

Trabajo de Fin de Máster

Máster Universitario de Ingeniería en Automoción

Proyecto de mejora del proceso de ensayo aerodinámico en vehículos industriales conforme al R (UE) 2017/2400

MEMORIA

Autor: Mikel Fernandez Alonso
Director: Marc Soler Aldea
Ponente: Esteve Jou Santacreu
Convocatoria: Cuatrimestre 2 – 18/19



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resumen

La principal motivación de este proyecto es la necesidad de un Trabajo de Fin de Máster para dar por finalizados los estudios del Máster Universitario en Automoción. Este proyecto se ha llevado a cabo en la empresa IDIADA Automotive Technology, concretamente en el departamento de Performance & Driveability y durante unas prácticas trabajando en ensayos aerodinámicos en vehículos industriales.

El origen del proyecto es la necesidad de mejoras en el procedimiento de ensayo aerodinámico definido en el Anexo VIII del Reglamento de la Comisión Europea 2017/2400, cuyo objetivo es la definición de la resistencia aerodinámica de vehículos industriales de cara al cálculo de los consumos de combustible y de las emisiones de CO₂. El objetivo del proyecto ha sido el desarrollo y el análisis de factibilidad de dos sistemas, para optimizar los tiempos y el coste del procedimiento de ensayo.

En primer lugar, y para dar contexto al proyecto, se expondrá el procedimiento de ensayo con sus fases (enfaticando especialmente en las fases en las que se aplicarán las mejoras) y los cálculos para la definición de la resistencia aerodinámica. También se especificarán los criterios de aceptación para la validez del ensayo.

El primero de los proyectos de mejora se tratará de un elevador neumático, cuyo objetivo será el de elevar un anemómetro móvil instalado en la cara frontal del remolque o caja del vehículo industrial. Este proyecto asistirá a la elevación de este anemómetro, que actualmente se hace a mano, ahorrando tiempo y facilitando su movimiento en casos en los que se requiera su manipulación. Este sistema estará accionado por el sistema neumático de frenos del vehículo.

El segundo proyecto de mejora es el de un sistema de elevación del eje tractor del vehículo de cara a una puesta a cero de los sensores de par instrumentados en el vehículo. La base de este sistema será un cilindro hidráulico accionado por la presión neumática del sistema de frenos del vehículo. Para este sistema, se diseñará tanto el apartado mecánico como su aplicación al procedimiento de ensayo, definiendo el nuevo procedimiento de elevación del eje tractor en la fase de puesta a cero de los sensores de par.

Finalmente, se considerarán tanto las inversiones ambos proyectos de mejorarse llevará a cabo el cálculo del ahorro que estos van a suponer para el precio de un ensayo. Con estos datos, se calculará la amortización de estas inversiones y se valorará si su aplicación real en el procedimiento sería conveniente.

Sumario

RESUMEN	3
SUMARIO	4
1. GLOSARIO	7
2. PREFACIO	9
2.1. Origen del proyecto.....	9
2.2. Motivación.....	10
2.3. Requerimientos previos	10
3. INTRODUCCIÓN	13
3.1. Objetivos del proyecto	13
3.2. Alcance del proyecto.....	14
4. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE VELOCIDAD CONSTANTE	15
4.1. Requerimientos de ensayo	15
4.1.1. Requerimientos de pista de ensayo.....	15
4.1.2. Requerimientos de condiciones ambientales.....	16
4.1.3. Requerimientos de instalación del vehículo	16
4.1.4. Requerimientos de equipo de medición.....	17
4.2. Procedimiento de ensayo de velocidad constante (CST).....	18
4.3. Criterios de validación.....	20
4.4. Cálculo del valor de Air Drag	21
4.4.1. Cálculo de fuerzas resistentes	21
4.4.2. Cálculo de $C_D \cdot A_{cr}(\beta)$ para diferentes secciones y direcciones de ensayo	22
4.4.3. Corrección del resultado por la influencia del viento lateral.....	24
4.4.4. Corrección a la altura de referencia e influencia del anemómetro.....	24
4.5. Declaración del valor de Air Drag	25
5. SISTEMA DE ELEVACIÓN DEL ANEMÓMETRO MÓVIL	27
5.1. Sistema actual de elevación del anemómetro	29
5.2. Propuesta de mejora.....	30
5.2.1. Selección del actuador.....	31
5.2.2. Diseño del sistema.....	34
5.2.3. Comprobación del sistema de fijación.....	37
5.2.3.1. Fuerza y ventosa verticales.....	38
5.2.3.2. Fuerza horizontal y ventosa vertical	39

5.2.4.	Conexión al sistema neumático de frenos	42
5.3.	Inversión para la aplicación del sistema.....	44
6.	SISTEMA DE ELEVACIÓN DEL EJE TRACTOR	47
6.1.	Procedimiento actual.....	47
6.2.	Propuesta de mejora	48
6.2.1.	Requerimientos mecánicos del sistema.....	51
6.2.2.	Selección del cilindro hidráulico	53
6.2.3.	Diseño de la zona de elevación	55
6.2.4.	Localización de la zona de elevación.....	60
6.2.5.	Procedimiento de elevación del vehículo	62
6.3.	Inversión para la aplicación del sistema.....	66
7.	AMORTIZACIÓN DE LA INVERSIÓN	67
8.	PRESUPUESTO	69
9.	IMPACTO AMBIENTAL	71
	CONCLUSIONES	73
	AGRADECIMIENTOS	75
	BIBLIOGRAFÍA	76

1. Glosario

R (UE) 2017/2400: Reglamento de la Comisión Europea 2017/2400

R (UE) 582/2011: Reglamento de la Comisión Europea 582/2011

VECTO: Vehicle Energy Consumption Calculation Tool

CST: Constant Speed Test (Ensayo de velocidad constante)

CO2: Dióxido de Carbono

$C_D * A_{cr}$: Producto del coeficiente de drag por el área frontal del vehículo

β : Ángulo de deriva del viento respecto al eje X

GPS: Global Positioning System

DGPS: Differential Global Positioning System

RRC: Rolling Resistance Coefficient (Coeficiente de resistencia a la rodadura)

v_{lm} : Media móvil de la velocidad (baja velocidad)

v_{lms} : Media móvil de la velocidad en toda la sección (baja velocidad)

v_{hm} : Media móvil de la velocidad (alta velocidad)

v_{hms} : Media móvil de la velocidad en toda la sección (alta velocidad)

T_{lm} : Media móvil del par (baja velocidad)

T_{lms} : Media móvil del par en toda la sección (baja velocidad)

T_{hm} : Media móvil del par (alta velocidad)

T_{hms} : Media móvil del par en toda la sección (alta velocidad)

F_{trac} : Fuerza total de tracción

T_L : Par izquierdo

T_R : Par derecho

n_{eng} : Velocidad del motor

i_{gear} : Ratio de la marcha

i_{axle} : Ratio del diferencial

v_{veh} : Velocidad del vehículo

F_{acc} : Fuerzas de inercia

$F_{res,ref}$: Fuerzas resistentes totales

ρ_{air} : Densidad del aire

F0: Fuerzas constantes independientes a la velocidad

F2: Fuerzas proporcionales al cuadrado de la velocidad

H_{ref} : Altura de referencia de la clase de vehículo

H_{meas} : Altura medida en el vehículo

h_{anemo} : Altura del anemómetro

F_{TH} : Fuerza de retención teórica

m : Masa del sistema

μ : Coeficiente de fricción

g : Aceleración gravitatoria

a : Aceleración del sistema

C_S : Coeficiente de seguridad

F_S : Fuerza de aspiración

P : Presión en el gato

F : Fuerza en el cilindro mayor

f : Fuerza en el cilindro menor

S : Área en el cilindro mayor

s : Área en el cilindro menor

K : Coeficiente de multiplicación de la fuerza aplicada

C : Capacidad del cilindro hidráulico

Fg_{MAX} : Peso máximo en el eje tractor

D : Diámetro de la rueda

Kingpin: Quinta rueda de la tractora (Conexión con el semirremolque)

PAV: Pista de alta velocidad

PDA: Plataforma dinámica A

2. Prefacio

2.1. Origen del proyecto

El origen de este proyecto está basado en la necesidad del departamento de “Performance & Driveability” de alternativas, para ser capaces de llevar a cabo el ensayo de cálculo de la resistencia aerodinámica en vehículos industriales conforme al Reglamento de la unión europea 2017/2400 (*Implementing Regulation (EC) No 595/2009 of the European Parliament and of the Council as regards the determination of the CO2 emissions and fuel consumption of heavy-duty vehicles*) [1]. Esta necesidad de alternativas puede tener como objetivo cumplir con las limitaciones definidas por la propia norma, o facilitar el trabajo de los operarios a la hora de llevar a cabo el ensayo físico.

El Reglamento (UE) 2017/2400 presenta los procedimientos de ensayo para el cálculo de la resistencia aerodinámica en vehículos pesados. Esta resistencia aerodinámica está directamente relacionada con el consumo y por lo tanto con las emisiones, por lo que está ligado al Reglamento (UE) 582/2011 de la Comisión Europea [2]. Este reglamento presenta los requisitos para la homologación de vehículos pesados en lo concerniente a las emisiones. Las medidas para la determinación de las emisiones de CO2 y el consumo de combustible de los vehículos pesados nuevos deben formar parte del sistema de homologación de tipo instituido por dicho Reglamento. A fin de obtener la homologación, debe exigirse una licencia para realizar simulaciones encaminadas a determinar las emisiones de CO2 y el consumo de combustible de un vehículo.

Las simulaciones más adelante comentadas, y que tienen como fin la determinación de emisiones de CO2 y de consumo de combustible, se llevan a cabo con un programa de la Comisión Europea llamado Vehicle Energy Consumption Calculation Tool y que consta de múltiples módulos para la caracterización de los diferentes sistemas o grupos de sistemas del vehículo. Este proyecto se centrará en el módulo de VECTO destinado al cálculo y la caracterización de la resistencia aerodinámica al avance del vehículo, y cuya obtención se lleva a cabo mediante un ensayo de velocidad constante (CST).

Las alternativas planteadas en este proyecto estarán destinadas a la mejora del proceso de ensayo de velocidad constante, para facilitar la posterior obtención de la resistencia aerodinámica al avance. Como se comentará más adelante, a grandes rasgos el objetivo del proyecto es el desarrollo de dos sistemas que deberán cumplir con las siguientes funcionalidades:

- Un sistema de elevación, que sin necesidad de una fuente de energía externa sea

capaz de elevar un anemómetro instalado en la parte delantera del remolque o caja, hasta una altura máxima de 1,5 metros.

- Un sistema de elevación, que mediante la utilización de la presión neumática del sistema de frenos del vehículo sea capaz de elevar el eje tractor para la puesta a cero de los sensores de par.

2.2. Motivación

La elección de este tema para el proyecto responde a varias circunstancias: la primera de ellas es la necesidad de llevar a cabo un Trabajo de Fin de Máster para completar los estudios del Master Universitario de Ingeniería en Automoción; la segunda, la aplicación en un proyecto de las habilidades y los conocimientos obtenidos a lo largo de las prácticas en empresa cursadas en IDIADA Automotive Technology; la tercera, la detección de una necesidad del departamento de Performance & Driveability y la búsqueda de una posible solución al problema.

Para poder dar por finalizados los estudios y obtener el título del máster, es necesaria la entrega y la defensa de un proyecto caracterizado como TFM (Trabajo de Fin de Máster). Se ha considerado importante que este proyecto fuese de interés para el alumno y la empresa, pero también didáctico desde un punto de vista formativo.

A lo largo del proyecto será necesario poner en práctica todos los conocimientos adquiridos durante los meses de prácticas en la empresa, y se considerará de vital importancia el conocimiento de los procesos de ensayo y tratamiento de los datos a lo largo de la obtención de la resistencia aerodinámica al avance.

