primer nivel.



Figura 26; Recuperado de <http://www.ni.com/es-es/support/model.ni-9220.html>

También necesitaremos simular una señal de salida de voltaje hacia la ECM, siguiendo con el modulo anterior, escogemos el NI-9263, capaz de proporcionar 4 canales de salida analógica de voltaje de  $\pm 10$  V.



Figura 32 Recuperado de <http://www.ni.com/es-es/support/model.ni-9263.html>

Si el lector de esta memoria se interesa más por estos módulos, dejare en los anexos algunas hojas de características para posibles dudas que se puedan tener.

Antes de explicar toda la parte software y para terminar con la parte física de las conexiones, adjuntamos un esquema de cómo se realizan todas las conexiones con un identificador diferente para cada cable, además de una foto del banco de pruebas.

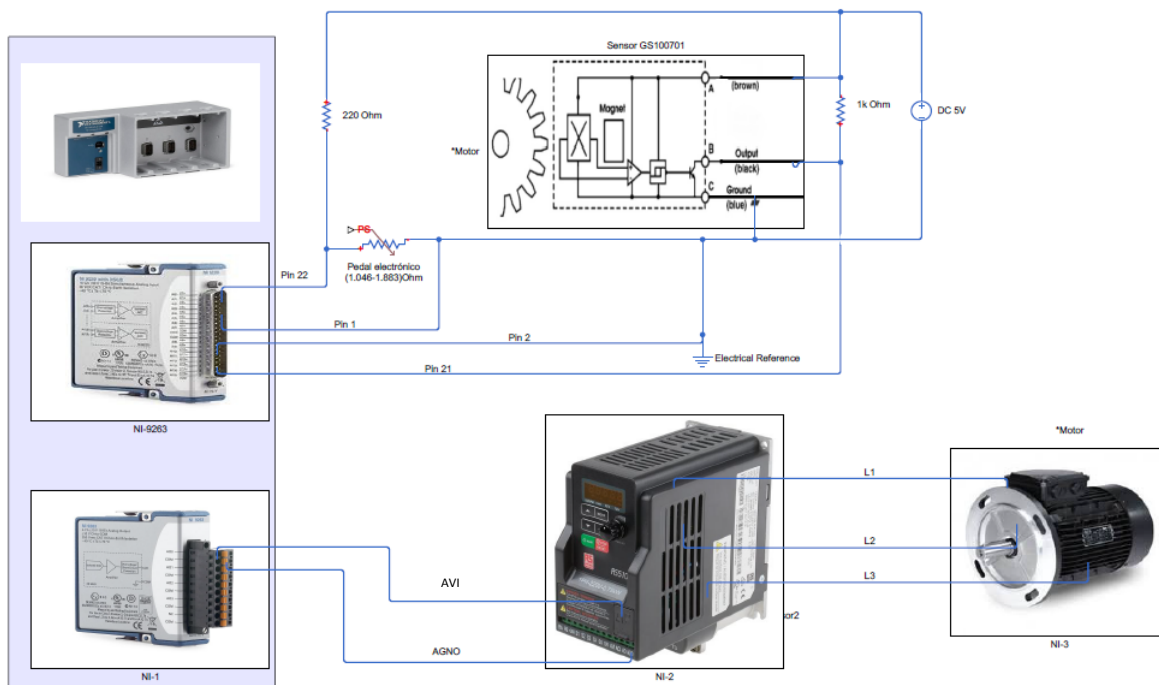


Figura 33; Diagrama de conexión general.

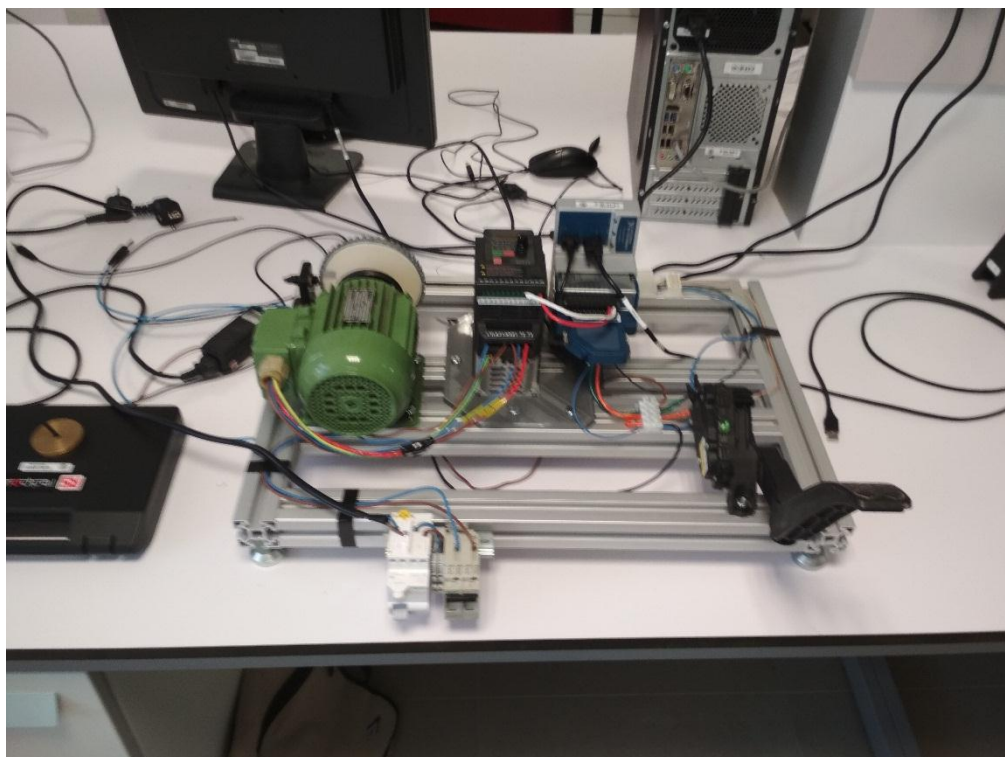


Figura 34; Foto del banco de pruebas.

## El entorno de trabajo.

Todo este entorno de instrumentación de NI, se programa en LabView, un lenguaje de programación poco trabajado a lo largo de la carrera. Se caracteriza en que sus líneas de código son bloques, que puedes utilizar para acondicionar y tratar una señal; está enfocado a la instrumentación y supervisión de sistemas en ingeniería.



Figura 35; Recuperado de <https://en.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>

Todo el programa está basado en el trabajo con bloques, para el tratamiento de la información obtenida con los módulos (tarjetas). Se compone de dos espacios de trabajo, un entorno que se basa más en el procesamiento de la señal llamado “diagrama de bloques”; y otro espacio encargado de visualizar y de realizar la acción de lo que queremos obtener mediante actuadores en forma de botones, o marcadores “panel frontal”.

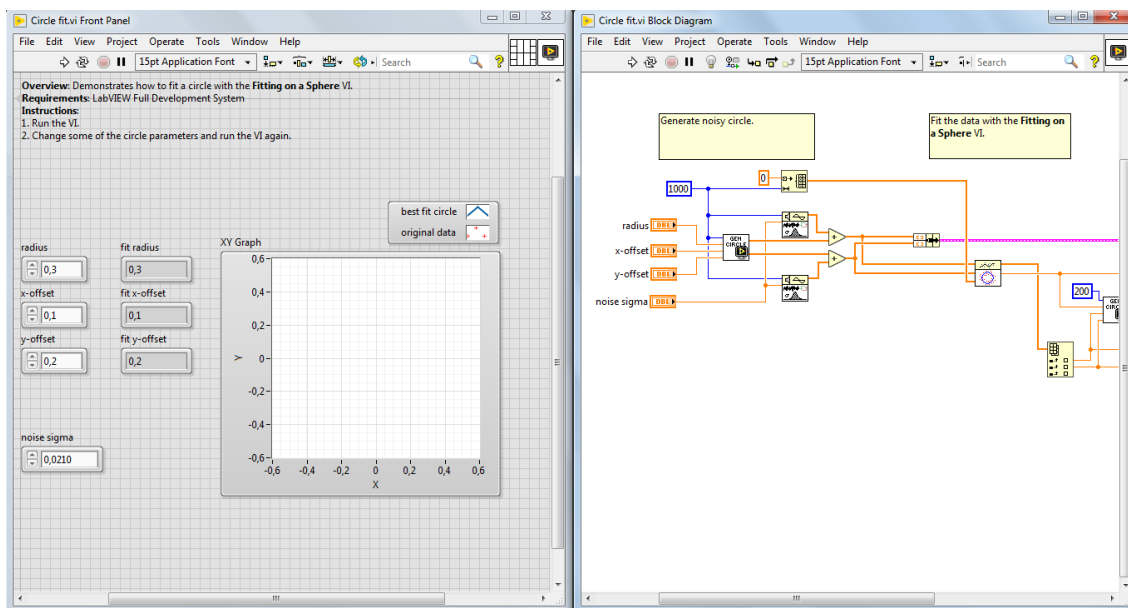


Figura 36; Programa ejemplo Labview.



El único inconveniente que he encontrado en este software, es la incapacidad de poder hacer zoom en la pantalla del diagrama de bloques, para poder explicar mejor que hace cada parte y de que está formado; así que he optado por realizar capturas de pantalla con la mayor resolución posible.

## Desarrollo software de la señal del pedal electrónico.

### Control manual.

En este punto del proyecto, tenemos todas las piezas seleccionadas, y todo el software que nos ayudara a resolver el problema, que no debemos olvidar; el acelerar un vehículo a una velocidad definida en el menor tiempo posible y con la mayor “estabilización” que podamos lograr.

Entonces tenemos que plantear varias decisiones; una es una conducción normal donde el usuario es capaz de acelerar y frenar el vehículo, con el pedal electrónico; y un cambio de modo “automático” donde es nuestro programa el que toma las riendas de la aceleración, puentando la señal del acelerador en el variador.

De forma básica inicialmente, deberemos implementar los bloques que consigan leer los sensores, y obtener la salida de voltaje que ira al variador de frecuencia previo paso a nuestro motor, consiguiendo así una conducción normal, donde el usuario es el que podrá acelerar el sistema.

La línea básica de código con la que conseguimos una lectura de los instrumentos, después de realizar muchas pruebas erróneas es:

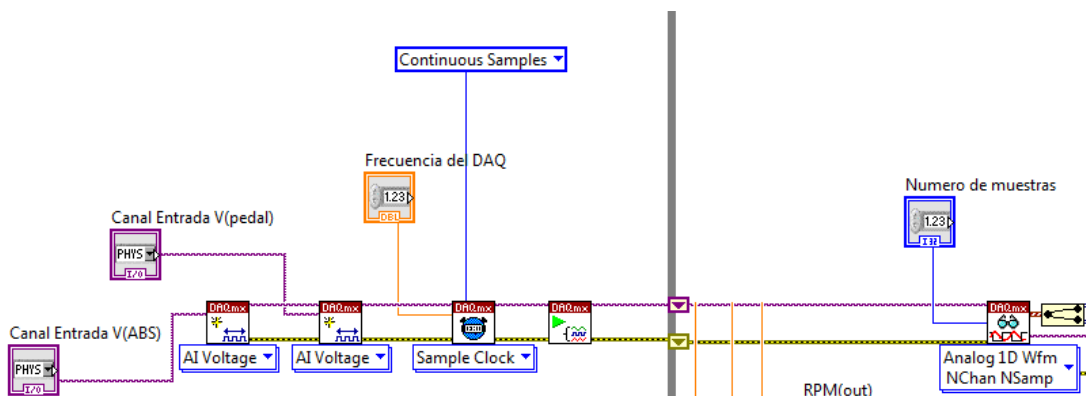


Figura 37.

Los bloques “AI Voltage” definen los canales de entrada de las tarjetas de NI por los que vamos a obtener las diferentes señales (AO terminales 3-4 del pedal electrónico y A1 señal obtenida del ABS). “Sample Clock” es la frecuencia a la que podemos actualizar los valores de la señal, de forma habitual esta señal se da en KHz y por último Analog 1D hace referencia al número de señales y de qué tipo son estas (entradas analógicas).

Gracias a utilizar de forma constante el bloque de “Wavefromchart” podemos ver si la señal que estamos recibiendo es la correcta y en que rango se encuentra. Llegados a esta parte, tenemos que poder visualizar las dos señales por separado y de una manera clara y transformable, matemáticamente hablando.