Gracias a las prácticas cursadas en la empresa, se podrán comprender de mejor manera las necesidades del departamento y llevar a cabo un acercamiento real a la base del problema y su solución.

2.3. Requerimientos previos

Para llevar a cabo la elaboración de este proyecto son necesarios algunos requerimientos previos tanto para el estudiante como para la empresa. El estudiante, por su parte, deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- Disponer de conocimientos suficientes sobre aerodinámica de vehículos para comprender el funcionamiento tanto de los ensayos como de la aplicación de estos ensayos en VECTO.

- Disponer de conocimientos suficientes sobre estática de fluidos, resistencia de materiales, y otras posibles ciencias aplicadas para llevar a cabo el diseño de los sistemas neumáticos de elevación.

Por otro lado, la empresa deberá cumplir los siguientes requisitos.

- Proporcionar al estudiante las facilidades necesarias para llevar a cabo el proyecto, tanto materiales como logísticas.

3. Introducción

3.1. Objetivos del proyecto

Como se ha comentado con anterioridad, el objetivo principal del proyecto es el desarrollo de dos sistemas de elevación actuados por sistemas que no requieran de una fuente de energía externa al vehículo. Cada uno de ellos tiene una razón de ser diferente, pero ambos comparten el objetivo de facilitar el proceso de ensayo a los técnicos de ensayo, reduciendo el número de acciones que deben llevarse a cabo de forma manual y minimizando la probabilidad de errores humanos.

El primero de los sistemas ha de ser capaz de elevar el anemómetro móvil mediante un sistema neumático o eléctrico. La normativa define que el anemómetro debe estar instalado a un tercio de la altura total del vehículo sobre su punto más alto. Considerando que la altura máxima en vehículos industriales está limitada a 4 metros (excepto en casos especiales), la altura máxima que deberá alcanzar el anemómetro sobre el vehículo es de 1,33 metros. Teniendo en cuenta este factor, y guardando algo de espacio para el montaje del sistema, se definirá una capacidad de elevación de 1,5 metros.

Actualmente, el sistema de colocación del anemómetro es completamente manual, y los operarios deben montarlo en la parte delantera del remolque o caja mediante un sistema de ventosas o taladrando en la pared delantera. Mediante un taladrado del remolque, la fijación es mejor, pero no siempre puede llevarse a cabo ya que en algunos casos los remolques ensayados son de propiedad de terceros. Por otro lado, debe considerarse que el montaje de las ventosas en las propias pistas, antes de llevar a cabo el ensayo, puede ser complicado.

El segundo sistema deberá ser capaz de elevar unos pocos centímetros el eje tractor del vehículo, con el objetivo de la puesta a cero de los sensores de par. Esta puesta a cero se debe hacer después del proceso de calentamiento y antes de las primeras pasadas de velocidad constante, y en menos de 10 minutos para que el ensayo sea válido. Actualmente existen múltiples gatos neumáticos e hidráulicos para elevar el vehículo, pero es necesario llevar estos gatos a las pistas de ensayo, complicando el desarrollo de las pruebas y requiriendo la presencia de otro técnico.

Por otro lado, una característica importante que ha de tener este sistema es la capacidad de adaptarse a diferentes modelos y disposiciones de ejes. Actualmente, la elevación del eje tractor se lleva a cabo mediante un gato neumático que se apoya en la parte inferior del diferencial, pero dependiendo del vehículo éste puede no estar centrado en el eje tractor y

estar algo desplazado hacia un lateral.

A modo de objetivo adicional, se desea que ambos sistemas neumáticos utilicen a forma de fuente de energía algún sistema del vehículo para no requerir de ninguna fuente de energía externa que tenga que ser trasladada a las pistas de ensayo. Las opciones que nos quedan teniendo en cuenta esto serían la utilización de sistemas eléctricos cuya fuente de energía sea la batería del vehículo (De 12 o 24 V) o el sistema neumático de frenos. En vehículos industriales los sistemas de frenos son normalmente de accionamiento neumático, trabajando a presiones de hasta 10 – 12 bares.

A modo personal, se ha definido el objetivo de ser capaz de llevar a cabo un proyecto bajo presión. Debido a circunstancias varias, se disponen únicamente de 3 meses para la ejecución de este proyecto, por lo que se trabajará con plazos de trabajo cortos.

3.2. Alcance del proyecto

El alcance de este proyecto es el diseño, la comprobación de la factibilidad y el cálculo de costes de ambos sistemas. Los diseños se llevarán a cabo considerando el entorno de ambos sistemas y el procedimiento actual para llevar a cabo los procesos del ensayo. Considerando estos procedimientos, se propondrán mejoras y se proporcionarán los diseños detallados de ambos sistemas para una previsible implementación.

También se hará un estudio de la factibilidad de ambos sistemas, para comprobar que su instalación, utilización e implementación en el procedimiento de ensayo es posible y si con ello se obtendrán los resultados deseados.

Finalmente, se llevarán a cabo aproximaciones de los costes de implementación de ambos sistemas, para lo que se considerará la lista de componentes necesaria y se valorará si se disponen de estos componentes o no. Con los componentes de los que no se disponen, se hará un cálculo de los costes de los sistemas lo más aproximado posible (es posible que los precios de algunos componentes sean difíciles de obtener y se tengan que hacer asunciones). Con los presupuestos de ambos sistemas, se podrá calcular la amortización de la inversión necesaria y se considerará si el proyecto es válido para su implementación o no.

4. Procedimiento de ensayo de velocidad constante

El cálculo de la resistencia aerodinámica al avance en vehículos industriales se lleva a cabo mediante un ensayo de velocidad constante, cuyas características y procedimiento están definidas en el Anexo VIII del R (UE) 2017/2400. En este capítulo de la memoria se explica el procedimiento de ensayo y sus especificaciones para ser llevado a cabo de manera certificable.

El procedimiento de ensayo de velocidad constante se aplica para calcular las características aerodinámicas del vehículo. A lo largo del ensayo se medirán las señales principales para dos velocidades de vehículo (baja y alta velocidad) bajo las condiciones de ensayo definidas más adelante y en una pista de pruebas. Estas señales principales serán:

- Par del eje tractor
- Velocidad del vehículo
- Velocidad del flujo de aire
- Ángulo del flujo de aire

Los datos recopilados durante el ensayo se introducirán en la herramienta de procesado de Air Drag (VECTO), para obtener el producto del coeficiente de Drag y el área frontal del vehículo, a un ángulo de guiñada nulo ($C_D * A_{cr}(0)$).

4.1. Requerimientos de ensayo

Para llevar a cabo los ensayos de forma certificable deben cumplirse unos requerimientos de pista de ensayo, de condiciones ambientales, de instalación del vehículo y de equipo de medición.

4.1.1. Requerimientos de pista de ensayo

La geometría de la pista debe ser o bien un circuito con dos áreas de medición rectas (con una desviación máxima de 20° entre ellas), o bien una pista recta con un área de medición y posibilidad de conducir en ambas direcciones. Estas áreas de medición deberán consistir en una sección de estabilización y una sección de medición, y la latitud y longitud al inicio y final del ensayo deberán estar determinadas con una exactitud mejor o igual de 0,15 m.

Las secciones de medición (dentro de las áreas de medición) deberán tener una longitud de 250 m con una tolerancia de ± 3 m. Estas secciones de medición deberán ser líneas rectas, y la pendiente longitudinal máxima que podrá tener el asfalto, tanto en las secciones de estabilización como en las de medición, será de $\pm 1\%$.

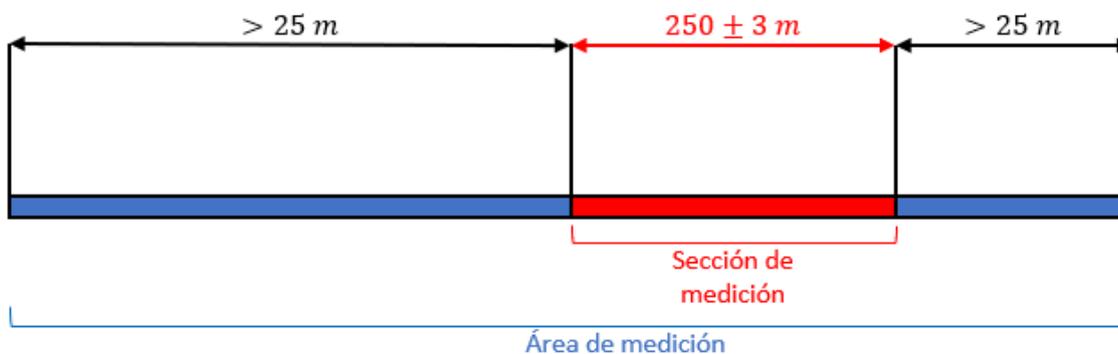


Imagen 1: Área y sección de medición

4.1.2. Requerimientos de condiciones ambientales

En lo que a temperaturas se refiere, la temperatura ambiente debe estar entre 0°C y 25°C , y la del asfalto no debe exceder los 40°C . Estas temperaturas deben cumplirse a lo largo de los ciclos de velocidad constante, ya sean de alta o de baja.

La velocidad media del viento deberá ser menor a 5 m/s , y la velocidad máxima de ráfaga será de 8 m/s (calculada mediante medias a lo largo de 1 segundo). El ángulo medio máximo del viento respecto a la dirección del vehículo será de $\beta \leq 3^{\circ}$ a lo largo de los ciclos de velocidad constante.

4.1.3. Requerimientos de instalación del vehículo

Las dimensiones del vehículo deben cumplir con las regulaciones vigentes, y cumplir con las dimensiones del camión o remolque estándar, según el grupo de vehículo al que pertenezcan. Hay dos tipos de vehículo estándar dependiendo si se está trabajando con un camión rígido o con un camión articulado. Los vehículos estándar B1, B2, B3, B4 y B5 son correspondientes a camiones rígidos y definen las dimensiones de estos vehículos, y el estándar ST1 representa lo mismo para los camiones articulados. El modelo de vehículo standard correspondiente dependiendo del grupo de vehículo de ensayo estará definido en la siguiente tabla, y cada uno de ellos tiene unas medidas específicas:

Vehicle group	Standard body or trailer
1	B1
2	B2
3	B3
4	B4
5	ST1
9	depending on maximum gross vehicle weight: 7,5 – 10t: B1 > 10 – 12t: B2 > 12 – 16t: B3 > 16t: B5
10	ST1

Tabla 1: Modelo estándar correspondiente según grupo de vehículo (Apéndice 4 del Anexo VIII, R (EU) 2017/2400)

La distancia mínima entre cabina y caja o (semi-)remolque y el alineamiento de los ejes será la acordada con el fabricante. La cabina y los accesorios aerodinámicos deberán adaptarse de la mejor manera posible al camión o remolque estándar. El ensayo deberá llevarse con el vehículo en vacío.

La máxima profundidad de la banda de rodadura de los neumáticos será de 10 mm en todo el vehículo, incluyendo el remolque.

Todos los componentes añadidos al vehículo que se puedan retirar no serán considerados para en la resistencia aerodinámica para la certificación del CO₂ y deberán ser retirados antes del ensayo.

4.1.4. Requerimientos de equipo de medición

Los equipos de medición deben cumplir con unos cuantos requerimientos. Todos los equipos de medición ya sean para calibración y/o verificación, deben ser rastreables a nivel nacional.

Para la medición del par, pueden utilizarse medidores de par en el eje o en la llanta, que deberán cumplir con unos requisitos de calibración.

La velocidad del vehículo está determinada mediante una señal de posición del GPS

diferencial y la longitud conocida de la sección de medición, derivada por las coordenadas del DGPS.

Para el cálculo de la velocidad de giro de las ruedas, se utiliza la señal de CAN de la velocidad del motor, desmultiplicándola por los ratios tanto de la caja de cambios como del diferencial.

Las condiciones ambientales (temperatura, humedad, presión atmosférica...) deberán medirse mediante una estación meteorológica que esté posicionada a menos de 2000 m del área de medición.

Un anemómetro móvil será el encargado de la medición de la velocidad y el ángulo del flujo de aire, junto con la temperatura del aire. El anemómetro deberá cumplir con una frecuencia de muestreo de 4 Hz o mayor. Este anemómetro deberá ser instalado en la siguiente posición:

- **Plano x:** A $\pm 0,3$ m de la pared delantera del remolque.
- **Plano y:** En el plano de simetría con una tolerancia de $\pm 0,1$ m.
- **Plano z:** Debe ser instalado a una altura de un tercio de la altura total del vehículo, sobre su punto más alto con una tolerancia entre 0 m y +0,2 m.

4.2. Procedimiento de ensayo de velocidad constante (CST)

Como se especificará más adelante, en cada combinación de sección de medición y dirección el procedimiento consistirá en una secuencia baja velocidad-alta velocidad-baja velocidad. Las velocidades de ensayo para cada caso serán las siguientes:

- La velocidad media a lo largo de la sección de medida en las pasadas de baja velocidad deberá estar entre 10 y 15 km/h .
- En el caso de las pasadas de alta velocidad, la velocidad media máxima a lo largo de la sección de medida será de 95 km/h . La velocidad media mínima será de 85 km/h (excepto si el vehículo no sea capaz de alcanzar la velocidad, en cuyo caso el límite inferior será de 3 km/h menos de la velocidad máxima).

A continuación, se desarrollan las fases del procedimiento de ensayo definidas en la norma, junto con sus requerimientos y características.

1. **Preparación del vehículo y de los sistemas de medición:** Instalación de los medidores de par, pesado del vehículo, comprobación de la banda de rodadura, preparación del DGPS y el anemómetro móvil, comprobación de altura y anchura del

- vehículo (y remolque en caso de ser necesario).
2. **Fase de calentamiento:** Conducción del vehículo durante un mínimo de 90 minutos a la velocidad objetivo de las pasadas de alta velocidad para calentamiento del sistema.
 3. **Puesta a cero de los medidores de par:** Para ello, primero se deben elevar las ruedas del eje tractor y después llevar a cabo la puesta a cero de los lectores de par. Este proceso no debe durar más de 10 minutos, lo que es una de las razones de este proyecto.
 4. **Fase de calentamiento:** Conducción del vehículo durante un mínimo de 10 minutos a la velocidad objetivo de las pasadas de alta velocidad para calentamiento del sistema.
 5. **Primeras pasadas de baja velocidad:** Se llevan a cabo pasadas a baja velocidad a lo largo del área de medición. Se debe asegurar que:
 - El vehículo se conduce a lo largo de la sección de medición de la manera más recta posible.
 - La velocidad media es la definida en las pasadas de baja velocidad.
 - Se llevan a cabo las pasadas sin llevar a cabo maniobras innecesarias.
 - El tiempo máximo de las pasadas de baja velocidad no excede los 20 minutos, para evitar el enfriamiento de los neumáticos.
 6. **Fase de calentamiento:** Conducción del vehículo durante un mínimo de 5 minutos a la velocidad objetivo de las pasadas de alta velocidad para calentamiento del sistema.
 7. **Pasadas de alta velocidad:** Se llevan a cabo pasadas a baja velocidad a lo largo del área de medición. Se debe asegurar que:
 - El vehículo se conduce a lo largo de la sección de medición de la manera más recta posible.
 - La velocidad media es la definida en las pasadas de baja velocidad.
 - Se llevan a cabo las pasadas sin llevar a cabo maniobras innecesarias.
 - La distancia entre el vehículo de ensayo a cualquier otro vehículo en la pista debe ser de al menos 500 m.
 - El tiempo máximo de las pasadas de baja velocidad no excede los 20 minutos, para evitar el enfriamiento de los neumáticos.
 - Se graban al menos 10 pasadas por dirección.
 8. **Segundas pasadas de baja velocidad:** Se llevan a cabo pasadas a baja velocidad a lo largo del área de medición. Se debe asegurar que:
 - El vehículo se conduce a lo largo de la sección de medición de la manera más recta posible.
 - La velocidad media es la definida en las pasadas de baja velocidad.
 - Se llevan a cabo las pasadas sin llevar a cabo maniobras innecesarias.
 - El tiempo máximo de las pasadas de baja velocidad no excede los 20

minutos, para evitar el enfriamiento de los neumáticos.

9. **Comprobación de la desviación de los medidores de par:** Tras la finalización de las segundas pasadas de baja velocidad se comprueba que la desviación de los medidores de par no sea mayor de 25 Nm. Para ello, se elevan las ruedas del eje tractor y se lleva a cabo la comprobación.

4.3. Criterios de validación

Para obtener resultados válidos con la herramienta de procesado (VECTO), deberán cumplirse con unos criterios de validación a lo largo de los ensayos de velocidad constante.

- La velocidad media está entre los límites definidos para cada velocidad de pasada (85 – 95 km/h para alta y 10 – 15 km/h para baja).
- La temperatura ambiente está entre 0 y 25°C.
- La temperatura de la pista de ensayo es menor de 40°C.
- La velocidad media del viento es menor a 5 m/s y la de ráfaga (en medias de 1 segundo) es menor a 8 m/s.
- El ángulo de deriva medio debe ser menor de 3°.
- Criterios de estabilidad para la velocidad del vehículo:
 - o En las pasadas de baja velocidad, en la sección de medición la diferencia entre la media de toda la sección ($v_{lms,avg}$) y la media central móvil de la velocidad ($v_{lm,avg}$) no puede ser mayor de 0,5 km/h.

$$(v_{lms,avg} - 0,5 \text{ km/h}) \leq v_{lm,avg} \leq (v_{lms,avg} + 0,5 \text{ km/h})$$

El cálculo de la media central móvil se hace con los valores medidos cada 25 m.

- o En las pasadas de alta velocidad, en la sección de medición la diferencia entre la media de toda la sección ($v_{hms,avg}$) y la media central móvil de la velocidad ($v_{hm,avg}$) no puede ser mayor de 0,3 km/h.

$$(v_{hms,avg} - 0,3 \text{ km/h}) \leq v_{hm,avg} \leq (v_{hms,avg} + 0,3 \text{ km/h})$$

El cálculo de la media central móvil se hace con los valores medidos cada 1 segundo.

- Criterios de estabilidad para el par del vehículo:
 - o En las pasadas de baja velocidad, en la sección de medición la media central móvil del par resultante ($T_{lm,avg}$) no debe diferir en más de un 30% respecto

al par resultante medio a lo largo de la sección ($T_{lms,avg}$).

$$(T_{lms,avg} \times 0,7) \leq T_{lm,avg} \leq (T_{lms,avg} \times 1,3)$$

El cálculo de la media central móvil se hace con los valores medidos cada 25 m.

- o En las pasadas de alta velocidad, en la sección de medición la media central móvil del par resultante ($T_{hm,avg}$) no debe diferir en más de un 20% respecto al par resultante medio a lo largo de la sección ($T_{hms,avg}$).

$$(T_{hms,avg} \times 0,8) \leq T_{hm,avg} \leq (T_{hms,avg} \times 1,2)$$

El cálculo de la media central móvil se hace con los valores medidos cada 1 segundo.

- La dirección del vehículo a lo largo de la sección de medición debe ser menor de 10° respecto a la dirección de la pista de pruebas.
- La distancia conducida dentro de la sección de medición no debe diferir del target de distancia en más de 3 metros.

La herramienta de procesado VECTO no proporcionará resultados de los datos introducidos en los siguientes casos:

- Cuando no se introduzcan el mismo número de pasadas a lo largo de la sección de medición en ambas direcciones.
- Cuando no se tienen al menos 10 pasadas válidas en cada dirección en las pasadas de alta velocidad.
- Cuando no se tienen al menos 1 pasada válida en cada dirección para cada grupo de pasadas de baja velocidad.
- Cuando el coeficiente de resistencia a la rodadura (RRC) calculado entre las primeras pasadas de baja y las segundas pasadas baja no debe diferir en más de $0,4 \text{ kg/t}$.

4.4. Cálculo del valor de Air Drag

Una vez llevado a cabo el ensayo, y definidas tanto el área como la sección de medición, se llevarán a cabo los cálculos para la definición del valor de $C_D * A_{cr}$. Además, se harán los cálculos necesarios para las comprobaciones de los resultados como la diferencia entre el coeficiente de resistencia a la rodadura.

4.4.1. Cálculo de fuerzas resistentes

En primer lugar, se obtendrá el valor de la fuerza total de tracción, para lo que se utilizará el par medido en ambas ruedas, la velocidad del motor, y los ratios de la caja de cambios y el

diferencial.

$$F_{trac} = \frac{(T_L + T_R) * \frac{n_{eng} * \pi}{30 * i_{gear} * i_{axle}}}{v_{veh}}$$

Esta fuerza de tracción se deberá corregir utilizando las fuerzas generadas por la inercia del vehículo (F_{acc}). Las fuerzas generadas por la inercia del vehículo que afectan al vehículo se calculan de la siguiente manera:

$$F_{acc} = m_{veh} * a_{avg} * 1,03$$

Así, se obtendrá el valor de las fuerzas resistentes totales que sufre el vehículo durante el ensayo.

$$F_{res,ref} = F_{trac} - F_{acc}$$

Por otro lado, se calculará la densidad del aire utilizando los datos de temperatura medidos en el vehículo, y presión del aire y humedad relativa medida en la estación meteorológica.

$$p_{v,H2O} = 611 * \frac{RH_{stat}}{100} * 10^{\frac{7,5 * t_{amb,stat}}{237 + t_{amb,stat}}}$$

$$\rho_{air} = \frac{p_{amb,stat} - p_{v,H2O}}{287,1 * (t_{amb,veh} + 273,15)} + \frac{p_{v,H2O}}{461,9 * (t_{amb,veh} + 273,15)}$$

4.4.2. Cálculo de $C_D * A_{cr} (\beta)$ para diferentes secciones y direcciones de ensayo

La obtención del resultado final, y los cálculos y correcciones utilizados para ello están recopilados en el manual del usuario de VECTO Air Drag [3]. Para la obtención del valor de $C_D * A_{cr} (\beta)$, en primer lugar se definirá una regresión lineal utilizando los resultados de las pasadas de baja y alta velocidad en la que se graficará la fuerza resistente ($F_{res,ref}$) en función de la velocidad del aire al cuadrado (v_{air}^2). En esta regresión se aplicarán pesos relativos a los diferentes grupos de datos (baja y alta velocidad), dando un peso del 50% a cada uno de ellos.