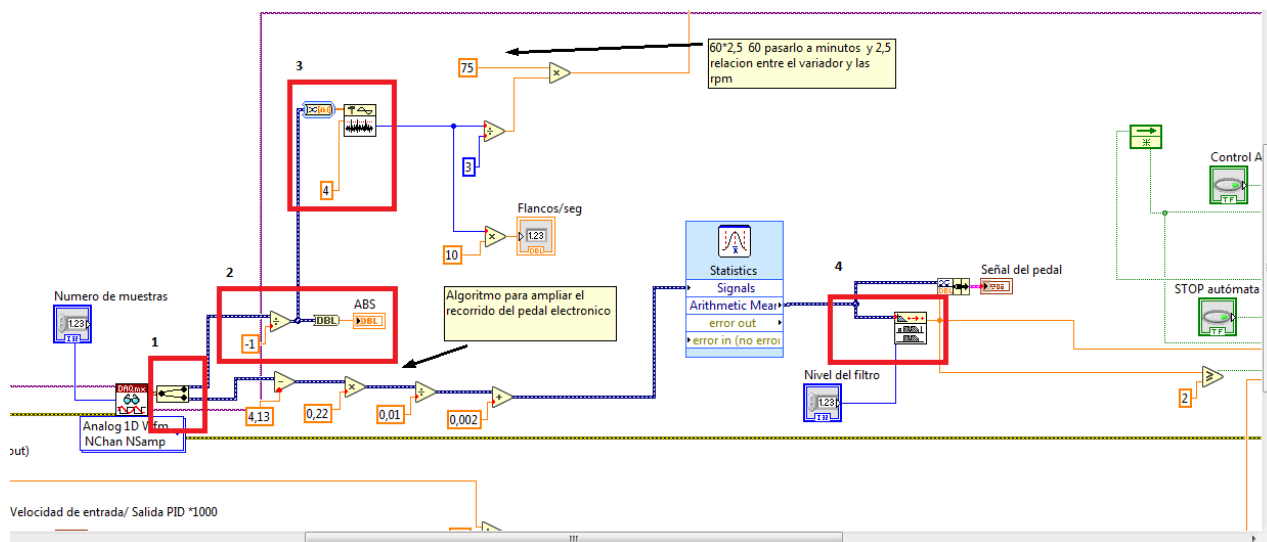


Figura 38. Adquisición de los datos.

Como podemos apreciar en el punto 1 de la figura 38 inicialmente procedemos a dividir las dos señales que nos llegan en un único canal, en otros dos para poder trabajar de manera independiente cada una, en el punto 2 vemos como la señal del ABS (ya diferenciada) está dividida entre menos 1 y eso es por la sencilla razón que a la hora de conectar los cables de lectura en el módulo de NI se han conectado al revés (igual que si conectáramos un voltímetro al revés) no es algo importante pero hay que devolver a la señal su signo correspondiente positivo, de ahí este bloque.

El punto 3 de la figura 38 es muy importante, ya que es el bloque capaz de contar flancos de subida en un tiempo de muestra de terminado, es decir, el encargado de contar cuantos pulsos (cuantos dientes de la rueda dentada enfrentada) están pasando por el sensor por unidad de tiempo. La referencia 4 (dentro del punto 3) que vemos, es la marca de 4 voltios que tiene que superar en cada flanco de subida. En la figura 39 de a continuación vemos un ejemplo de cómo funciona este bloque para una señal sinodal más lenta.

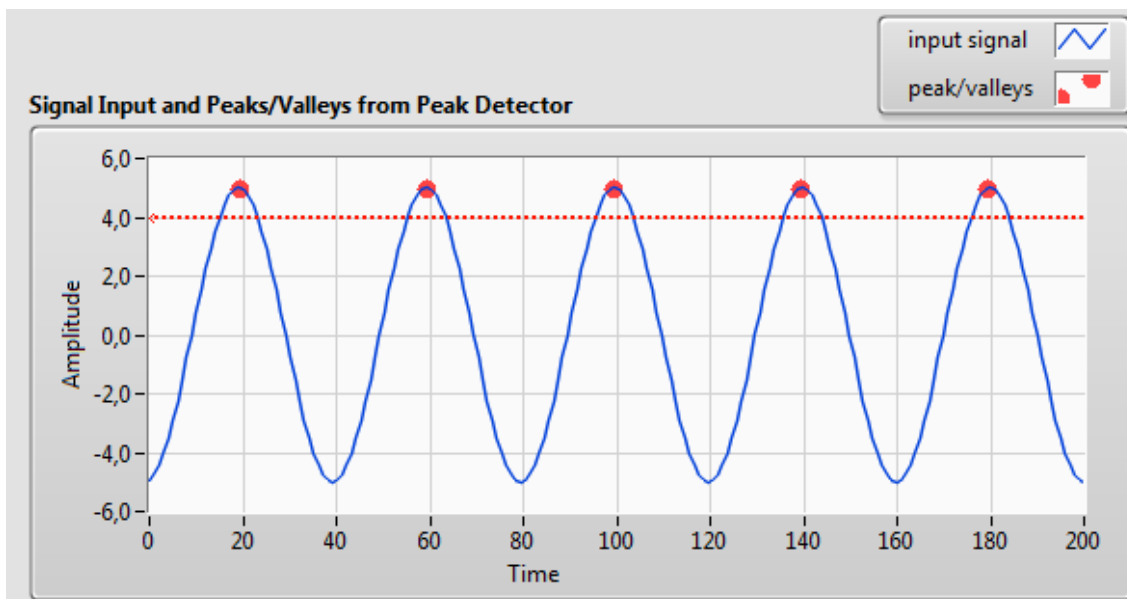


Figura 39.

Inmediatamente después del punto 1 y antes de llegar al 4 encontramos algo que he denominada “algoritmo para ampliar el rango del pedal electrónico”; esto es sencillo, como he comentado en el punto anterior, desde el módulo NI-9220, leemos la señal procedente del acelerador electrónico esta señal tiene demasiado poco rango (1.046-1.883 Ω) por tanto esa serie de cuentas en cascada convierten mediante reglas de tres, el pequeño recorrido del pedal en una salida que amplía de 0 a 10 V de salida hacia el variador (lo máximo que permite).

El punto 4 de la figura 39 es sencillamente un filtro paso bajo que filtra la señal del pedal de salida para obtener una continuidad sin saltos en la salida hacia el segundo módulo de NI.

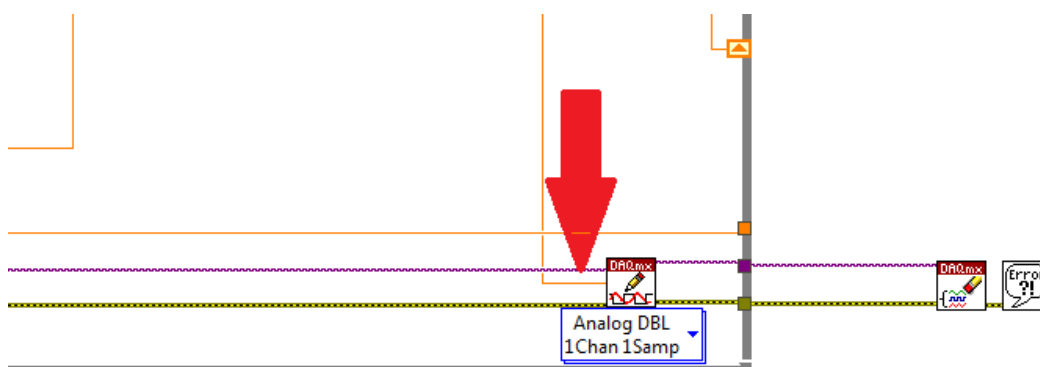


Figura 40. Bloque salida de voltaje.



Esta señal filtrada es alimentada hacia la salida del módulo NI-9263 que alimenta directamente el variador en su modo “potenciómetro externo”.

Aquí tenemos (figura 41) el modo de conducción manual, el cual según aprietas el acelerador, aumenta la tensión de salida al variador proporcionalmente y aumenta la velocidad del motor que lo registra según los pulsos en el sensor ABS.

Ya tenemos solucionado el primer planteamiento del problema poner el marcha el conjunto y recopilar toda la información de los sensores, ahora tenemos que solucionar el problema de la aceleración automática.

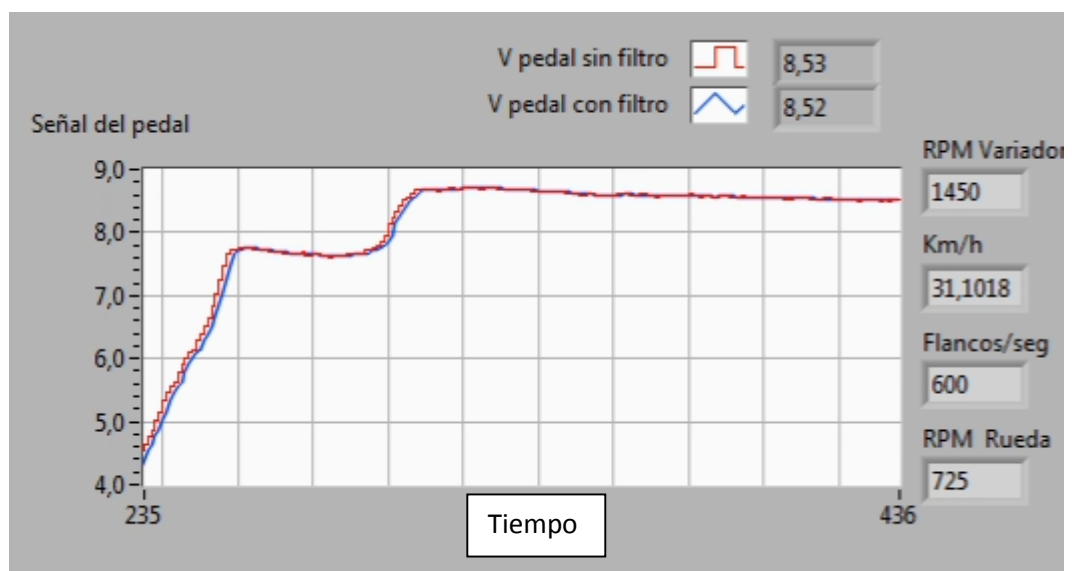


Figura 41. Variación de V del pedal.

### Control automático.

Plantear un PID inicialmente puede ser muy complicado, ya que puede haber muchos parámetros en la realidad que no podemos tener en cuenta en nuestro programa, por tanto vamos a tratar de explicar y modelizar algunos parámetros de nuestro conjunto.

### Sistemas de control cerrados.

Antes de explicar cómo hemos abordado en nuestro programa la aceleración autónoma, es necesario explicar algunos conceptos claves que nos permitan entender la base de donde partimos.

En un sistema de control cerrado a diferencia de uno abierto, la señal del sensor vuelve a entrar en el lazo realizando una comparación entre la variable deseada y la variable obtenida; mientras que en un lazo abierto no tenemos esa posibilidad y el sistema puede evolucionar sin que tengamos una respuesta de en qué estado se encuentra.

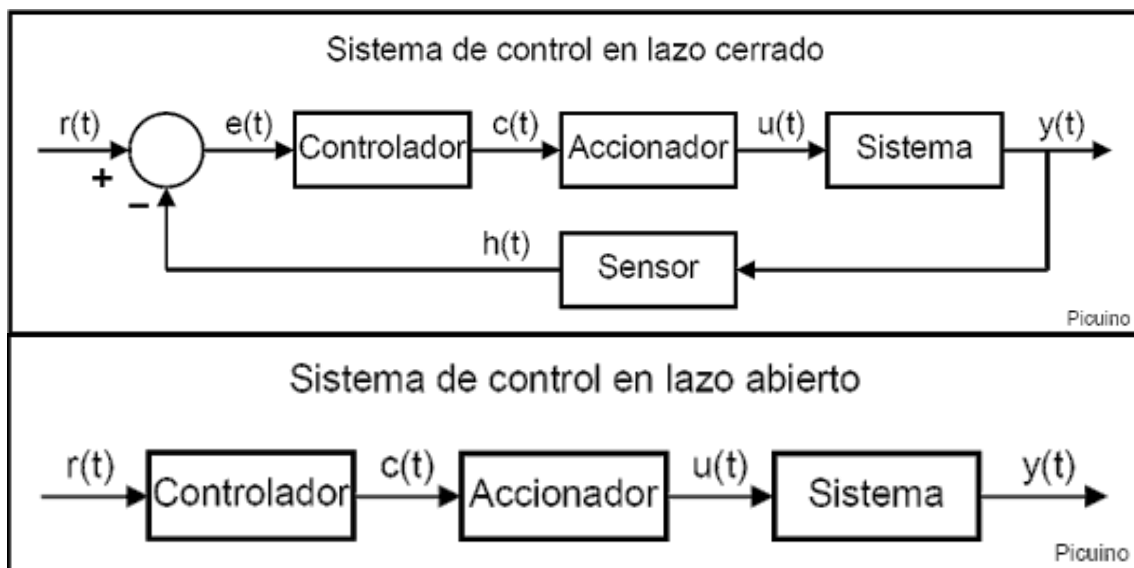


Figura 42; Lazo de control cerrado; Lazo de control abierto. Recuperado de [https://sites.google.com/site/picuino/pid\\_controller](https://sites.google.com/site/picuino/pid_controller)

Las señales del sistema de control son las siguientes:

r(t)	Referencia. Es el estado que se desea alcanzar en el sistema.
e(t)	Error. Es la diferencia entre el estado deseado y el estado real del sistema a controlar.
c(t)	Control. Es la señal que genera el controlador.
u(t)	Accionamiento.
y(t)	Salida del Sistema. Es el estado real que ha alcanzado el sistema a controlar.
h(t)	Realimentación. Es la medida del estado del sistema.

*Tabla 4. Denominación de las señales de control.*

En este tipo de sistemas hay una regulación automática de las variables de salida a través del propio controlador, pero hay ciertas carencias en esta “señal controlada”; ¿cómo evoluciona nuestro sistema inicialmente desde el reposo?, ¿Qué pasa ante cualquier perturbación en la señal de entrada y salida? Aquí es donde resaltamos especialmente el uso de estos PID.

#### ¿Qué es un PID?

Vamos a intentar hacer una introducción al lector de este trabajo de en qué consiste un PID de forma rápida.