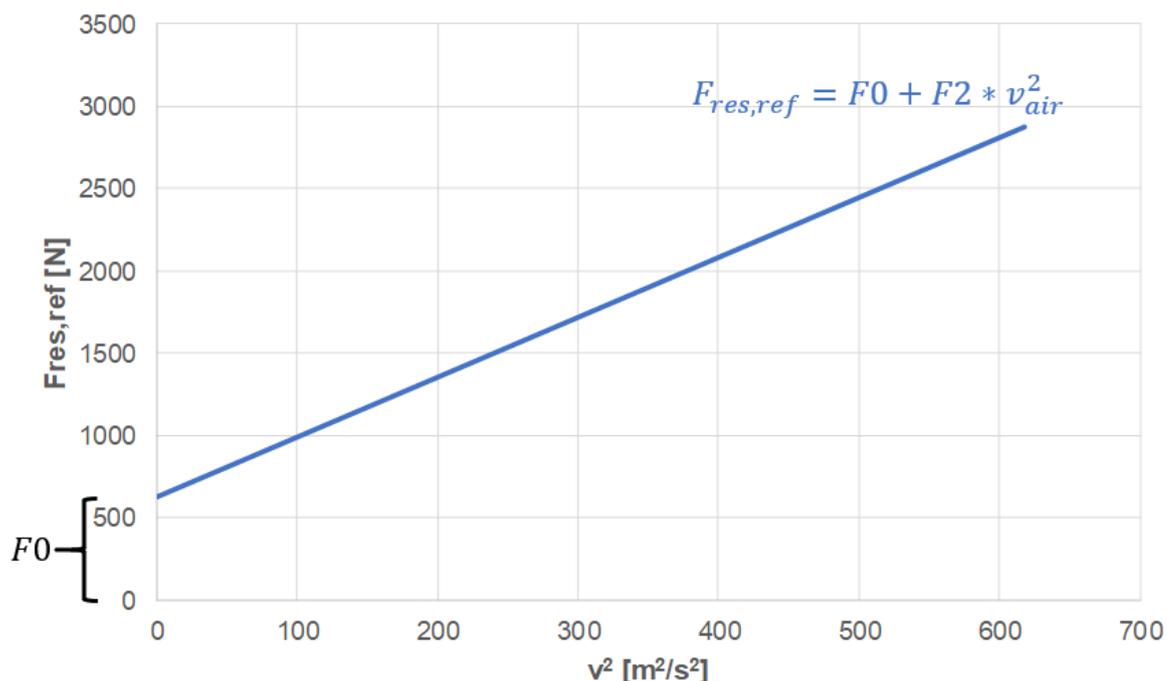


Imagen 2: Ejemplo de regresión con los resultados del ensayo

De esta manera, se obtienen los factores F_0 [N] y F_2 [Ns^2/m^2]. El factor F_0 representa las fuerzas resistentes constantes e independientes a la velocidad, y F_2 representa la pendiente de la regresión y las fuerzas aerodinámicas proporcionales a la velocidad al cuadrado.

Para cada una de las pasadas de alta velocidad se calculará el $C_D * A_{cr}(\beta)$ de la siguiente manera:

$$C_D * A_{cr}(\beta) = 2 * \frac{(F_{res,ref} - F_0)}{v_{air}^2 * \rho_{air,ref}}$$

Una vez se obtiene el $C_D * A_{cr}(\beta)$ para cada pasada de alta velocidad se calcularán las medias aritméticas para todo el ensayo y también para cada dirección.

También se calculará el ángulo de guiñada medio (β) de todas las pasadas de alta velocidad, de cara a la posterior corrección para un resultado de ángulo nulo.

De cara a la comprobación de la diferencia entre los coeficientes de resistencia a la rodadura (RRC) para ambas pasadas de baja velocidad (LS1 y LS2). Como se ha comentado anteriormente, esta diferencia deberá ser menor de $0,4 \text{ kg/t}$. Estos factores de

resistencia a la rodadura se calcularán de la siguiente manera:

$$RRC_{LS1} = \frac{1000 * F0_{LS1}}{m_{veh} * 9,81}$$

$$RRC_{LS2} = \frac{1000 * F0_{LS2}}{m_{veh} * 9,81}$$

4.4.3. Corrección del resultado por la influencia del viento lateral

El valor del coeficiente de resistencia aerodinámica por el área frontal para un valor de guiñada nulo $C_D * A_{cr}(0)_{meas}$ se calculará mediante la corrección del ángulo de guiñada de la siguiente manera:

$$C_D * A_{cr}(0)_{meas} = C_D * A_{cr}(\beta_{meas}) - \Delta C_D * A_{cr}(\beta_{meas})$$

Para la corrección se aplicará una curva genérica de corrección para la clase de vehículo y configuración (rígido o con tráiler). Esta curva proporcionará unos coeficientes que se utilizarán para la corrección de la siguiente manera:

$$\Delta C_D * A_{cr}(\beta) = a_1 * \beta + a_2 * \beta^2 + a_3 * \beta^3$$

Los valores genéricos para estos factores en clases de vehículo específicas se especifican en la siguiente tabla:

	rigid solo	rigid + trailer	tractor + se-mitrailer	coach, bus
a_1	0.013526	0.017125	0.030042	-0.000794
a_2	0.017746	0.072275	0.040817	0.021090
a_3	-0.000666	-0.004148	-0.002130	-0.001090

Tabla 2: Factores para corrección por ángulo de guiñada (VECTO Air Drag 3.1.6 User Manual)

4.4.4. Corrección a la altura de referencia e influencia del anemómetro

Para obtener el resultado final $C_D * A_{cr}(0)$ se calcula mediante una corrección a la altura referencia del vehículo y una corrección debida a la influencia del anemómetro móvil. Estas correcciones se harán mediante la siguiente ecuación:

$$C_D * A_{cr}(0) = C_D * A_{cr(0)_{meas}} * \frac{H_{ref}}{H_{meas}} - C_D * A_{cr_{anemo}}$$

La altura de referencia para cada clase de vehículo se especifica en la siguiente tabla:

Vehicle class	Reference vehicle height [m]
1	3.60
2	3.75
3	3.90
4	4.00
5	4.00
9	similar value than rigid with same maximum gross vehicle weight (class 1, 2, 3 or 4)
10	4.00

Tabla 3: Alturas de referencia para clases de vehículo específicas (VECTO Air Drag 3.1.6 User Manual)

Finalmente, se lleva a cabo la corrección debido a la influencia del anemómetro y su fijación. El valor de esta corrección se considera independiente del vehículo y se le da un valor de $C_D * A_{cr_{anemo}} = 0,15 \text{ m}^2$.

4.5. Declaración del valor de Air Drag

El resultado proporcionado por la herramienta de procesamiento de datos (VECTO) es el valor base de $C_D * A_{cr}(0)$ para su declaración. Este valor estará corregido para un valor de deriva $\beta = 0^\circ$.

El solicitante de la certificación deberá declarar un valor de $C_D * A_{declared}$ que esté en un rango entre $C_D * A_{cr}(0)$ y $C_D * A_{cr}(0) + 0,2 \text{ m}^2$. Esta tolerancia tendrá en cuenta las posibles diferencias entre el vehículo ensayado y el resto de todos los posibles vehículos en la familia de vehículos. Más adelante en la certificación del vehículo, el valor de $C_D * A_{declared}$ será el introducido en la herramienta de simulación como referencia para la certificación de las emisiones de CO2 y consumos.

5. Sistema de elevación del anemómetro móvil

Como se ha comentado anteriormente, se ha de diseñar un sistema que sea capaz de elevar el anemómetro móvil de manera automática para facilitar el trabajo de los técnicos a la hora de llevar a cabo su fijación para el ensayo. Además, debido a que la instalación del anemómetro se lleva a cabo a una altura considerable por encima del vehículo, se tiene la necesidad de bajarlo manualmente al pasar por puertas insuficientemente altas. Mediante la instalación de este sistema de elevación se podría llevar a cabo todo el calentamiento con el anemómetro sin desplegar y únicamente desplegarlo para hacer las pasadas de velocidad constante.

Este sistema deberá ser capaz de funcionar sin necesidad de una fuente de energía externa al vehículo, por lo que debería utilizar como fuente o bien la batería del vehículo, o bien la presión del circuito de frenos neumático.

Por normativa, el anemómetro móvil deberá cumplir con unas especificaciones de posición para dar por válido el ensayo. Por lo tanto, el sistema deberá estar montado cumpliendo con las siguientes tolerancias, considerando el sistema de ejes de referencia especificado por la normativa SAE J182 [4]:

- En el plano X, el anemómetro deberá montarse a una distancia máxima de $\pm 0,3 m$ respecto a la pared delantera del remolque o caja.
- En el plano Y, debe estar instalado en el mismo plano de simetría con una tolerancia máxima respecto al mismo de $\pm 0,1 m$.
- Finalmente, en el plano Z, el sistema deberá estar instalado a un mínimo de un tercio de la altura total del vehículo sobre el mismo, con una tolerancia máxima de $+0,2 m$. En vehículos industriales la altura máxima está limitada a $4 m$, y para maximizar la carga transportable, prácticamente todos los vehículos industriales miden la altura máxima permitida.

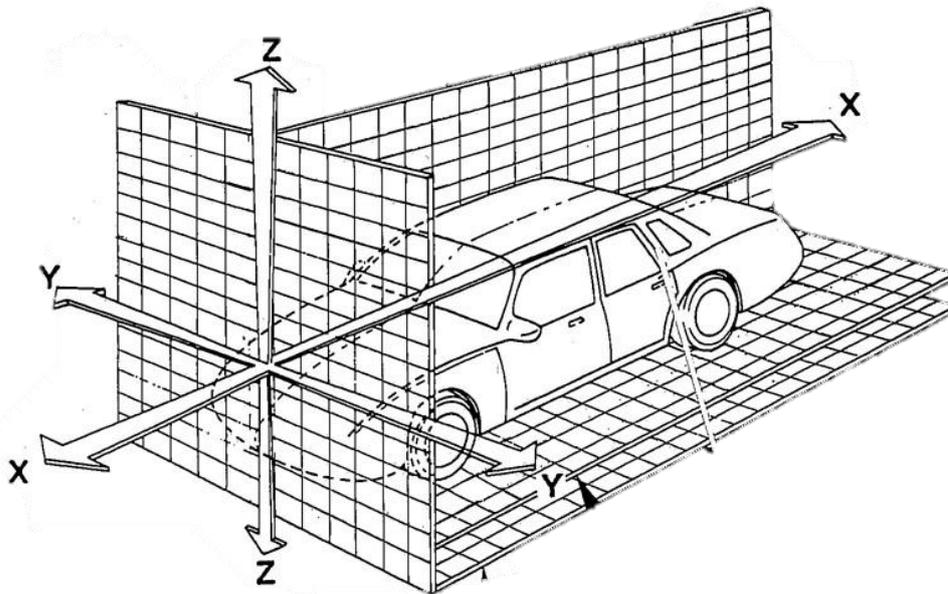


Imagen 3: Ejes y planos de referencia para vehículos de motor (SAE J182)

Por ejemplo, en el caso de un vehículo de 4 m de altura, la posición permitida para el anemómetro sería:

$$h_{anemo,min} = H_{meas} + \frac{1}{3} h_{veh}$$

$$h_{anemo,max} = H_{meas} + \frac{1}{3} h_{veh} + 0,2 \text{ m}$$

$$h_{anemo,min} = 5,33 \text{ m} / h_{anemo,max} = 5,53 \text{ m}$$

$$5,33 \text{ m} < h_{anemo} < 5,53 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta que este sería el “worst case”, se definirá como objetivo del sistema que disponga de una carrera de al menos 1,5 metros, para de esta manera ser capaces de elevar el anemómetro a una distancia válida, en cualquier caso.

Por otro lado, otro objetivo del sistema será el poder ser instalado en todo tipo de vehículo industrial, ya sea rígido o articulado. Además, su instalación deberá poder ser fácil y rápida, para poder ser intercambiado entre vehículos de una manera ágil.

El modelo de anemómetro utilizado para los ensayos es el *YOUNG Model 86000 Ultrasonic 2D Anemometer*, cuyas características principales son las siguientes:

- Velocidades del viento de 0 – 75 m/s con una resolución de 0,1 m/s y una precisión de $\pm 3\%$.

- Direcciones del viento de 0 – 360° con una resolución de 0,1° y una precisión de $\pm 2^\circ$.
- Tiempos de respuesta menores de 0,25 segundos.



Imagen 4: Anemómetro YOUNG Modelo 86000 (www.youngusa.com)

5.1. Sistema actual de elevación del anemómetro

Actualmente, la fijación se está llevando a cabo mediante unas ventosas y un tubo circular en cuyo extremo superior se fija el anemómetro. Las 6 ventosas utilizadas fijan mediante vacío el tubo circular a la cara frontal del remolque, y deben ser capaces de sostener el peso del conjunto de tubo y anemómetro. Estas ventosas utilizadas son modelo *Veribor BO 602.1*, y cada uno de los modelos dispone de 2 ventosas de 120 mm de diámetro:



Imagen 5: Ventosas Veribor BO 602.1 (www.Bohle.com)

El lado negativo de este sistema de fijación es que para elevar el sistema hasta la altura definida para el ensayo es necesaria la manipulación de un operario y la utilización de una escalera, convirtiéndolo en un proceso lento y en el que pueden ocurrir posibles errores y accidentes.



Imagen 6: Sistema de fijación del anemómetro actual

Por lo tanto, como comentamos la oportunidad de mejora no está en la instalación del sistema de elevación, si no en la automatización del proceso de elevación del anemómetro a la altura especificada para el ensayo.

5.2. Propuesta de mejora

Para el nuevo sistema de elevación, la idea principal es la utilización de un actuador lineal que sea capaz de elevar el peso del anemómetro de manera automática mediante la utilización de una fuente de energía. Como se ha comentado anteriormente, este actuador deberá funcionar sin la utilización de una fuente de energía externa al vehículo, por lo que las opciones que se plantearon fueron un actuador eléctrico (mediante la batería del camión) o un actuador neumático (mediante el sistema neumático de frenado).

La carrera del actuador lineal deberá ser de 1500 mm, lo que es una restricción importante de cara a encontrar un actuador válido para el sistema ya que durante el ensayo podría sufrir unos momentos flectores elevados que el sistema deberá ser capaz de soportar sin sufrir deterioros.

De cara a reducir los costes del proyecto, se tratará de buscar sinergias entre el antiguo sistema y la nueva propuesta. Uno de estos posibles puntos comunes entre los sistemas,

podría ser la utilización de las mismas ventosas para la fijación del nuevo sistema, en caso de que estas sean capaces de soportar el peso de todo el sistema. Para la comprobación de la validez de las ventosas en el sistema, más adelante se llevarán a cabo unos cálculos de dimensionamiento de ventosas.

5.2.1. Selección del actuador

Como ya hemos comentado, se plantean dos opciones para la elección del actuador lineal:

- Un actuador lineal neumático, en el que un émbolo es accionado debido a la diferencia de presión entre un lado y el otro del mismo. En el caso de este actuador, la fuente de energía para el mismo sería el circuito neumático de frenos del vehículo. Este tipo de actuadores tienen dos puertos, uno en cada extremo del cilindro, correspondientes a los dos lados del émbolo. Estos puertos deben alimentarse con dos presiones diferentes de cara a forzar el movimiento del émbolo en el interior del cilindro. Por lo tanto, habría que conectar uno de los dos extremos del émbolo con un punto de alta presión en el circuito de frenos, y el otro puerto debería recibir una presión menor (ya sea atmosférica, o de una zona de menor presión del mismo circuito de frenos).



Imagen 7: Ejemplo de un actuador lineal de émbolo neumático (www.britannica.com)

- Un actuador lineal eléctrico, accionado por un motor eléctrico y un husillo de bolas que convierte el movimiento rotatorio del motor en desplazamiento lineal del actuador. A modo de fuente de energía para el sistema se utilizará la propia batería del camión ensayado.

En este tipo de actuador, debe alimentarse el motor encargado del accionamiento del husillo de bolas, para lo que sería necesario tirar dos cables desde la batería hasta los puertos de alimentación del motor.

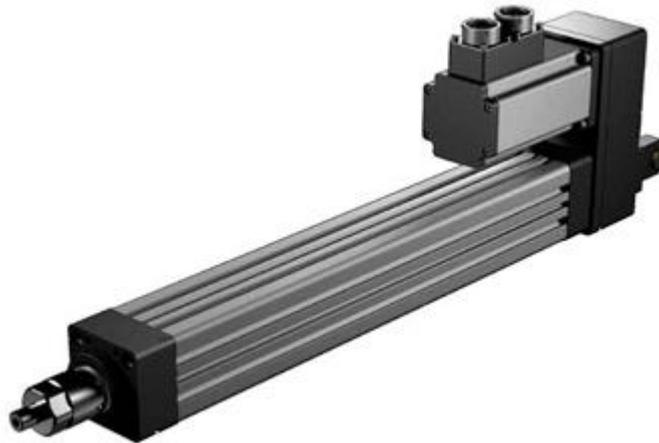


Imagen 8: Ejemplo de un actuador lineal de husillo de bolas (www.festo.com)

Ambas opciones han sido valoradas para el diseño del sistema, pero por razones de simplicidad y precio se ha decidido utilizar el actuador neumático en lugar del eléctrico con husillo. En el caso del cilindro neumático, no es necesaria la compra de un motor eléctrico y tiene menos piezas mecánicas que el eléctrico, lo que baja considerablemente el precio del sistema, obteniendo hasta 200 € de diferencia entre actuadores con carreras tan largas.

Un lado negativo de la utilización de cilindros neumáticos es que el control del desplazamiento y su velocidad es más complicado que en el caso de cilindros con husillo de paso fijo. En cilindros neumáticos, el desplazamiento y su velocidad depende completamente de las presiones aplicadas al sistema, y su control es más complicado debido a la necesidad de regulación de estas presiones neumáticas, que pueden tener comportamientos algo erráticos.

Aun así, en el caso del sistema en desarrollo estas variables de desplazamiento y velocidad no son de gran importancia, ya que el desplazamiento será siempre el máximo (la altura se regulará mediante la instalación del sistema), y la velocidad no supone un factor que se necesite controlar (siempre que este no sea peligroso para la integridad del sistema).

El cilindro neumático seleccionado para el sistema ha sido el *DNC Series ISO6431 Standard Cylinder*, con un diámetro de 63 mm y una carrera de 1500 mm. Las características principales de este cilindro son las siguientes:

Diámetro	63 mm
Carrera	1500 mm
Medio de trabajo	Aire filtrado
Presión de compresión	1,5 Mpa
Presión de funcionamiento máxima	1 Mpa
Presión de funcionamiento mínima	0,1 Mpa
Amortiguación	Amortiguación de aire
Temperatura de funcionamiento	-5 a 70 °C
Velocidad de funcionamiento	50 a 800 mm/s
Tamaño de los puertos	G 3/8"

Tabla 4: Características actuador DNC Series ISO6431 Standard Cylinder

Como podemos comprobar, las características del cilindro son óptimas para nuestro sistema:

- Disponemos de una carrera que nos permite llegar a los objetivos de elevación definidos.
- Disponemos del medio de trabajo en el vehículo sin necesidad de intervención exterior.
- El rango de presiones de funcionamiento del sistema es óptimo para la utilización del sistema neumático de frenos del vehículo, ya que las presiones máximas alcanzadas en estos sistemas son de 10 *bar* (equivalentes a 1 *MPa*).
- El rango de temperatura de funcionamiento permite ensayar en las condiciones más críticas de ensayo sin ningún tipo de problema.



Imagen 9: DNC Series ISO6431 Standard Cylinder (www.china-pneumatic.com)

5.2.2. Diseño del sistema

Una vez seleccionado el actuador lineal, conociendo el anemómetro utilizado y utilizando la fijación mediante ventosas a la cara frontal del remolque, podremos proceder al diseño del sistema y comprobación de que cumple con los requerimientos de la reglamentación una vez instalados.

Para la selección del cilindro neumático, y con la intención de facilitar la unión entre el mismo y las ventosas, se ha seleccionado un modelo de cilindro con los laterales estriados. De esta manera, mediante una sencilla mecanización se podrán producir unos adaptadores con los que montar las ventosas en el cilindro de una manera consistente. Mediante estos adaptadores, se podrán instalar las ventosas en el cilindro sin necesidad de ser montadas y desmontadas en cada caso, y se minimizarán las posibles holguras.

Este diseño se llevará a cabo teniendo en cuenta las tolerancias de la norma para las dimensiones del sistema, para que de esta manera pueda ser montado en el vehículo y poder llevar a cabo el ensayo de manera certificable.

Para el diseño CAD del sistema, se ha utilizado el software de diseño SolidWorks 2017. A continuación, se muestra la apariencia del sistema terminado y su instalación en el remolque. Para estas imágenes se han llevado a cabo unos tratamientos en el módulo de SolidWorks para renderizados, PhotoView 360.



Imagen 10: Imagen renderizada del sistema de elevación del anemómetro



Imagen 11: Detalle del anemómetro instalado en el sistema de elevación



Imagen 12: Detalle de la fijación del sistema de elevación del anemómetro

Como hemos comentado, el sistema debe cumplir con unas tolerancias de posición respecto a los ejes x, y, z. Ya que la única tolerancia que depende de las dimensiones del sistema es la del eje x, procederemos a comprobar que la distancia entre la cara de contacto de las ventosas y el anemómetro no excede los 0,3 m.

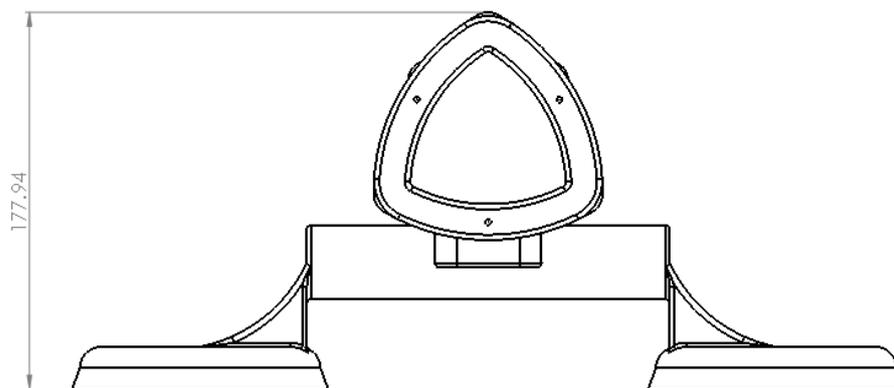


Imagen 13: Distancia (en mm) entre el punto frontal del anemómetro y la cara de fijación del sistema

Una vez definido el diseño y comprobadas las tolerancias del sistema, y de cara a

comprobar la validez del sistema de fijación, procederemos a comprobar los pesos totales del sistema completo. En la siguiente tabla, podemos ver un desglose de los pesos por componente y el peso total. Para el peso de los adaptadores utilizados, tanto del anemómetro como de las ventosas, se utilizará un peso aproximado de 0,5 Kg.

Componente	Unidades	Peso unitario	Peso total
Anemómetro	1	0,400 Kg	0,400 Kg
Ventosas	3	2,000 Kg	6,000 Kg
Cilindro neumático	1	10,725 Kg	10,725 Kg
Adaptadores	1	0,500 Kg	0,500 Kg
Peso total del sistema			17,625 Kg

Tabla 5: Pesos del sistema

El cálculo del peso del cilindro neumático es una aproximación, en la que se le asigna al sistema un peso de 1,725 Kg y se le añaden 0,060 Kg más por cada 10 mm de carrera del cilindro.

5.2.3. Comprobación del sistema de fijación

Como hemos comentado a lo largo del análisis y diseño del sistema de elevación del anemómetro, la fijación del sistema a la cara frontal del remolque se lleva a cabo mediante un sistema de ventosas. Por lo tanto, deberemos comprobar que este sistema es capaz de fijar correctamente el sistema. Para el cálculo de la validez de las ventosas se utilizarán las fórmulas correspondientes al dimensionamiento de ventosas para su utilización en diferentes casos de carga [5]. Estos casos serán los siguientes:

- La fuerza vertical generada por el peso del sistema, que deberá ser soportada por las ventosas posicionadas en posición vertical.