El control PID es un mecanismo de control que a través de un lazo de realimentación cerrado, permite controlar una variable de salida que afecta a un sistema determinado, además de controlar cómo evoluciona nuestro sistema hasta alcanzar el valor de referencia deseado; el recorrido de la señal.

Parámetros como tiempo de respuesta, sobre pico máximo, tiempo de asentamiento...etc. Es decir la diferencia entre el lazo de control cerrado con y sin PID es que con este control, podemos controlar la evolución de la salida ante muchas variaciones de la referencia.

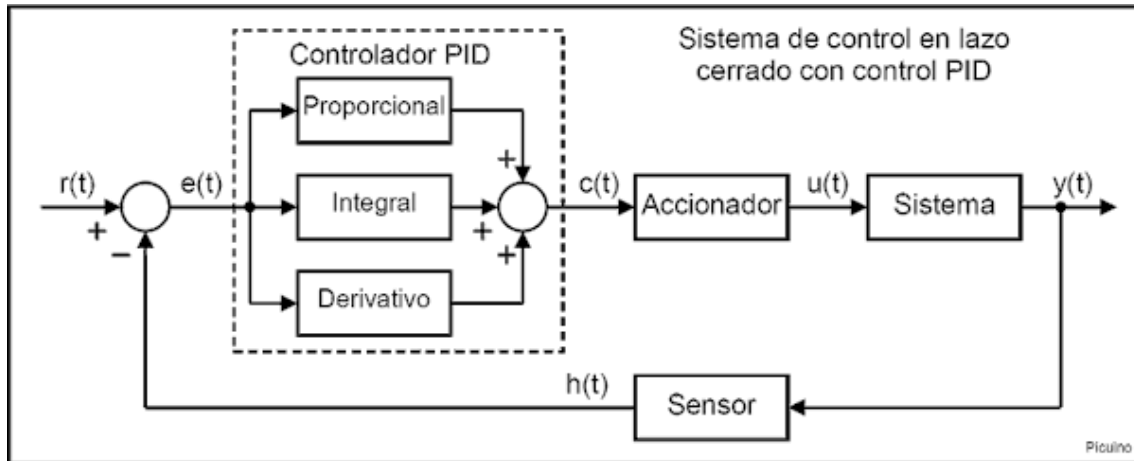


Figura 43; Lazo de control cerrado; Lazo de control abierto. Recuperado de [https://sites.google.com/site/picuiuno/pid\\_controller](https://sites.google.com/site/picuiuno/pid_controller)

Nuestro esquema particular partiendo de la figura 43 será:

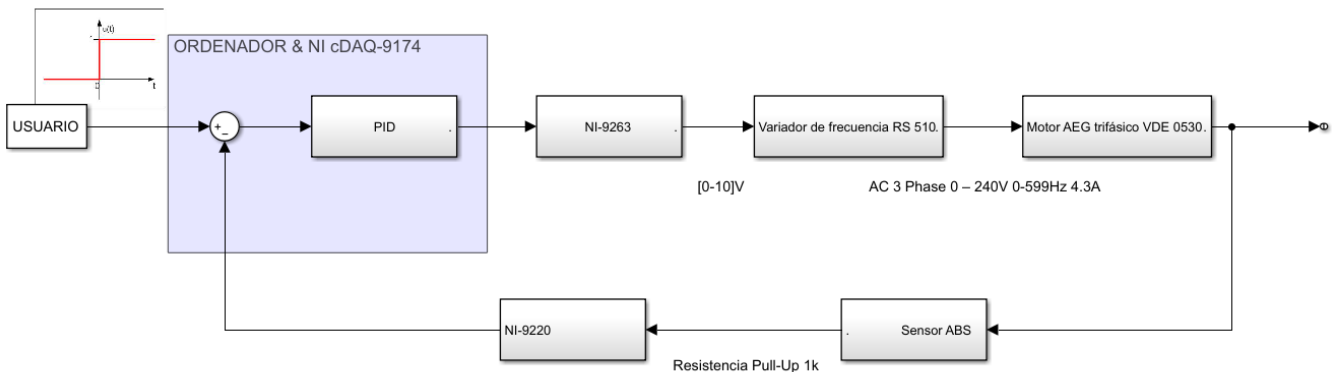


Figura 44 Lazo de control cerrado banco de pruebas.

Cada término del PID modifica un parámetro de la respuesta del sistema:

- **Acción de control proporcional (P):** Como su mismo nombre indica este término “ $K_p$ ” es directamente proporcional a la señal de error  $e(t)$ , es decir multiplica esta señal por una constante intentando minimizar el error, cuando la diferencia de las señales es grande (señal de error elevada) esta señal de control es elevada para minimizar el error.

El aumento de esta constante causa:

- Aumenta la velocidad de respuesta del sistema.
- Disminuye el error del sistema en régimen permanente.
- Aumenta la inestabilidad del sistema.

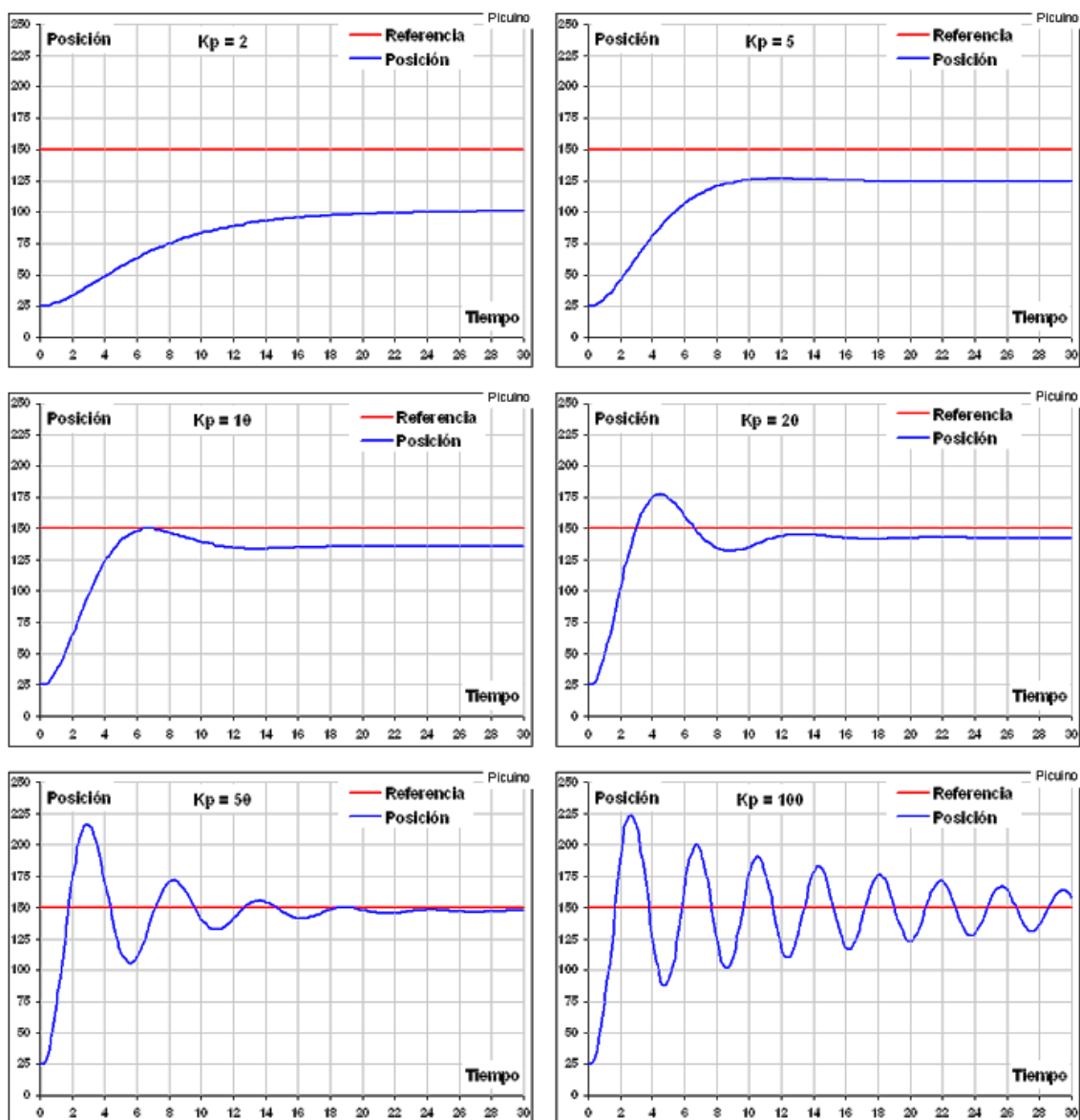


Figura 45; Resultados de modificar la acción Proporcional. Recuperado de [https://sites.google.com/site/picuino/pid\\_controller](https://sites.google.com/site/picuino/pid_controller)

En la figura 45 vemos cómo evoluciona una señal de salida ante diferentes valores crecientes de  $K_p$ . Cuando damos un valor de  $K_p = 2$  o  $K_p = 5$ , el sistema responde de manera demasiado lenta además de tener un error de posición bastante elevado (la señal de salida ni siquiera se acerca al valor deseado) mientras que para valores de 10 y 20, poco a poco el sistema se vuelve más rápido pero aparece cierta inestabilidad (asumible hasta cierto punto) de pequeños sobre picos en la señal. Por último ante valores muy elevados de  $K_p$  el sistema alcanza la señal de salida de forma muy rápida, pero es totalmente inestable

apareciendo un efecto de rebote en la señal que puede causar numerosos problemas; esto en ningún caso será deseable.

- Acción de control derivativa (D):** Esta acción de control como su propio nombre indica, es proporcional a la derivada de la señal de error  $e(t)$ . En la figura 45 la acción proporcional actúa de forma directa aumentando mientras la señal de salida se encuentra por debajo de los 150 mm pero, ¿Qué ocurre cuando lo supera? En ese caso entran en juego las fuerzas de la inercia (capacidad de un cuerpo de mantener su estado de reposo o movimiento), al aumentar la velocidad y querer llegar de forma rápida al punto de referencia, nos pasaremos de largo debido a esta fuerza y producirá los pulsos ondulatorios que hemos visto en las imágenes anteriores alrededor del punto de referencia.

Para solucionar este grave problema el sistema tiene que reconocer la velocidad con la que se está aproximando a la referencia, y ahí entra este término, ya que la derivada del error lo podemos asociar a la “velocidad de la señal de error”, la velocidad con la que nos aproximamos a la referencia.

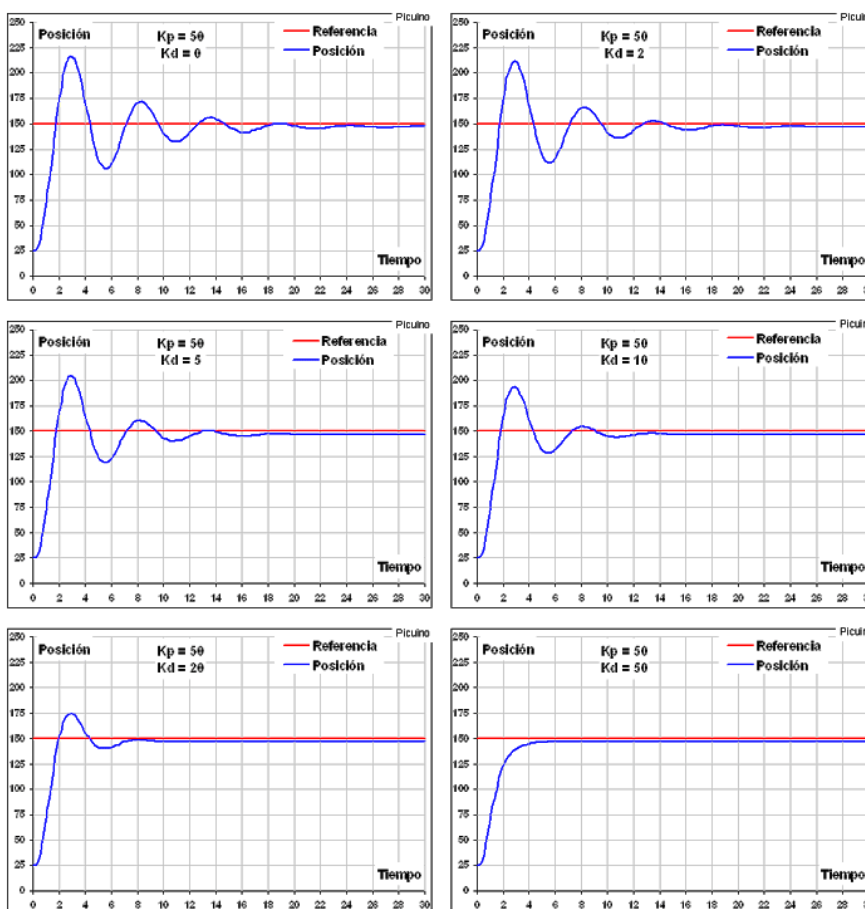


Figura 46; Resultados de modificar la acción Proporcional. Recuperado de [https://sites.google.com/site/picuno/pid\\_controller](https://sites.google.com/site/picuno/pid_controller)

El aumento de esta constante derivativa causa:

- Aumenta la estabilidad del sistema controlado.
- Disminuye un poco la velocidad del sistema.
- El error en régimen permanente permanecerá igual.

En las gráficas anteriores (figura 46) observamos que al aumentar la  $K_d$ , produce una disminución de los pulsos ondulatorios de la señal de salida haciéndola más suave al alcanzar la referencia, pero perdiendo cierta rapidez en la subida.