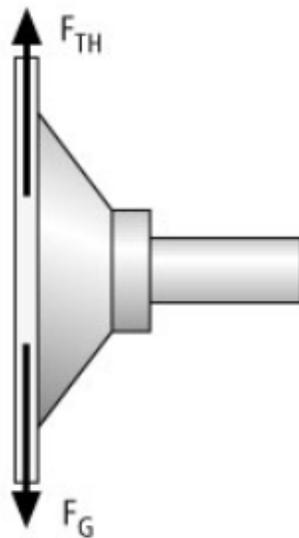


Imagen 14: Fuerza y ventosa verticales (www.schmalz.com)

- La fuerza horizontal generada por la resistencia aerodinámica a 90 Km/h , que deberá ser soportada por las ventosas en posición vertical.

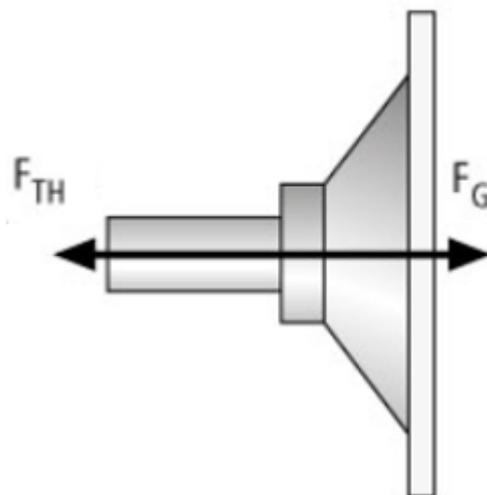


Imagen 15: Fuerza horizontal y ventosa vertical (www.schmalz.com)

A continuación, se calculará la validez del sistema para ambos casos.

5.2.3.1. Fuerza y ventosa verticales

En este caso, el sistema de ventosas deberá ser capaz de soportar el peso total del sistema.

Para comprobar esto, será necesario calcular la fuerza de retención teórica (F_{TH}) que soportará la ventosa en el caso de carga. Para ello se utilizará la siguiente fórmula:

$$F_{TH} = \frac{m}{\mu} * (g + a) * C_S$$

Donde:

- m : masa total del sistema (17,625 Kg).
- μ : coeficiente de fricción entre ventosa y superficie de fijación. A modo de “worst case”, utilizaremos el de una superficie húmeda ($\mu = 0,2$).
- g : aceleración gravitacional ($9,81 \text{ m/s}^2$).
- a : aceleración de la pieza. En nuestro caso, al estar estático esta aceleración será 0.
- C_S : Factor de seguridad. Depende de la superficie de contacto a la que se adhieren las ventosas. A modo de “worst case” utilizaremos un factor de seguridad de 2, correspondiente a superficies no homogéneas, porosas o rugosas.

Así, obtendremos la siguiente fuerza de retención teórica:

$$F_{TH} = \frac{17,625}{0,2} * (9,81 + 0) * 2$$

$$F_{TH} = 1729,01 \text{ N}$$

Las ventosas *Veribor BO602.1*, tienen una fuerza de aspiración de 30 Kg cada una. Por lo tanto, para seis ventosas:

$$F_S = n * 30 * 9,81$$

$$F_S = 1765,8 \text{ N}$$

$$F_S > F_{TH}$$

Al ser la fuerza de aspiración total mayor que la fuerza de retención teórica, podremos suponer que el sistema de fijación es válido para la instalación. Ha de considerarse que aun con el factor de seguridad de 2 correspondiente a la superficie de contacto, la fuerza de aspiración es poco mayor que la fuerza teórica de retención, por lo que aun asegurando que con 6 ventosas es suficiente, en caso de tener dudas podrían instalarse 8 para asegurar la retención con una seguridad mayor.

5.2.3.2. Fuerza horizontal y ventosa vertical

Para comprobar la validez del sistema de fijación en el caso en el que la fuerza soportada por la ventosa es horizontal, será necesario llevar a cabo el cálculo de la fuerza aerodinámica que ejerce directamente sobre el anemómetro móvil. De esta manera, y

aplicando un factor de seguridad podremos calcular la fuerza de retención teórica (F_{TH}) necesaria en las ventosas.

$$F_{TH} = F_{AERO} * C_S$$

Donde:

- F_{AERO} : Fuerza aerodinámica que ejerce sobre el anemómetro móvil
- C_S : Factor de seguridad. Depende de la superficie de contacto a la que se adhieren las ventosas. A modo de “worst case” utilizaremos un factor de seguridad de 2, correspondiente a superficies no homogéneas, porosas o rugosas.

Para el cálculo de la fuerza aerodinámica en un cuerpo, la fórmula que ha de ser utilizada es la siguiente:

$$F_{AERO} = \frac{1}{2} * C_{D,Anem} * A_{Anem} * \rho_{aire} * v_{Anem}^2$$

Donde:

- $C_{D,Anem}$: Coeficiente aerodinámico del anemómetro móvil respecto al avance en el eje x.
- A_{Anem} : Área frontal del anemómetro móvil.
- ρ_{aire} : Densidad del aire en el que se mueve el anemómetro.
- v_{Anem} : Velocidad del anemómetro a través del aire (en metros por segundo).

La norma R (EU) 2017/2400 aplica a los resultados obtenidos una corrección de $-0,15 m^2$ por la influencia del anemómetro en la resistencia aerodinámica del vehículo, pero ello no conlleva necesariamente que el valor de $C_{D,Anem} * A_{Anem}$ sea de $0,15 m^2$. Esto es debido a que la aportación del anemómetro a la resistencia aerodinámica del vehículo es dependiente del $C_D * A_{cr}$ del mismo. Aun así, la norma no contempla estas diferencias y aplica esta misma corrección de $-0,15 m^2$ a todos los vehículos simulados

Por lo tanto, para el cálculo del $C_{D,Anem} * A_{Anem}$ partiremos del valor del $C_{D,Anem_{Veh}} * A_{Veh}$, correspondiente a la resistencia aerodinámica del anemómetro trasladado al valor total del vehículo.

$$F_{AERO,Anem} = \frac{1}{2} * C_{D,Anem} * A_{Anem} * \rho_{aire} * v_{Anem}^2$$

$$F_{AERO,Anem} = \frac{1}{2} * C_{D,Anem_{Veh}} * A_{Veh} * \rho_{aire} * v_{Veh}^2$$

$$\frac{1}{2} * C_{D,Anem} * A_{Anem} * \rho_{aire} * v_{Anem}^2 = \frac{1}{2} * C_{D,AnemVeh} * A_{Veh} * \rho_{aire} * v_{Veh}^2$$

$$C_{D,Anem} * A_{Anem} = C_{D,AnemVeh} * A_{Veh} * \left(\frac{v_{Veh}}{v_{Anem}}\right)^2$$

Debido a la posición de instalación del anemómetro, a una distancia considerable por encima del vehículo, la velocidad a la que se mueve el anemómetro no se ve influenciada por las turbulencias generadas por el vehículo en movimiento. Por lo tanto, podemos asumir que la velocidad del anemómetro es la misma que la del vehículo.

$$C_{D,Anem} * A_{Anem} = 0,15 * (1)^2$$

$$C_{D,Anem} * A_{Anem} = 0,15 \text{ m}^2$$

Como podemos ver, podemos concluir que la resistencia aerodinámica del anemómetro es la misma que la de la corrección aplicada a los resultados. Con este valor podremos calcular la fuerza generada por la resistencia aerodinámica del anemómetro. Para el cálculo, utilizaremos la velocidad máxima definida para vehículos industriales (90 km/h), pero en metros por segundo (25 m/s):

$$F_{AERO} = \frac{1}{2} * 0,15 * 1,2 * 25^2$$

$$F_{AERO} = 56,25 \text{ N}$$

Por lo tanto, la fuerza de retención teórica será:

$$F_{TH} = F_{AERO} * C_S$$

$$F_{TH} = 56,25 * 2$$

$$F_{TH} = 112,5 \text{ N}$$

La fuerza de aspiración del sistema de ventosas que hemos calculado en el anterior apartado es de $1765,8 \text{ N}$, por lo que:

$$F_S > F_{TH}$$

Al ser la fuerza de aspiración total mayor que la fuerza de retención teórica, podremos suponer que el sistema de fijación es válido para la instalación. Podría haberse considerado que las fuerzas aerodinámicas hubieran generado un momento lo suficientemente grande como para vencer la fuerza de aspiración de las ventosas, pero no se ha considerado ya

que cada pareja de ventosas tiene una capacidad de aspiración de 588 *N*, fuerza mucho mayor que la generada por las fuerzas aerodinámicas.

5.2.4. Conexión al sistema neumático de frenos

Una vez instalado el sistema de elevación, se deberá conectar al sistema neumático de frenos para la actuación de este. Como hemos comentado anteriormente, lo óptimo para la actuación del sistema sería obtener un diferencial de presión entre los dos extremos del cilindro neumático, forzando así su movimiento. Para esto existen dos opciones posibles:

- Dejar la entrada del extremo superior del cilindro abierto a presión atmosférica, y conectar la entrada del inferior a un calderín del circuito neumático de frenos. Esta opción nos proporcionará un diferencial de presión grande, moviendo el cilindro a velocidades altas y comprometiendo su integridad. Aun así, la velocidad en el cilindro está limitada por diseño a 800 mm/s , por lo que puede ser una opción factible para su utilización.
- Conectar el extremo inferior al mismo calderín que el propuesto en la anterior opción (correspondiente a un punto de presión alta), y que la entrada del extremo superior esté conectada a otra parte del mismo sistema neumático, pero en el que la presión sea menor. Mediante este sistema se obtendrá un diferencial de presión menor y, por lo tanto, una velocidad de elevación del sistema menor. Esta opción será menos agresiva para la resistencia del sistema y en principio sería la óptima para su aplicación, de no ser por la posible complicación que puede suponer la obtención de un punto de baja presión en el circuito de frenos.

En el circuito de frenos, hay varios calderines en los que hay salidas de las que se pueden obtener presiones altas. En el siguiente esquema podemos ver estos calderines y las salidas a las que se pueden conectar (uno para cada freno de la tractora) [6].