- **Acción de control integral (I):** Como su nombre indica esta acción calcula la integral de la señal de error, en la figura 46 vemos como aun después de aplicar los términos  $K_p$  y  $K_d$ , aún existe un pequeño error en régimen permanente de la señal (no alcanza el valor exacto). Este término viene a corregir el error permanente de la señal aumentando su influencia a medida que avanza el tiempo.

Aumentar la acción integral  $K_i$  tiene los siguientes efectos:

- Disminuye el error en régimen permanente.
- Aumenta la inestabilidad del sistema.
- Aumenta levemente la velocidad total del sistema.

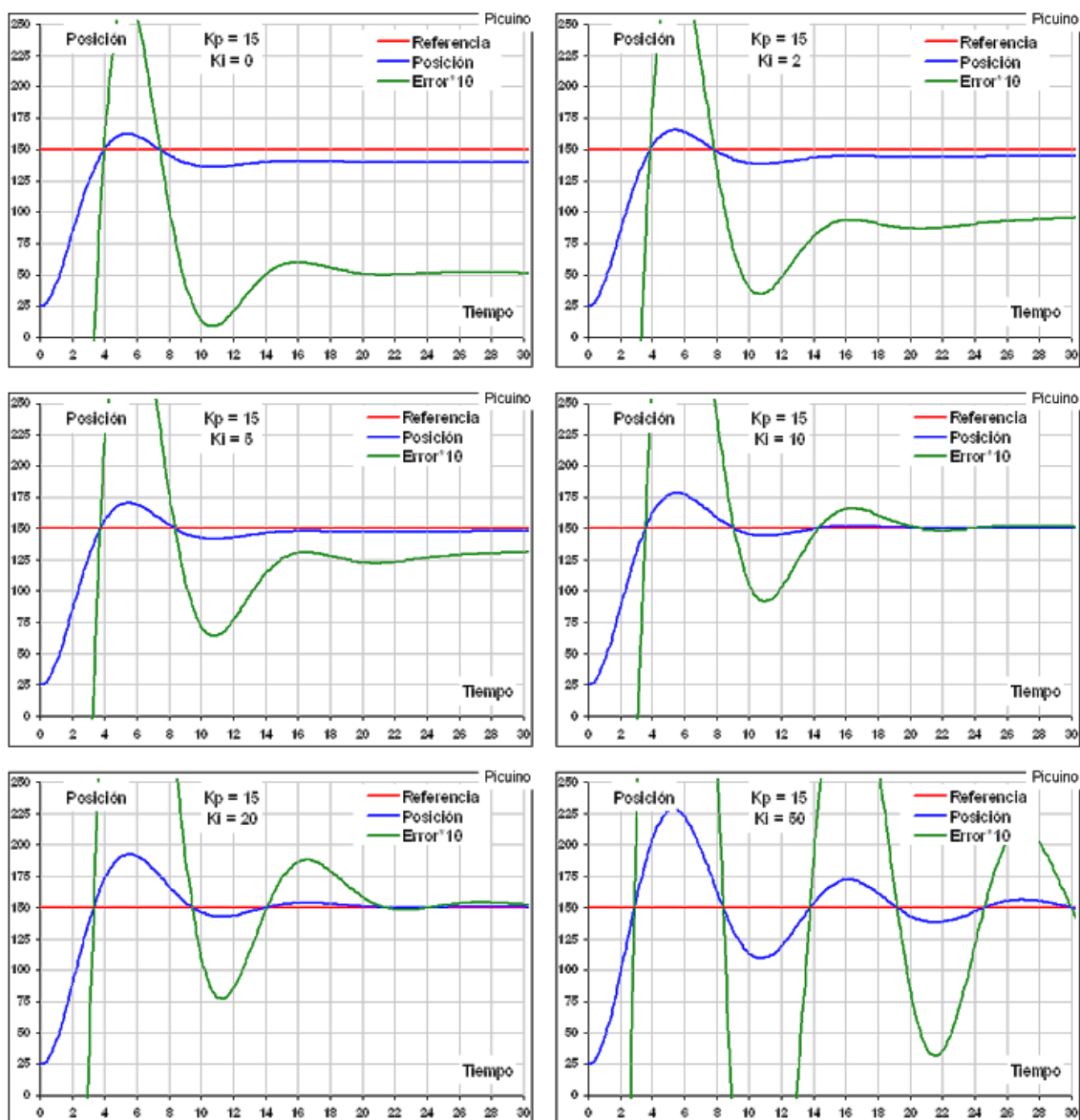


Figura 47; Resultados de modificar la acción Proporcional. Recuperado de [https://sites.google.com/site/picui/pid\\_controller](https://sites.google.com/site/picui/pid_controller)

Ahora que conocemos un poco más como funciona un PID, vamos a explicar de qué forma lo hemos implementado en nuestro programa.

#### Cálculo de los parámetros del PID.

Entre las muchas versatilidades de Labview, encontramos algunos módulos planteados para el usuario a modo de ejemplos, como es la posibilidad de implantar un bloque PID el cual tendremos que ajustar a nuestro caso específico indicando la realimentación, la señal de referencia; la señal controlada el error...etc., además de todos los parámetros habituales del PID como sus términos constantes, integrales y derivativos.



Ante la imposibilidad de poder minimizar el programa he tenido que explicar el programa por pequeñas capturas de pantalla y símbolos que explican las conexiones.

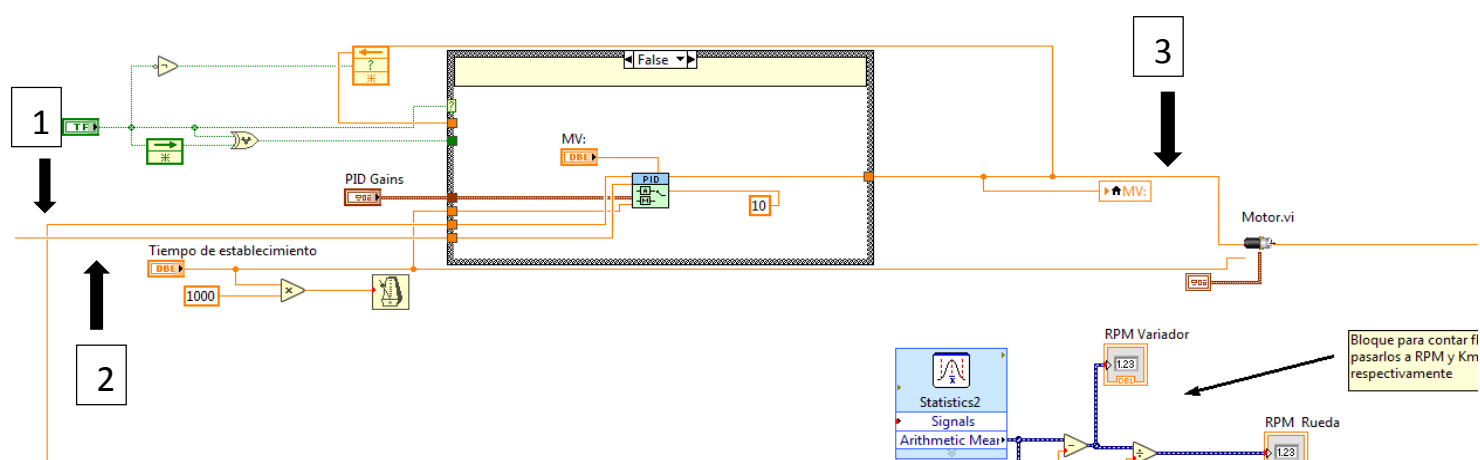


Figura 48; Bloque PID en el programa principal

La señal 1 de la figura 48 hace alusión a la señal de referencia procedente del indicador como consigna previa puesto en el panel Frontal como un control por flechas.

Ahora podremos introducir el concepto del tipo de señal de entrada con la que trabajaremos en nuestro sistema; será una señal de entrada tipo escalón, ya que para acelerar y mantener la velocidad constante, es la mejor referencia posible.

El indicador 2 de la figura 48 es la señal de salida del sensor ABS, es decir la velocidad del sistema que enfrentaremos a la referencia.

La flecha 3 es la salida corregida que llevaremos hacia el bloque de salida, de igual forma que hicimos en la figura 40, salvo que ahora tendremos que programar una secuencia lógica para seleccionar el tipo de modo con el que queremos acelerar, o bien automático o bien manual.

### Método de Ziegler y Nichols.

Antes de empezar con las simulaciones, es necesario definir los parámetros de nuestro PID y el tiempo de respuesta que vamos a obtener con el objetivo que el tiempo que nuestra señal controlada alcance la referencia sea el menor posible.

*“Ziegler y Nichols propusieron reglas para determinar los valores de la ganancia proporcional  $K_p$ , del tiempo integral  $T_i$  y del tiempo derivativo  $T_d$ , basándose en las características de respuesta transitoria de una planta dada. Tal determinación de los parámetros de los controladores PID o sintonía de controladores PID la pueden realizar los ingenieros mediante experimentos sobre la planta.”* (Ogata, 2010, pág. 570).

Lo que en el libro de Ogata “ingeniería de control moderna”, nos quiere indicar es que Ziegler y Nichols plantean un método experimental de cálculo de PID donde siguiendo una serie de pasos podemos calcular nuestros parámetros del PID; para ser más precisos siguiendo con el método del libro antes mencionado, optaremos por el segundo método ya que nos parece más preciso y el que mejor se ajusta a nuestro caso:

*“En el segundo método, primero se fija  $T_i = \infty$  y  $T_d = 0$ . Usando sólo la acción de control proporcional (véase la Figura 50), se incrementa  $K_p$  desde 0 hasta un valor crítico  $K_{cr}$ , en donde la salida presente oscilaciones sostenidas. (Si la salida no presenta oscilaciones sostenidas para cualquier valor que pueda tomar  $K_p$ , entonces este método no se puede aplicar.) Así, la ganancia crítica  $K_{cr}$  y el periodo  $P_{cr}$  correspondiente se determinan experimentalmente Ziegler-Nichols sugirieron que se establecieran los valores de los parámetros  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$  de acuerdo con la fórmula que se muestra en la Tabla 5.”* (Ogata, 2010, págs. 570-571).

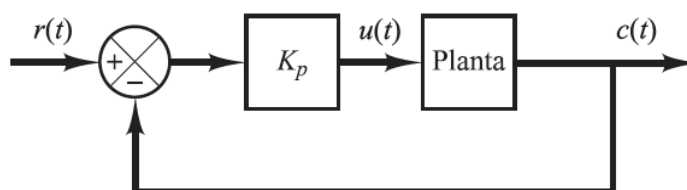


Figura 49; Sistema en lazo cerrado con controlador proporcional. Recuperado de (Ogata, 2010, pág. 570)

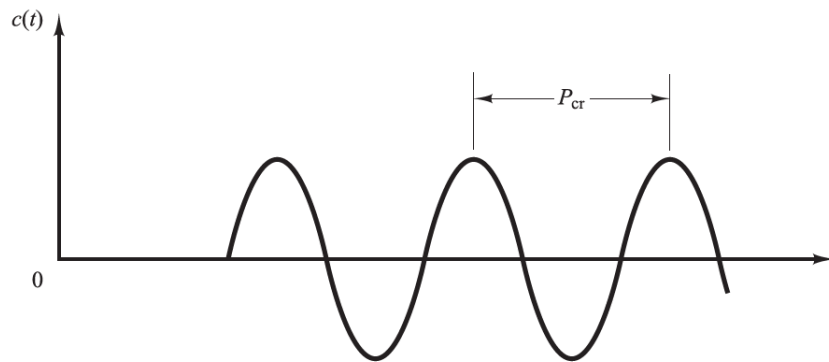


Figura 50; Oscilación sostenida con periodo  $P_{cr}$  ( $P_{cr}$  se mide en seg.). Recuperado de (Ogata, 2010, pág. 571)

En particular, nosotros no podemos hacer que la  $T_i$  sea infinito ya que el programa nos lo impide, así que elegimos un valor muy elevado para ir aumentando la  $K_{cr}$  proporcionalmente.

Después de algunos ensayos donde aparentemente no pasaba nada llegamos a un rango de valores donde la señal de salida oscilaba ostensiblemente y lo más importante de todo; esta oscilación se repetía con el tiempo como podemos observar en la imagen 51.

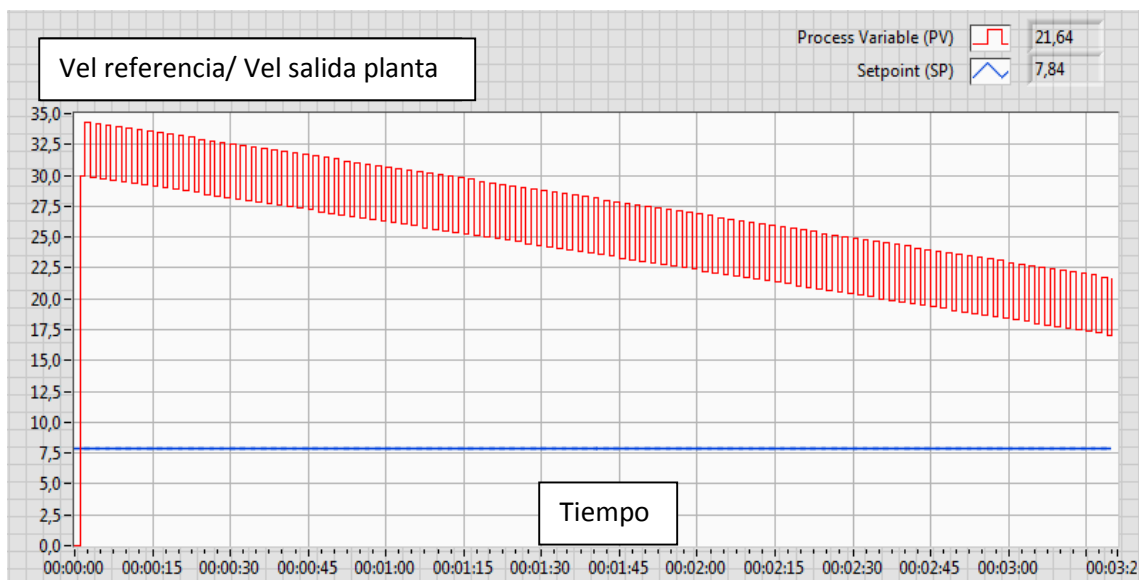


Figura 51; Oscilación sostenida.

Los valores acertados para conseguir la figura 51 fueron  $K_{cr}= 41$ ,  $T_i= 100000$ ,  $T_d=0$ , Una unidad menos de  $K_{cr}$  dejaba de producir las oscilaciones, y una



unidad mas no las hacia mayores, optamos por tanto por esta elección de valores. Para el cálculo de Pcr antes mencionado tuvimos que modificar la escala de tiempo para poder ampliarlo y calcular el tiempo (en segundos) de las oscilaciones:

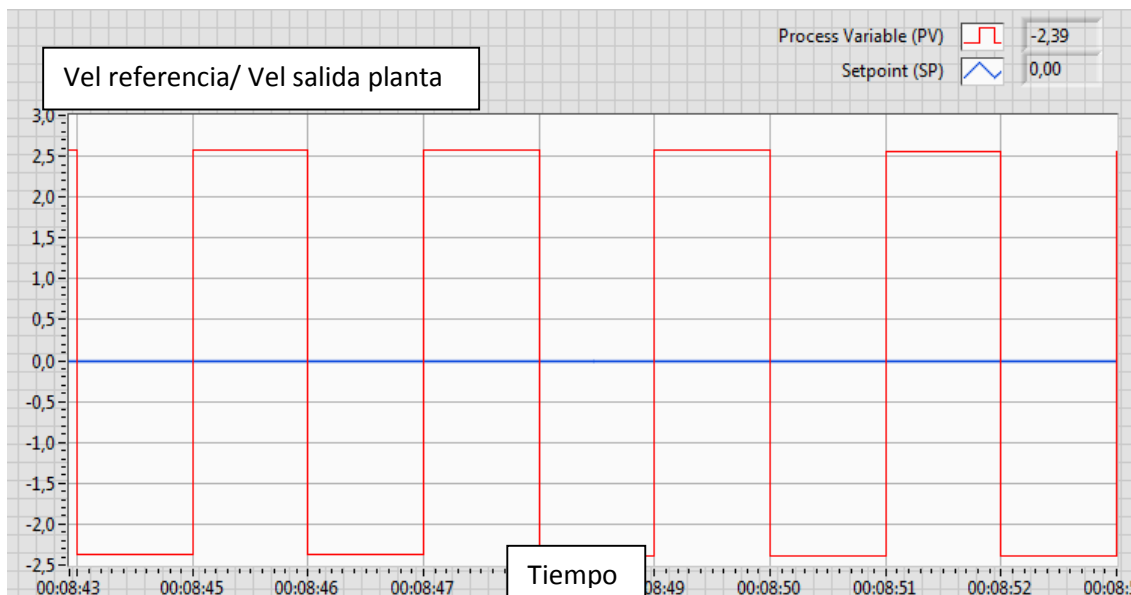


Figura 52; Oscilación sostenida ampliada.

El resultado sería un Pcr= 0.01 seg.

Con los datos anteriores y continuando el “método segundo” de Ziegler y Nichols podremos calcular todos los parámetros según la tabla 5.

Tipo de controlador	Kp	Ti	Td
<b>P</b>	$0.5 * Kcr$	$\infty$	<b>0</b>
<b>PI</b>	$0.45 * Kcr$	$\frac{1}{1.2} * Pcr$	<b>0</b>
<b>PID</b>	$0.6 * Kcr$	$0.5 * Pcr$	$0.125 * Pcr$

Tabla 5; Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la ganancia crítica Kcr y periodo crítico Pcr. (Ogata, 2010, pág. 571)

Por tanto con los datos obtenidos y apoyándonos de la tabla 5, nuestro PID tendrá unos valores:

$K_p = 18.45.$  $T_i = 0.0083.$  $T_d = 0.$ 

(En las conclusiones que veremos más adelante no vemos la necesidad de trabajar con el parámetro diferencial ya que los resultados obtenidos son bastantes buenos).

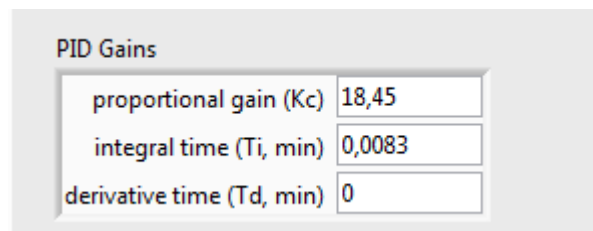


Figura 53; Parámetros en el programa final.

Algoritmo de la selección del modo de conducción.

En este momento del proyecto nos encontramos con que por fin hemos implementado los dos modos de conducción en el programa de Labview, además de un PID que es bastante estable como mencionaremos en las conclusiones de esta memoria; pero se nos plantea otro problema, ¿Cómo seleccionamos entre los dos modos de conducción?

Para ello es necesario recapitular todos los casos donde queremos y no queremos que el autómata tome las riendas.

Inicialmente cuando pongamos en marcha todo el conjunto estará por defecto activado el modo de conducción manual, donde si apretamos el accionador (pedal electrónico), el motor acelerará de forma lineal, y solo si nosotros pulsamos el botón de control automático, el controlador tomara el mando, como vemos en la imagen 54 de la vista del panel frontal donde nos encontramos todos los botones e indicadores.

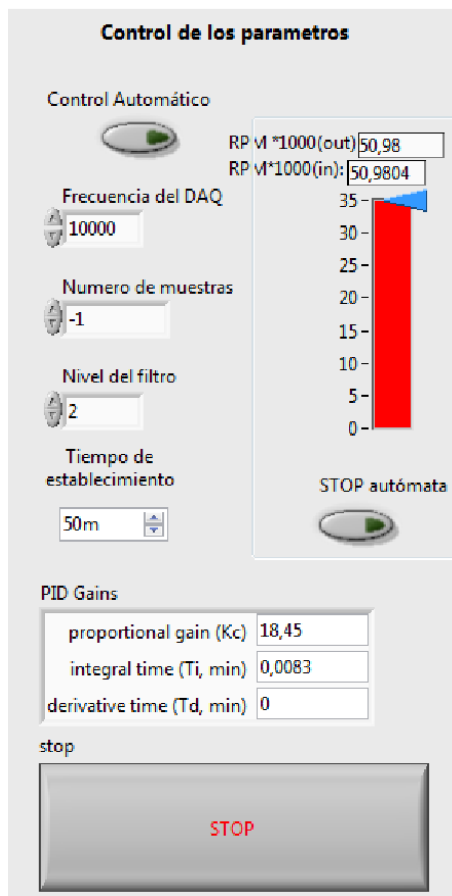


Figura 54; Botonera frontal.

Esto seguirá así hasta que el usuario pulse el botón de “Stop Automata” (no se puede quitar el botón “control automático” directamente) o bien pulsemos levemente el pedal del acelerador (al igual que sucede en el modo crucero de algunos vehículos). Todo esto lo hemos logrado implementando un algoritmo basado bastante en la electrónica digital, donde un conjunto de puertas lógicas nos ayudan con la toma de decisiones tanto con la botonera como con el modo del pedal:

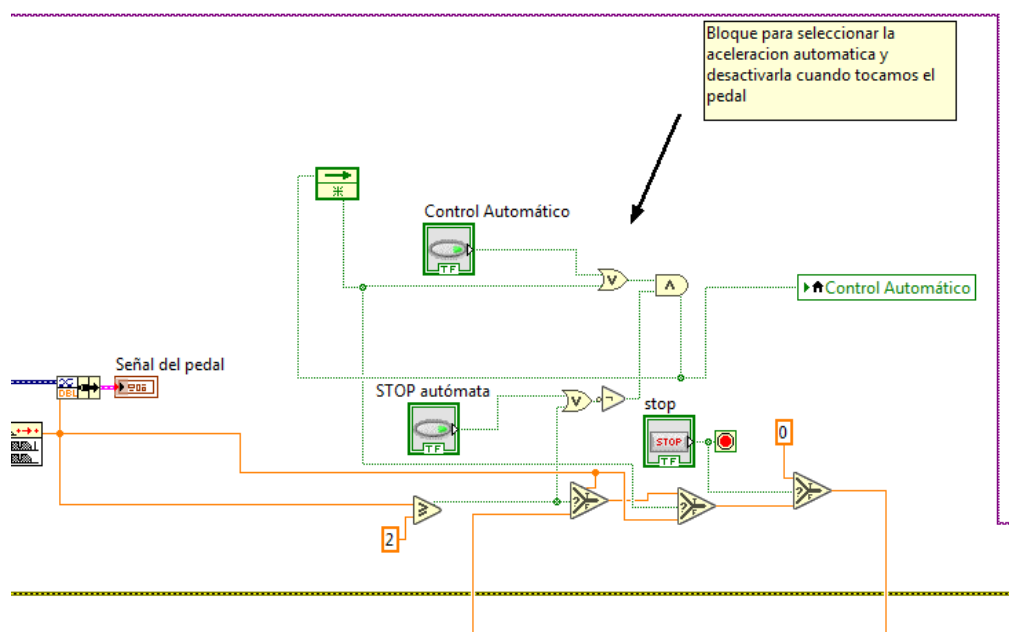


Figura 55; Selección del modo de aceleración.



## Verificación del sistema en el banco de ensayos.

Una vez conectado todo en el programa final, es hora de ver qué resultados obtenemos, y cómo se comporta todo el sistema en el banco de pruebas, ya que únicamente nos quedaría un parámetro por descubrir; el tiempo de asentamiento (tiempo que se requiere para que la curva de respuesta alcance un rango alrededor del valor final de 2 a 5% y permanezca dentro de él), pero como intuía en las pruebas que constantemente hacía, el variador de frecuencia limita bastante la velocidad de respuesta del motor. Por tanto por más rápido que consigamos sacar la señal de voltaje hacia el variador, este siempre tendrá un retardo (comprensible ya que está pensado para realizar arranques suaves), y he decidido dejar este parámetro como un control más para que sea el usuario que en cada aplicación, o modelo de variador diferente, elija el tiempo de asentamiento menor, sin que produzca oscilaciones repentinas o saltos bruscos.

De manera inicial cuando arrancamos el programa, el sistema inicia el motor a unas revoluciones mínimas ya que por defecto está activado el modo manual de la aceleración. Según pulsamos el pedal hace que aumente la diferencia de tensión captada por el módulo de NI y esto gracias al programa se traduce en una aceleración del motor eléctrico.

Como vemos en la imagen 56 según apretamos el actuador, lo capta el módulo de NI y podemos verlo en la gráfica de arriba, además de poder diferenciar la ayuda que supone el filtro de la señal.



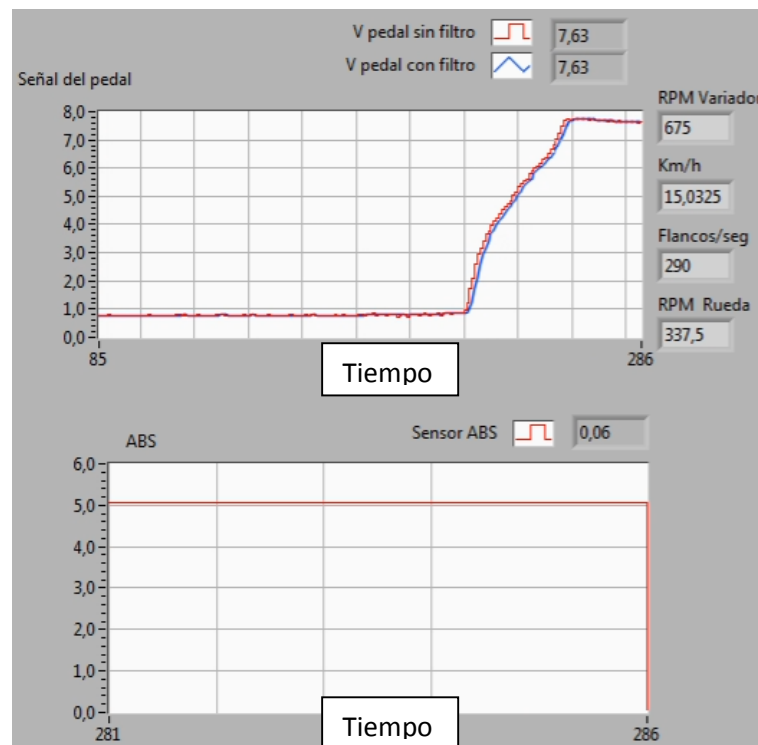


Figura 56; Respuesta del sistema al accionar el acelerador.