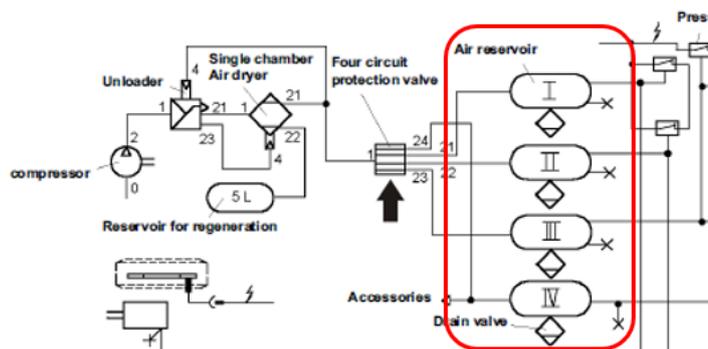


Imagen 16: Calderines en el esquema neumático de frenos (WABCO Basic Training, 2004 edition)

El problema es que, para la obtención de zonas de baja presión, sería necesario ir a otro punto del sistema, y normalmente no habrá otros puntos en los que se pueda conectar el extremo superior del cilindro neumático, como podemos ver en el esquema completo del sistema:

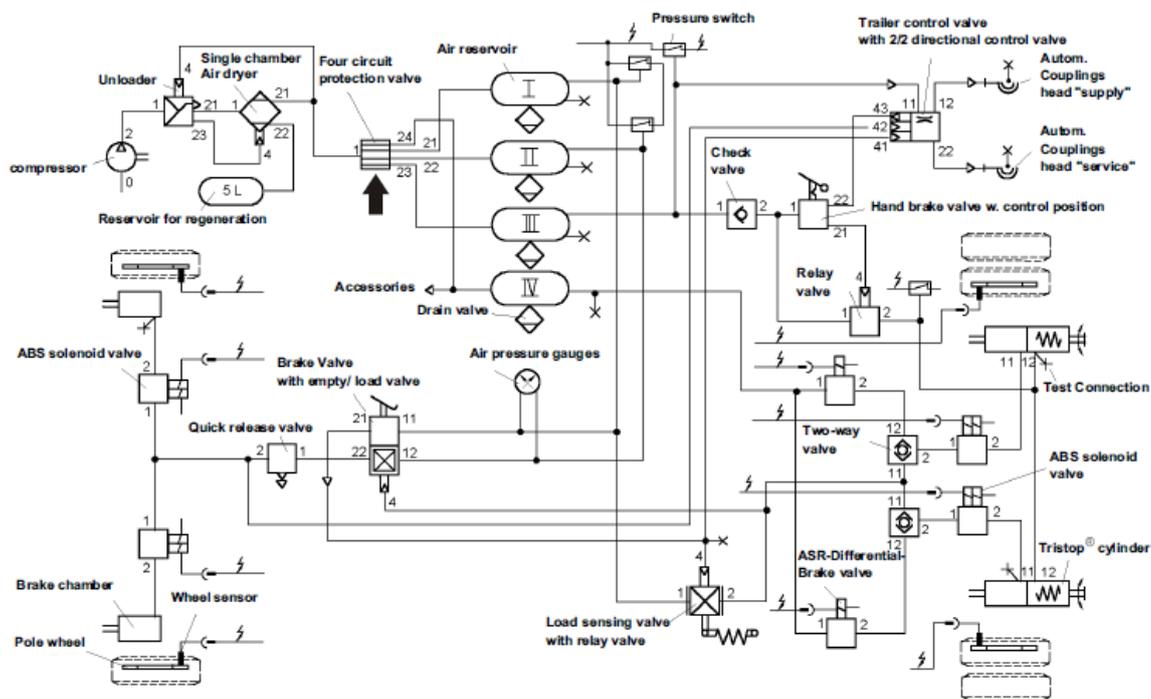


Imagen 17: Esquema neumático de frenos completo (WABCO Basic Training, 2004 edition)

Por lo tanto, el cilindro hidráulico estará preparado para funcionar con las dos opciones propuestas, y la opción utilizada en cada caso dependerá del vehículo y su sistema de frenos.

5.3. Inversión para la aplicación del sistema

Para llevar a cabo la aplicación de este sistema en el procedimiento actual de ensayo, será necesaria una inversión inicial. Esta inversión inicial será de especial interés para tomar la toma de decisiones de si este proyecto se llevará a cabo o no. Como ya se ha comentado anteriormente, con la aplicación de este sistema (junto con el elevador del eje tractor), se podría ahorrar la necesidad de un segundo técnico de ensayo y su coste por la jornada laboral completa.

Para llevar a cabo el cálculo de la inversión, en primer lugar, será necesario hacer una lista de materiales del sistema y analizar si actualmente se dispone de él o no.



Imagen 18: Lista de materiales del sistema

Como podemos ver, será necesaria la adquisición del cilindro neumático, y la fabricación de los adaptadores para el anemómetro y las ventosas. Para los precios de estos componentes se llevarán a cabo aproximaciones, ya que la obtención de los precios reales de estos componentes irá ligada a varios factores. En el caso del cilindro neumático, al ser un modelo normalizado, su precio dependerá del fabricante y de la calidad de este. Por otro lado, para los adaptadores, su precio dependerá del mecanizado necesario y de si los materiales necesarios para su manufactura están disponibles actualmente.

En primer lugar, deberemos obtener el precio del cilindro neumático, para lo que se ha hecho un análisis del mercado de cilindros ISO 6431. Los modelos de este cilindro varían por diámetro y carrera, y en el caso del cilindro utilizado ($63 \times 1500 \text{ mm}$) podemos prever que será de un precio alto. Haciendo un análisis de mercado, el modelo de estas dimensiones de IMI Precision Engineering (fabricante británico) tiene un precio de

1185,05 €. Éste es un precio alto para el cilindro neumático, pero debe considerarse que los cilindros de la norma ISO 6431 tienen longitudes normalizadas, y 1500 mm no es una de ellas. Por lo tanto, estos cilindros deben fabricarse por encargo, lo que justifica estos costes altos.

En lo que se refiere a los adaptadores, en principio se dispondrá del material necesario, ya que las bases son piezas básicas (tubos y tacos de acero) de las que hay existencias en el taller de vehículo industrial. Así, considerando los costes del material base y el mecanizado necesario, aproximaremos unos costes de 80 € para el adaptador del anemómetro y 120 € para cada uno de los adaptadores de las ventosas.

Componente	Unidades	Precio unitario	Precio total
Cilindro ISO6431 63x1500	1	1185,05 €	1185,05 €
Adaptador anemómetro	1	80,00 €	80,00 €
Adaptador ventosas	3	120,00 €	360,00 €
<i>Inversión total del sistema</i>			1625,05 €

Tabla 6: Desglose de la inversión para el sistema de elevación del anemómetro

Por lo tanto, la inversión necesaria para la integración del sistema en el proceso de ensayo sería de 1625,05 €.

6. Sistema de elevación del eje tractor

Como se ha comentado en el capítulo 4, “Proceso de ensayo de velocidad constante”, en el tercer paso, y al final del proceso de ensayo, se ha de elevar del suelo el eje tractor del vehículo para llevar a cabo la puesta a cero de los medidores de par instalados en el vehículo. A primera vista, este proceso parece de una relativa simplicidad, pero la norma define unas limitaciones que complican su aplicación:

- La elevación del eje tractor se debe llevar a cabo sin el freno de estacionamiento activado, para que ello no afecte al par de las ruedas tractoras.
- El proceso completo no debe durar más de 10 minutos, para evitar el enfriamiento de los sistemas y los neumáticos del vehículo.

El objetivo de este análisis de viabilidad es la automatización de este proceso, para que el técnico encargado de llevar a cabo el ensayo pueda elevar el vehículo rápidamente, y pueda utilizar el resto de los 10 minutos destinados a este proceso a descansar. En este procedimiento de ensayo el descanso del técnico de ensayo es de vital importancia, ya que antes de la puesta a cero ha llevado a cabo un calentamiento de 90 minutos, y después el ensayo durará alrededor de 120 minutos. Además, y como factor crítico, actualmente es necesario el soporte de otro técnico de ensayo para llevar el gato elevador a las pistas, y se querría evitar la necesidad de este técnico ya que únicamente tiene este cometido en toda su jornada laboral.

En las pistas de ensayo de IDIADA no hay acceso a ningún circuito de presión neumática ni a electricidad, por lo que, al igual que en diseño del anterior, el sistema de elevación deberá ser actuado por alguna fuente de energía propia del vehículo. Estas fuentes de energía serían la batería del vehículo o el circuito neumático del sistema de frenos del vehículo, pero por requerimientos mecánicos del sistema (las fuerzas que se han de obtener son muy altas, y los cilindros de actuación eléctrica están limitados en este sentido), la opción más adecuada sería la actuación neumática.

Al igual que el sistema de elevación del anemómetro, este sistema debe ser funcional para todos los vehículos de ensayo lo que limita la capacidad de diseñar un sistema cuya instalación dependa de las dimensiones de la zona en la que se va a fijar.

6.1. Procedimiento actual

Actualmente, para la elevación del eje tractor se utiliza un gato hidráulico que, actuado con la presión neumática obtenida en un calderín del circuito de frenos y mediante una

multiplicación de la fuerza aplicada, es capaz de elevar el vehículo. Este gato hidráulico se posiciona bajo el diferencial del vehículo y, mediante la fuerza ejercida por el sistema neumático-hidráulico del gato se obtiene la elevación del vehículo. El modelo de gato hidráulico utilizado es un *TDL AJ-35T2NFL* con una capacidad de elevación de hasta 35000 Kg.



Imagen 19: Gato hidráulico empleado actualmente (www.tdl-cn.com)

Como comentábamos anteriormente, para la ejecución de este procedimiento es necesario el soporte de un técnico cuyo único cometido en la jornada laboral es el de transportar el gato neumático y asistir a su utilización. Una de las razones principales de este proyecto es la de evadir la necesidad de este técnico adicional, para así poder llevar a cabo el ensayo de una manera más económica.

6.2. Propuesta de mejora

Como alternativas al sistema actual, principalmente se consideraron dos opciones para llevar a cabo la elevación del vehículo:

1. La instalación de dos elevadores neumáticos a ambos lados del diferencial del vehículo. Estos elevadores deberían ser móviles, para que durante el movimiento del vehículo pudieran estar plegados, y únicamente fueran desplegados de manera automatizada para llevar a cabo la elevación del vehículo. Por supuesto, deberían ser actuados por el sistema neumático de frenos del vehículo.

2. La instalación de un cilindro neumático en las pistas mediante una obra, sobre el que se aparcará el vehículo de tal manera que, accionado por el sistema neumático del sistema de frenos del vehículo, el cilindro elevará el vehículo apoyándose sobre el diferencial del vehículo.

Ambas opciones muestran complicaciones para su implementación en el ensayo, pero la opción seleccionada para su desarrollo e implementación es la segunda, debido a la mayor simplicidad del sistema para su instauración. La opción de los elevadores neumáticos plegables fue descartada por varias razones:

- La complicación de diseñar un sistema cuya fijación en el diferencial sea adaptable a diferentes vehículos. Hay tamaños diferentes de diferenciales, y el diseño de un sistema que sea capaz de adaptarse a esas diferencias complica bastante la obtención de una robustez en la fijación. Además, hay casos en los que el diferencial no es simétrico, lo que complica todavía más la adaptación del sistema de fijación.
- Automatizar el sistema que despliega los cilindros neumáticos es complicado de implementar, y más teniendo en cuenta que el sistema de fijación del sistema ha de ser adaptable a diferentes diferenciales. Además, para poder desplegar y replugar el sistema sería necesario un motor bidireccional, complicando más el sistema por la necesidad de una fuente de energía adicional únicamente para la tarea de despliegue del sistema, en este caso eléctrica.
- Finalmente, el factor más crítico para desechar esta opción es la falta de espacio en las partes adyacentes al diferencial en los vehículos industriales. En esas zonas, suelen estar posicionados acumuladores de aire para el circuito neumático de frenos del vehículo o componentes de la suspensión trasera que imposibilitan encontrar espacio para la instalación de un sistema de las dimensiones requeridas para el elevador.



Imagen 20: Diferencial trasero de una tractora industrial

Por lo tanto, el diseño que se desarrollará es el de la instalación de un elevador para vehículos industriales en las propias pistas de ensayo. Este elevador será de funcionamiento neumático-hidráulico, por lo que se basará en la multiplicación de la fuerza ejercida por el sistema neumático para elevar el eje tractor.

Esta multiplicación de la fuerza que se da en el sistema del gato hidráulico tiene su origen en la base de funcionamiento de los cilindros hidráulicos, basada en el principio de Pascal. El sistema está basado en dos émbolos, uno de sección muy pequeña (en el que se aplica la presión neumática del circuito de frenos), y el otro de sección muy grande (donde se coloca la carga a elevar, en este caso el diferencial del vehículo).