La grafica inferior de la figura 56 corresponde a la diferencia de tensión que se produce en el sensor ABS al pasar entre diente y diente la caída de 5 V a 0 V.

Si cambiamos de modo, algo que conseguimos después de activar el botón del panel frontal “Control automático” y ponemos una consigna inicial de 0 RPM, el motor se parará como es lógico, entonces podremos aplicarle un salto hasta la velocidad que nosotros queramos, en este caso 3.000 RPM

Vemos en la figura 57 como responde nuestro sistema ante una variación de la aceleración desde 0 RMP hasta las 3.000 RPM:

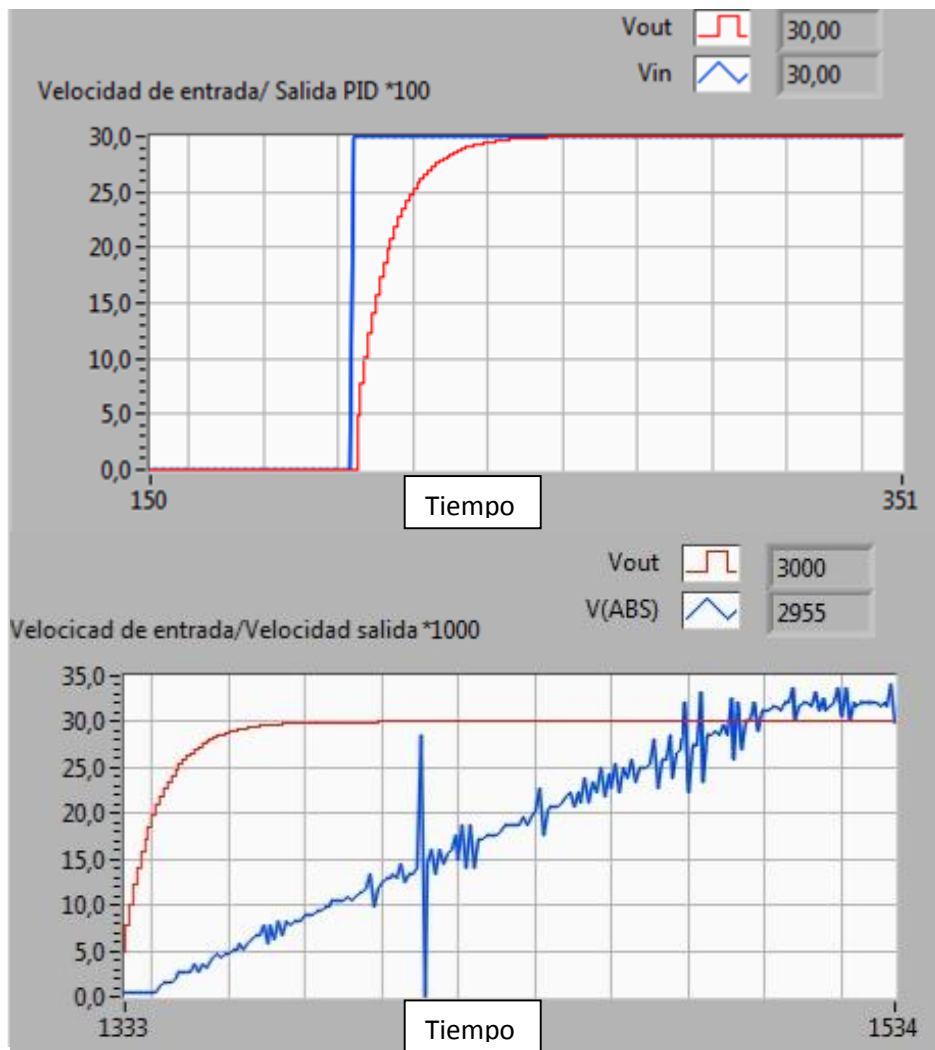


Figura 57; Respuesta del sistema ante una entrada escalón.

El sistema de identifica un tiempo de establecimiento de 50 ms, ajustando este parámetro ya que en valores por debajo de estos (es decir más rápidos) el sistema se comporta de manera impredecible y con gran ondulación, y por encima de este valor consideramos que el sistema se hace demasiado lento aunque bastante estable; descartamos esta opción ya que el variador limitara suficiente la señal, así hemos intentado elegir la opción más rápida y estable de parámetros de nuestro PID.

El sistema se comporta de forma excelente y no da lugar a error en los dos modos de conducción.

## Conclusiones.

Asumo algunos errores en la medición de la señal por parte del sensor ABS ya que a la hora de realizar el contador de pulsos, estos se realizan de forma entera y cuando los pasamos por las diferentes transformaciones para obtener los RPM y los Km/h este pequeño error se arrastra con él y es casi imposible de filtrarlo, estamos hablando de un error de  $\pm 10$  RPM cuando estamos girando a 30.000 RMP lo que supone  $3.33 \times 10^{-4}$  ; lo que es lo mismo un 0.33% de error sobre la medida.

Es importante entender la información que obtenemos por parte de los indicadores alojados en el panel Frontal; por ejemplo cuando controlamos todo el sistema a una velocidad de 3.000 RPM, obtenemos estos datos:

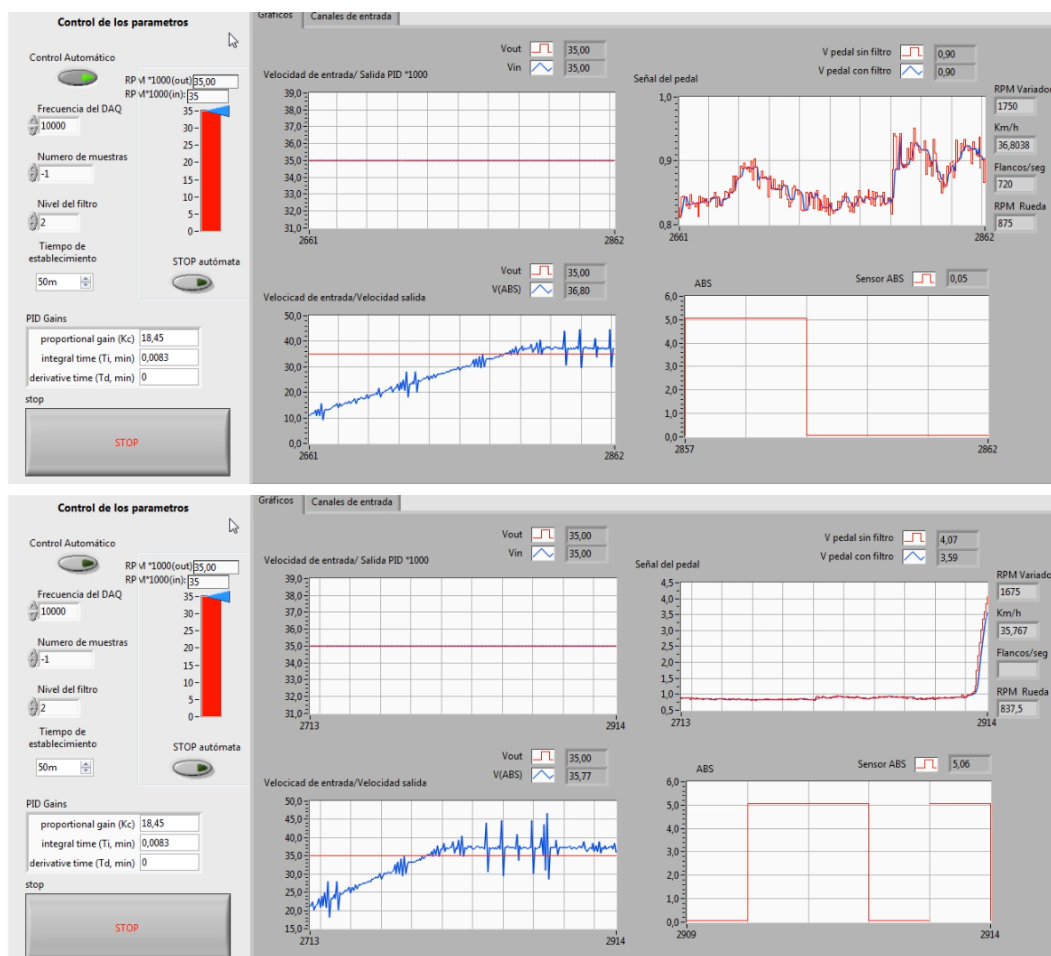


Figura 58; Indicadores a 3.000 RPM.

Como se puede observar obtenemos una velocidad angular de 1.500 RPM y no las 3.000 RPM que hemos puesto de consigna; esto es debido a que este indicador capta la señal por flancos de la rueda dentada, es decir la señal directa de ABS y como al principio de este trabajo hemos subrayado, el motor de las pruebas es de 4 polos, lo que hace que la frecuencia que recibe del variador se transforma en la mitad a la salida del rotor.

La velocidad en Km/h es simplemente el cálculo a partir de las RPM y el radio de la rueda, para que el operario de este banco de pruebas tenga más información.

Otra prueba a realizar es la parada del modo automático al pulsar levemente el pedal del acelerador, superando los 2 V de tensión del pedal el sistema inhabilitara el modo automático:



Figuras 59,60; Indicadores a 3.000 RPM.

En la figura 59 (superior) vemos como el sistema está en el modo automático ya que su pulsador está activo a unas revoluciones de 3.500 RPM, pero cuando pulsamos en acelerador (figura inferior) y captamos una tensión superior a los 2 V, este modo automáticamente se detiene y el usuario vuelve a tomar el control de todo.

Esto también ocurre cuando pulsamos el botón STOP automática, el sistema se vuelve a detener.

En numerosas pruebas que hemos realizado nos hemos fijado que el sistema es completamente estable; y si, se pueden hacer muchas variaciones sobre lo que este trabajo ha propuesto, pero creo que he cumplido el objetivo que se trataba; acelerar de forma autónoma un sistema de forma estable y controlada.



Por lo tanto consideramos que hemos cumplido los objetivos iniciales que se planteaban de obtener la señal una señal igual que la del acelerador electrónico, pero de forma óptima, capaz de controlar nuestro sistema en el banco de ensayos.

Con el tiempo se podrá incluir este sistema en el vehículo real, pero por falta de tiempo y medios esto no se ha podido realizar, como cualquier trabajo de la Universidad de Valladolid dejo esta memoria y su código abierto a cualquier alumno que quiera continuar con este proyecto.

Por ultimo quiero agradecer al fantástico equipo del laboratorio instalado en el “Edificio Lucía” la posibilidad de realizar este proyecto, ya que sin sus conocimientos en impresión 3D, Inventor, perfilería, materiales...etc, nada de esto hubiera sido posible.



---

**Universidad de Valladolid**



## Bibliografía.

- 1) <http://www.circulaseguro.com/que-es-el-limitador-de-velocidad/>
- 2) <https://www.km77.com/coches/porsche/cayenne/2007/estandar/turbo/cayenne-turbo/datos>
- 3) <http://fdetonline.com/acelerador-electronico-funciona/>
- 4) [http://www.aficionadosalamecanica.net/sistema\\_abs.htm](http://www.aficionadosalamecanica.net/sistema_abs.htm)
- 5) <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/194-tipos-de-sensores-abs-velocidad-de-rueda/>
- 6) <https://gitemca.files.wordpress.com/2010/02/trifasicos.pdf>
- 7) <http://www.advamex.com/que-es-el-ecm/>
- 8) <https://www.impresoras3d.com/filamento-pla/>
- 9) <https://www.indiamart.com/proddetail/pla-filament-premium-quality-1-75mm-1kg-roll-seal-packed-15958167830.html>
- 10) “Ingeniería de control moderna” Quinta edición. Katsuhiko Ogata. 2010
- 11) [https://sites.google.com/site/picuino/pid\\_controller](https://sites.google.com/site/picuino/pid_controller)
- 12) <https://en.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>
- 13) <http://www.ni.com/es-es/support/model.ni-9263.html>
- 14) <http://www.ni.com/es-es/support/model.cdaq-9174.html>
- 15) <http://www.ni.com/es-es/support/model.ni-9220.html>
- 16) <http://www.mecanicavirtual.com>
- 17) <https://sdei.unican.es/paginas/servicios/software/labview.aspx>
- 18) Ogata, K. (1995). Sistemas de control en tiempo discreto. México: Prentice-Hall Hispanoamericana S.A.



---

**Universidad de Valladolid**



## Anexos.

### Anexo – 1. Hojas de características cdaq-9174

# CompactDAQ Chassis

cDAQ-9171, cDAQ-9174, cDAQ-9178, cDAQ-9179, cDAQ-9181, cDAQ-9185, cDAQ-9189, cDAQ-9191



- Customize your acquisition, analysis, visualization, and reporting with LabVIEW
- Choose from USB, Ethernet, or wireless bus options
- 60+ I/O modules to support a variety of input and output types
- Easy timing customization with up to seven hardware-timed clocks per chassis
- Time Sensitive Networking enabled Ethernet chassis for distributed measurements
- Rugged form factors withstand -40 °C to 70 °C, 50g shock, 5g vibration

## Built for Accurate, Conditioned Measurements

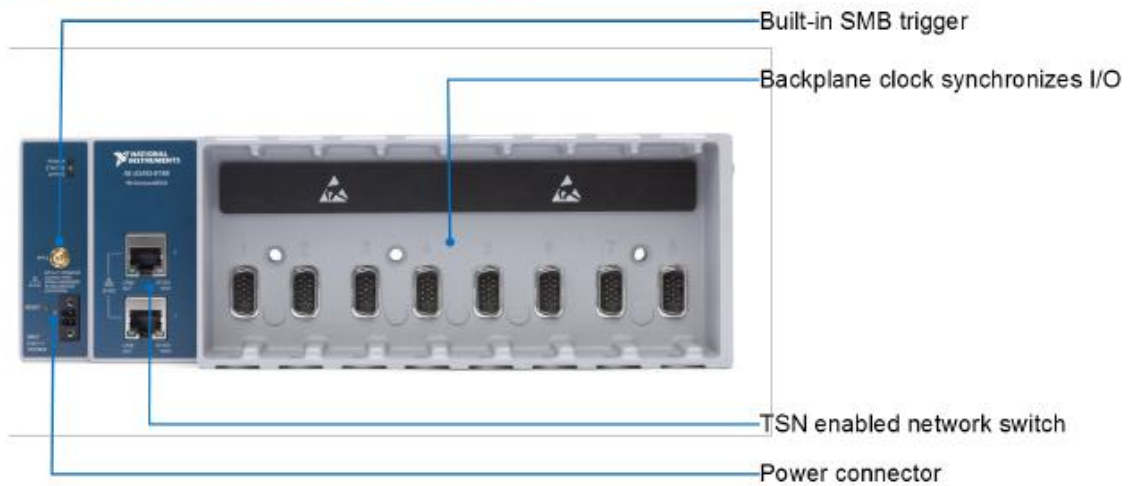
From appliance validation test to benchtop research, you most likely need multiple types of sensors. Many devices can individually measure temperature, voltage, or vibration, but CompactDAQ can acquire and synchronize all of these measurements in one system. CompactDAQ chassis feature USB, Ethernet, or WiFi connectivity and come in multiple slot counts to provide the right amount of I/O for various applications. You use these models with a combination of C Series I/O modules to create a mix of analog I/O, digital I/O, and counter/timer measurements.

You can use CompactDAQ with LabVIEW software to customize how you acquire, analyze, present, and manage your measurement data. CompactDAQ makes programming easier because the same NI-DAQmx driver is used for all measurements. All modules are automatically detected and synchronized by the hardware clock in the backplane of the chassis. If there are problems with any of the measurements or equipment, award-winning local NI support is the only contact for all your instrumentation needs.

Table 1. NI offers chassis with a breadth of bus, size, and rugged options to meet different application requirements.

Models	Bus Connectivity	Slot Count	TSN Synchronization Enabled	Built-In Trigger	Operating Temperature Range
cDAQ-9171	USB 2.0	1			-20 °C to 55 °C
cDAQ-9174	USB 2.0	4		•	-20 °C to 55 °C
cDAQ-9178	USB 2.0	8		•	-20 °C to 55 °C
cDAQ-9179	USB 3.0	14		•	-20 °C to 55 °C
cDAQ-9181	Ethernet	1			0 °C to 55 °C
cDAQ-9185	Ethernet	4	•	•	-40 °C to 70 °C
cDAQ-9189	Ethernet	8	•	•	-40 °C to 70 °C
cDAQ-9191	Wi-Fi	1			0 °C to 55 °C

## Detailed View of cDAQ-9189



## Key Features

### Mixed Measurement Systems

CompactDAQ chassis control the timing, synchronization, and data transfer between C Series modules and an external host. Each C Series module contains measurement-specific signal conditioning to connect directly to an array of sensors and signals, bank and channel-to-channel isolation options, and support for wide temperature ranges to meet a variety of application and environmental needs. Choose from more than 60 C Series I/O modules for different measurements including thermocouple, voltage, resistance temperature detector, current, resistance, strain, digital (TTL and other), accelerometer, and microphone. Channel counts on the individual modules range from one to 32 channels to accommodate a wide range of system requirements.



Figure 1. Connect to any sensor on any bus with C Series I/O modules.

### Precise Timing and Synchronization

Because CompactDAQ is a modular system, you can add more measurement types and channels to the system by simply plugging in additional modules. All modules are automatically detected and synchronized to the clock in the backplane of the chassis. CompactDAQ has multiple timing engines, which allow you to run multiple hardware-timed operations simultaneously with independent rates for analog input. Ideal for highly distributed systems, TSN enabled chassis synchronize measurements using network-based time, which allows for accurate synchronization over long distances and eliminates the need for lengthy, physical timing cables.



Figure 2. Easily expand your system with an integrated network switch for simple daisy-chaining.



## Input Characteristics

Number of channels	16 analog input channels
ADC resolution	16 bits
Type of ADC	Successive approximation register (SAR)
Input voltage ranges	
Measurement Voltage (AI+ to AI-)	
Minimum <sup>1</sup>	±10.4 V
Typical	±10.5 V
Maximum	±10.6 V
Maximum voltage (Signal + Common Mode)	Each channel must remain within ±10.4 V of common
Overvoltage protection	±30 V
Conversion time	10 µs minimum
Sample rate	100 kS/s maximum

**Table 1. Accuracy**

Measurement Conditions		Percent of Reading (Gain Error)	Percent of Range <sup>2</sup> (Offset Error)
Calibrated	Maximum (-40 °C to 70 °C)	0.142%	±0.070%
	Typical (23 °C ±5 °C)	0.010%	±0.001%
Uncalibrated <sup>3</sup>	Maximum (-40 °C to 70 °C)	0.350%	±0.360%
	Typical (23 °C ±5 °C)	0.060%	±0.070%

### Stability

Gain drift	5 ppm/°C
Offset drift	29 µV/°C
CMRR ( $f_{in} = 60$ Hz)	70 dB
-3 dB bandwidth	>100 kHz
Input impedance	>1 GΩ

<sup>1</sup> The minimum measurement voltage range is the largest voltage the NI 9220 is guaranteed to accurately measure.

<sup>2</sup> Range equals ±10.5 V.

<sup>3</sup> Uncalibrated accuracy refers to the accuracy achieved when acquiring in raw or unscaled modes where the calibration constants stored in the module are not applied to the data.

Input noise	0.85 LSB <sub>rms</sub>
Crosstalk	-90 dB
Settling time (to 2 LSBs)	
10 V step	19 μs
20 V step	26 μs
No missing codes	15 bits
MTBF	1,522,250 at 25 °C; Bellcore Issue 6, Method 1, Case 3, Limited Part Stress Method

## Power Requirements

Power consumption from chassis (full-scale input, 100 kS/s)	
Active mode	1 W maximum
Sleep mode	4 mW maximum
Thermal dissipation (at 70 °C)	
Active mode	1.250 W maximum
Sleep mode	510 mW maximum

## Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.



**Tip** For two-dimensional drawings and three-dimensional models of the C Series module and connectors, visit [ni.com/dimensions](https://ni.com/dimensions) and search by module number.

Spring-terminal wiring	
Gauge	0.08 mm <sup>2</sup> to 1.0 mm <sup>2</sup> (28 AWG to 18 AWG) copper conductor wire
Wire strip length	7 mm (0.28 in.) of insulation stripped from the end
Temperature rating	90 °C minimum
Wires per spring terminal	One wire per spring terminal
Connector securement	
Securement type	Screw flanges provided
Torque for screw flanges	0.2 N · m (1.80 lb · in.)
Weight	
NI 9220 with Spring Terminal	143 g (5.0 oz)
NI 9220 with DSUB	147 g (5.2 oz)



## NI 9220 with Spring Terminal Safety Voltages

Connect only voltages that are within the following limits.

Channel-to-COM	±30 V maximum
Isolation	
Channel-to-COM	None
Channel-to-earth ground	
Continuous	250 Vrms, Measurement Category II
Withstand	3,000 Vrms, verified by a 5 s dielectric withstand test

Measurement Category II is for measurements performed on circuits directly connected to the electrical distribution system. This category refers to local-level electrical distribution, such as that provided by a standard wall outlet, for example, 115 V for U.S. or 230 V for Europe.



**Caution** Do not connect the NI 9220 with spring terminal to signals or use for measurements within Measurement Categories III or IV.

## NI 9220 with DSUB Safety Voltages

Connect only voltages that are within the following limits.

Channel-to-COM	±30 V maximum
Isolation	
Channel-to-COM	None
Channel-to-earth ground	
Continuous	60 VDC, Measurement Category I
Withstand	1,000 Vrms, verified by a 5 s dielectric withstand test

Measurement Category I is for measurements performed on circuits not directly connected to the electrical distribution system referred to as MAINS voltage. MAINS is a hazardous live electrical supply system that powers equipment. This category is for measurements of voltages from specially protected secondary circuits. Such voltage measurements include signal levels, special equipment, limited-energy parts of equipment, circuits powered by regulated low-voltage sources, and electronics.



**Caution** Do not connect the NI 9220 with DSUB to signals or use for measurements within Measurement Categories II, III, or IV.

Anexo –3. Hojas de características NI-9263

Type of DAC	String
Power-on output state	Channels off
Startup voltage <sup>1</sup>	0 V
Power-down voltage <sup>2</sup>	0 V
Output voltage range	
Nominal	±10 V
Minimum	±10.4 V
Typical	±10.7 V
Maximum	±11 V
Current drive	±1 mA per channel maximum
Output impedance	2 Ω

Table 1. Accuracy

Measurement Conditions		Percent of Reading (Gain Error)	Percent of Range <sup>3</sup> (Offset Error)
Calibrated	Maximum (-40 °C to 70 °C)	0.35%	0.75%
	Typical (25 °C, ±5 °C)	0.03%	0.1%
Uncalibrated <sup>4</sup>	Maximum (-40 °C to 70 °C)	2.2%	1.7%
	Typical (25 °C, ±5 °C)	0.3%	0.25%

Stability	
Gain drift	11 ppm/°C
Offset drift	110 μV/°C
Protection	
Overvoltage	±30 V
Short-circuit	Indefinitely

<sup>1</sup> When the module powers on, a glitch occurs for 20 μs peaking at -1.5 V.

<sup>2</sup> The power-down voltage peaks at 1.8 V before exponentially discharging to 0 V in 100 μs. You can add a 10 kΩ load to reduce the peak voltage.

<sup>3</sup> Range equals ±10.7 V

<sup>4</sup> Uncalibrated accuracy refers to the accuracy achieved when acquiring in raw or unscaled modes where the calibration constants stored in the module are not applied to the data.



Table 2. Update Time

Number of Channels	Update Time for All Other Chassis	Update Time for NI cRIO-9151 R Series Expansion Chassis
1	3 $\mu$ s min	3.5 $\mu$ s min
2	5 $\mu$ s min	6.5 $\mu$ s min
3	7.5 $\mu$ s min	9 $\mu$ s min
4	9.5 $\mu$ s min	12 $\mu$ s min

Noise

Updating at 100 kS/s	600 $\mu$ Vrms
Not updating	260 $\mu$ Vrms
Slew rate	4 V/ $\mu$ s
Crosstalk	76 dB
Settling time (100 pF load, to 1 LSB)	
Full-scale step	20 $\mu$ s
1 V step	13 $\mu$ s
0.1 V step	10 $\mu$ s
Capacitive drive	1,500 pF minimum
Monotonicity	16 bits
DNL	$\pm$ 1 LSB maximum
INL (endpoint)	$\pm$ 12 LSB maximum
MTBF	1,732,619 hours at 25 °C; Bellcore Issue 2, Method 1, Case 3, Limited Part Stress Method

## Power Requirements

Power consumption from chassis	
Active mode (at -40 °C)	500 mW maximum
Sleep mode	25 $\mu$ W maximum
Thermal dissipation (at 70 °C)	
Active mode	750 mW maximum
Sleep mode	25 $\mu$ W maximum



## Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.



**Tip** For two-dimensional drawings and three-dimensional models of the C Series module and connectors, visit [ni.com/dimensions](http://ni.com/dimensions) and search by module number.

### Screw-terminal wiring

Gauge	0.2 mm <sup>2</sup> to 2.5 mm <sup>2</sup> (26 AWG to 14 AWG) copper conductor wire
Wire strip length	13 mm (0.51 in.) of insulation stripped from the end
Temperature rating	90 °C minimum
Torque for screw terminals	0.5 N · m to 0.6 N · m (4.4 lb · in. to 5.3 lb · in.)
Wires per screw terminal	One wire per screw terminal; two wires per screw terminal using a 2-wire ferrule
Ferrules	0.25 mm <sup>2</sup> to 2.5 mm <sup>2</sup>

### Spring-terminal wiring

Gauge	0.2 mm <sup>2</sup> to 2.5 mm <sup>2</sup> (30 AWG to 12 AWG) copper conductor wire
Wire strip length	10 mm (0.39 in.) of insulation stripped from the end
Temperature rating	90 °C minimum
Wires per spring terminal	One wire per spring terminal; two wires per spring terminal using a 2-wire ferrule
Ferrules	0.25 mm <sup>2</sup> to 2.5 mm <sup>2</sup>

### Connector securement

Securement type	Screw flanges provided
Torque for screw flanges	0.2 N · m (1.80 lb · in.)

### Weight

NI 9263 with screw terminal	150 g (5.3 oz)
NI 9263 with spring terminal	139 g (4.9 oz)



## Safety Voltages

Connect only voltages that are within the following limits:

Channel-to-channel	None
Channel-to-earth ground	
Continuous	250 Vrms, Measurement Category II
Withstand	2,300 Vrms, verified by a 5 s dielectric withstand test
Division 2 and Zone 2 hazardous locations applications (Channel-to-earth ground)	60 VDC, Measurement Category I

Measurement Category I is for measurements performed on circuits not directly connected to the electrical distribution system referred to as *MAINS* voltage. *MAINS* is a hazardous live electrical supply system that powers equipment. This category is for measurements of voltages from specially protected secondary circuits. Such voltage measurements include signal levels, special equipment, limited-energy parts of equipment, circuits powered by regulated low-voltage sources, and electronics.



**Caution** Do not connect the NI 9263 to signals or use for measurements within Measurement Categories II, III, or IV.



**Note** Measurement Categories CAT I and CAT O are equivalent. These test and measurement circuits are not intended for direct connection to the *MAINS* building installations of Measurement Categories CAT II, CAT III, or CAT IV.

Measurement Category II is for measurements performed on circuits directly connected to the electrical distribution system. This category refers to local-level electrical distribution, such as that provided by a standard wall outlet, for example, 115 V for U.S. or 230 V for Europe.



**Caution** Do not connect the NI 9263 to signals or use for measurements within Measurement Categories III or IV.

## Hazardous Locations

U.S. (UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, AEx nA IIC T4
Canada (C-UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, Ex nA IIC T4
Europe (ATEX) and International (IECEx)	Ex nA IIC T4 Gc



Anexo –4. Programa completo LABVIEW.

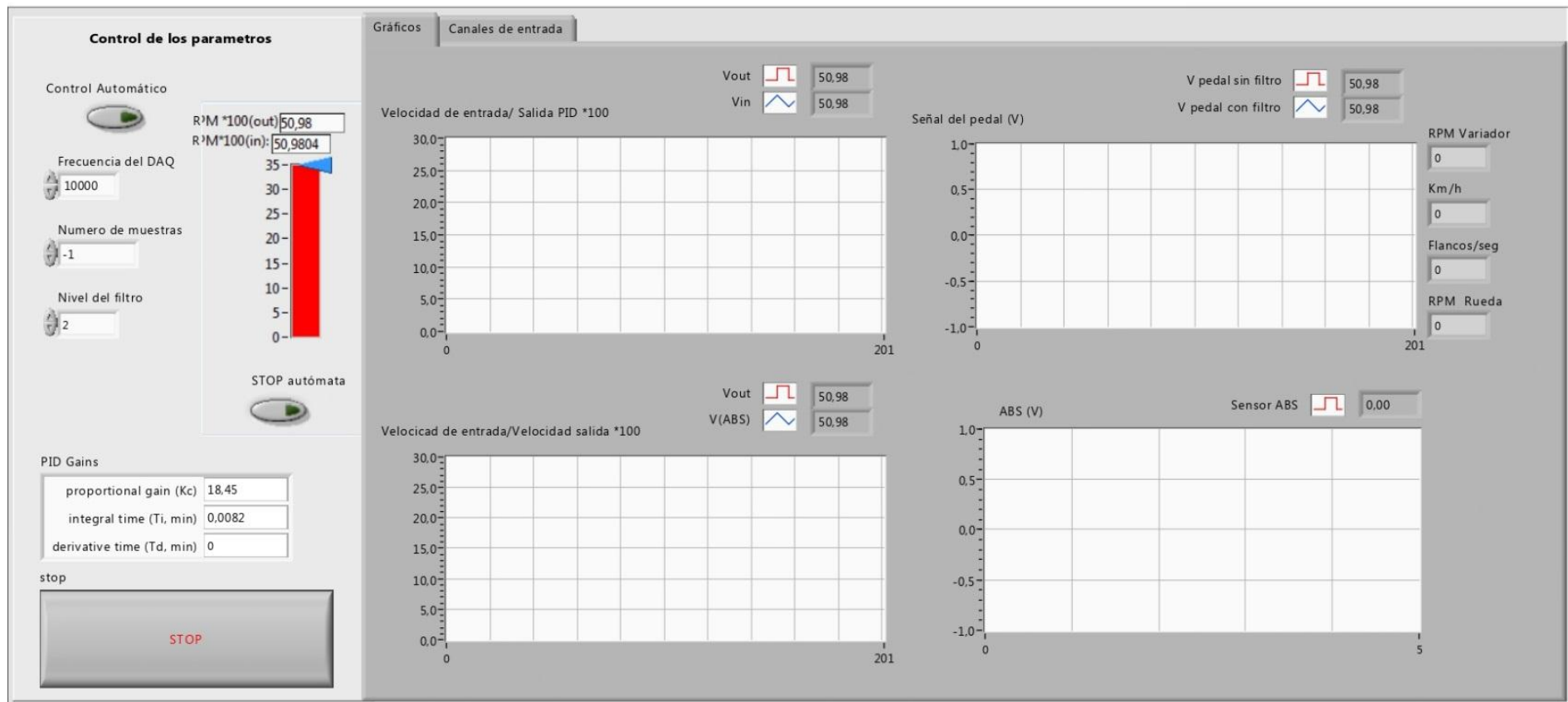
Proyecto Final.vi

C:\Users\Usuario\Desktop\Proyecto\Codigo Proyecto final\Proyecto Final.vi

Last modified on 03/06/2019 at 22:29

Printed on 04/06/2019 at 10:28

Front Panel





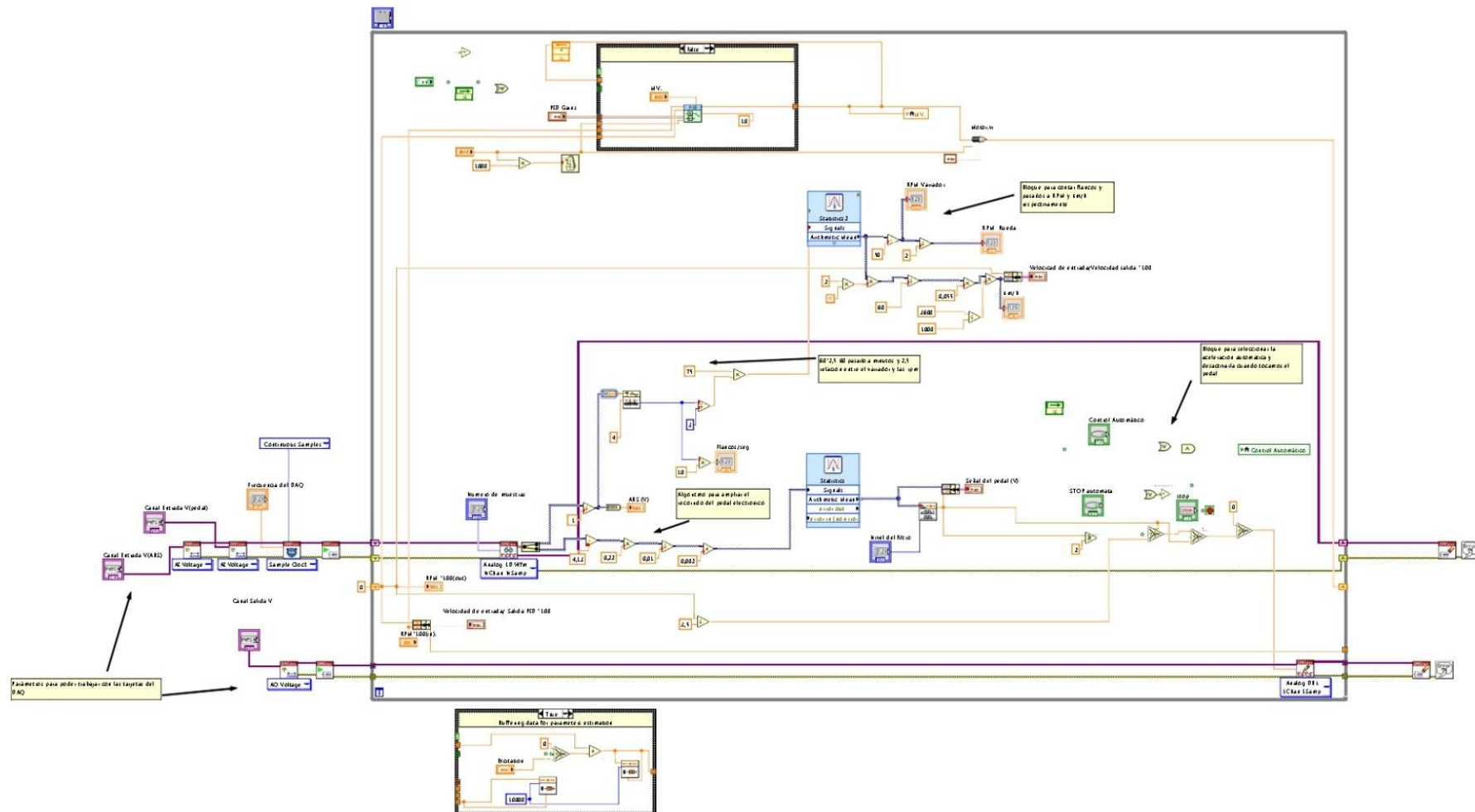
Proyecto Final.vi

C:\Users\Usuario\Desktop\Proyecto\Codigo Proyecto final\Proyecto Final.vi

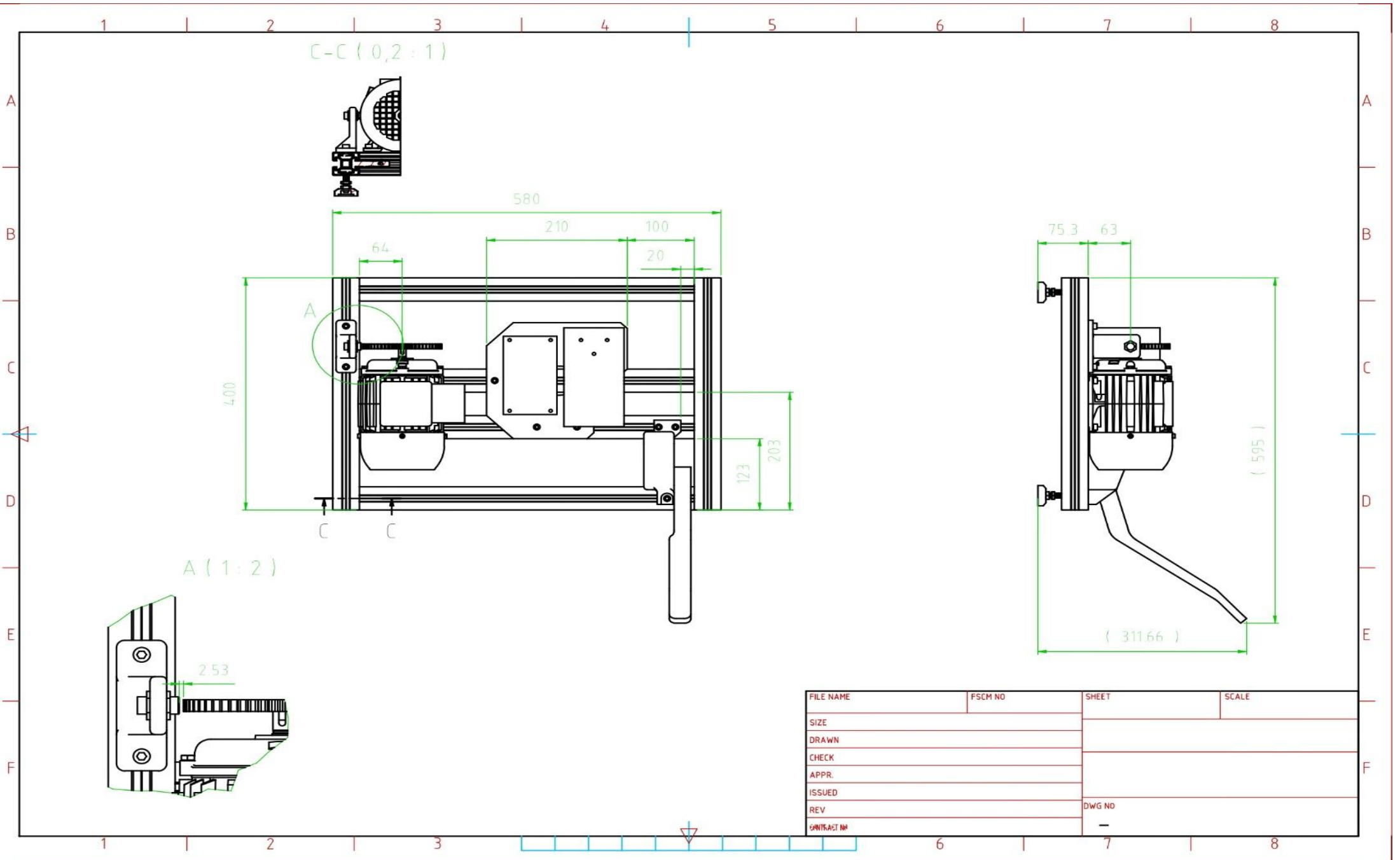
Last modified on 03/06/2019 at 22:29

Printed on 04/06/2019 at 10:28

Block Diagram



Anexo –5.Dibujo cotas banco de pruebas.



FILE NAME	FSCM NO	SHEET	SCALE
SIZE			
DRAWN			
CHECK			
APPR.			
ISSUED			
REV		DWG NO	
CONTACT NO		-	