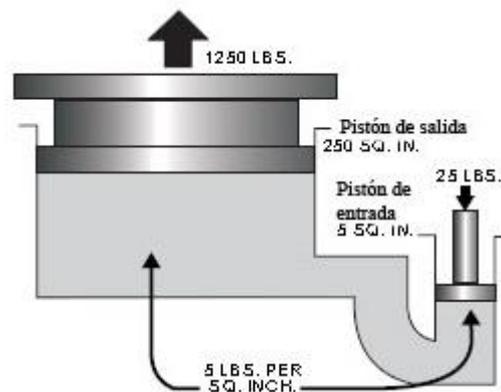


Imagen 21: Cilindro hidráulico básico (www.sapiensman.com)

Según el principio de Pascal, la presión P del fluido hidráulico es la misma en los dos émbolos, lo que significa que entre el émbolo pequeño (con sección s y fuerza f) y en el émbolo grande (con sección S y fuerza F , correspondiente al peso del vehículo ejercido sobre el eje tractor), se cumple la ecuación:

$$P = \frac{F}{S} = \frac{f}{s}$$

$$F = f * \frac{S}{s}$$

La relación entre las secciones de los cilindros es conocida como el coeficiente de multiplicación de la fuerza aplicada:

$$K = \frac{S}{s}$$

Por lo que, la fuerza obtenida en el cilindro elevador puede calcularse mediante:

$$F = f * K$$

Esta disposición de los cilindros y principio de funcionamiento es válida para casos en los que la distancia de elevación es corta, pero en el caso de la elevación de camiones es probable que el cilindro deba elevarse considerablemente, por lo que este sistema simple no sería suficiente. Para ello, se utiliza un sistema que funciona mediante ciclos de impulsión, para lo que es necesario un depósito de líquido añadido al sistema.

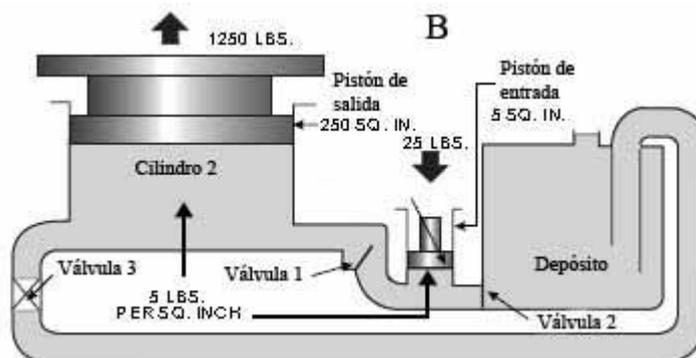


Imagen 22: Esquema hidráulico del sistema (www.sapiensman.com)

La clave del funcionamiento son las válvulas unidireccionales, que permiten el paso del fluido en un solo sentido. Así, cuando se acciona el émbolo pequeño, una válvula permite el paso del fluido hacia el émbolo mayor, pero no su retorno. De igual forma, una segunda válvula permite la entrada del fluido desde un depósito hacia el émbolo pequeño cuando se alza la palanca, quedando listo el dispositivo para un nuevo ciclo de impulsión.

6.2.1. Requerimientos mecánicos del sistema

El primer paso para el diseño del sistema es la definición de los requerimientos mecánicos del elevador. Para ello, se hará un análisis de los casos de ensayo llevados a cabo durante las prácticas en la empresa, en el que se definirá la fuerza mínima que ha de ser capaz de generar el sistema de elevación. Durante la estancia en la empresa se han ensayado 11 vehículos, en los que se han obtenido los siguientes pesos en el eje tractor:

	Peso en eje tractor	Tipo de vehículo
Vehículo #1	3811 Kg	Camión articulado
Vehículo #2	3862 Kg	Camión articulado
Vehículo #3	3869 Kg	Camión articulado
Vehículo #4	3618 Kg	Camión articulado
Vehículo #5	3704 Kg	Camión rígido
Vehículo #6	3668 Kg	Camión rígido
Vehículo #7	9323 Kg	Autocar
Vehículo #8	9585 Kg	Autocar
Vehículo #9	3805 Kg	Camión articulado
Vehículo #10	3986 Kg	Camión articulado + Dolly
Vehículo #11	3356 Kg	Camión articulado

Tabla 7: Pesos en el eje tractor

Como podemos comprobar, el mayor peso que se ha tenido que elevar en el eje tractor ha sido de 9585 Kg. Este será considerado como el caso crítico, pero debe tenerse en cuenta que, estos valores tan altos se obtienen únicamente en autocares y que en los camiones rígidos y articulados los valores no suelen superar los 5000 Kg. Esto es debido a que los vehículos se deben ensayar en vacío según el R (EU) 2017/2400.

Actualmente, los autocares no se consideran en la norma que define el ensayo para el que está destinado este sistema, pero debe considerarse que en breve entrará en vigor una nueva reglamentación que sí considerará los autocares para este ensayo. Teniendo estos factores en cuenta, y para asegurar el correcto funcionamiento del sistema, se aplicará un factor de seguridad de 1,5 para obtener el requerimiento de capacidad de elevación del cilindro hidráulico:

$$C = Fg_{MAX} * C_S$$

$$C_S = 1,5$$

$$C = 9585 * 1,5 = 14337,5 \text{ Kg}$$

Redondeando el valor obtenido, podemos declarar que la capacidad de elevación mínima necesaria para el cilindro hidráulico es de 15000 Kg o 15 T.

Una vez definida la capacidad de elevación del sistema, se deberá definir la carrera necesaria. Este paso puede ser algo más complicado debido a la diferencia de cotas que

podemos encontrarnos en diferentes modelos de vehículos.

El modelo utilizado actualmente se ha podido utilizar en todos los casos sin excepciones, por lo que tiene unas dimensiones óptimas para este cometido. Este gato tiene una altura mínima de 150 *mm* y una carrera de 142 *mm*, pero mediante adaptadores puede abarcar un rango de alturas de entre 150 y 480 milímetros. Por lo tanto, nos interesaría utilizar un cilindro hidráulico con más o menos el mismo rango de elevación.

6.2.2. Selección del cilindro hidráulico

Una vez definidas las características mecánicas necesarias para el cilindro hidráulico, procederemos a la selección del más adecuado para nuestro sistema. Como hemos definido a lo largo del proyecto, debe cumplir los siguientes requerimientos:

- Debe ser un cilindro hidráulico de accionamiento neumático.
- Debe ser capaz de funcionar con las presiones neumáticas típicas en circuitos de frenos para vehículos industriales (8 – 10 *bar*).
- Debe tratarse de un cilindro compacto para poder ser instalado en la obra sin necesidad de modificaciones importantes en el pavimento.
- Debe ser capaz de elevar un mínimo de 15 toneladas.
- Las alturas a las que debe ser capaz de trabajar deberán estar entre 200 y 450 *mm*.

Considerando estos factores, se ha seleccionado un cilindro hidráulico de la serie *RSC* de la marca *SUNRUN*. Son cilindros de actuación de efecto simple y retorno mediante muelle. Se trata de cilindros concebidos para su utilización tanto horizontal como vertical, y un revestimiento de cromo lo hace resistente a la corrosión y la oxidación, permitiendo su utilización en entornos al aire libre.

Dentro de la serie *RSC*, se seleccionará el que mejor se adapte a las características deseadas para el sistema. En la siguiente tabla se pueden comprobar las diferentes variantes del producto, y la selección hecha para nuestro sistema.

RSC-Series, Jacks (Single Acting)

Model Number	Jack Capacity tons(kN)	Stroke (mm)	Cylinder Effective Area (in ²)	Oil Capacity (in ³)	Collapsed Height A(in)	Extended Height B(in)	Outside Dia. D(in)	Cylinder Bore Dia. E(in)	Plunger Dia. F(in)	Weight Kg (approx)
RSC-51	5(45)	25	0.99	0.99	4.34	5.34	1.50	1.13	1.00	1.0
RSC-53		76	0.99	2.98	6.50	9.50	1.50	1.13	1.00	1.5
RSC-55		127	0.99	4.97	8.50	13.50	1.50	1.13	1.00	1.9
RSC-57		177	0.99	6.96	10.75	17.75	1.50	1.13	1.00	2.4
RSC-59		232	0.99	9.07	12.75	21.88	1.50	1.13	1.00	2.8
RSC-101	10(101)	26	2.24	2.24	3.53	4.53	2.25	1.69	1.50	1.8
RSC-102		54	2.24	4.75	4.78	6.91	2.25	1.69	1.50	2.3
RSC-104		105	2.24	9.23	6.75	10.88	5.25	1.69	1.50	3.3
RSC-106		156	2.24	13.70	9.75	15.88	2.25	1.69	1.50	4.4
RSC-108		203	2.24	17.89	11.75	19.75	2.25	1.69	1.50	5.4
RSC-1010		257	2.24	22.65	13.75	23.88	2.25	1.69	1.50	6.4
RSC-151	15(142)	25	3.14	3.14	4.88	5.88	2.75	2.00	1.63	3.3
RSC-152		51	3.14	6.28	5.88	7.88	2.75	2.00	1.63	4.1
RSC-154		101	3.14	12.57	7.88	11.88	2.75	2.00	1.63	5.0
RSC-156		152	3.14	18.85	10.69	16.69	2.75	2.00	1.63	6.8
RSC-158		203	3.14	25.13	12.69	20.69	2.75	2.00	1.63	8.2
RSC-251	25(232)	26	5.16	5.16	5.50	6.50	3.38	2.56	2.25	5.9
RSC-252		50	5.16	10.31	6.50	8.50	3.38	2.56	2.25	6.4
RSC-254		102	5.16	20.63	8.50	12.50	3.38	2.56	2.25	8.2
RSC-256		158	5.16	32.23	10.75	17.00	3.38	2.56	2.25	10.0
RSC-504	50(498)	101	11.04	44.18	8.94	12.94	5.00	3.75	3.13	19.1
RSC-506		159	11.04	69.03	11.13	17.38	5.00	3.75	3.13	23.1
RSC-5013		337	11.04	146.34	18.13	31.38	5.00	3.75	3.13	37.6
RSC-756	75(718)	156	15.90	97.41	11.25	17.38	5.75	4.50	3.75	29.5
RSC-1004	100(933)	102	20.63	82.60	8.05	16.05	7.00	5.13	4.13	33.1
RSC-1006		168	20.63	136.67	14.06	20.69	7.00	5.13	4.13	59.0

Tabla 8: Variantes de la serie RSC de SUNRUN (www.vtechhydraulic.com)

Por lo tanto, el modelo utilizado para el nuestro sistema será el *SUNRUN RSC-158*, con una capacidad de elevación de 15 toneladas y una carrera de 203 milímetros. En la hoja de características se proporcionan las unidades en sistema anglosajón de unidades, por lo que se pasarán a sistema internacional. Estas características se muestran en la siguiente tabla:



Capacidad de elevación	15000 Kg / 142000 N
Carrera	203 mm
Área efectiva del cilindro	79,76 mm
Capacidad de aceite	41,18 L
Altura plegado	322,33 mm
Altura desplegado	525,53mm
Diametro exterior	69,85 mm
Diametro del cilindro interior	50,8 mm
Diámetro del émbolo	41,4 mm
Peso (aprox.)	8,2 Kg

Tabla 9: Características SUNRUN RSC-158

Además, y como podemos comprobar en el tamaño del cilindro, se trata de un elevador compacto, cuya instalación será de una relativa facilidad.



Imagen 23: Cilindro SUNRUN de la serie RSC (www.vtechhydraulic.com)

6.2.3. Diseño de la zona de elevación

Una vez con la parte mecánica de la elevación definida, el siguiente paso será resolver el posible problema que pueda significar situar este sistema en las pistas de pruebas del complejo de IDIADA. Para ello, en primer lugar, se deberá diseñar y dimensionar el sistema completo de elevación considerando que debe ser válido para todos los vehículos que se vayan a ensayar.

De cara al diseño de la zona de elevación, el primer paso será especificar el funcionamiento del sistema. Para llevar a cabo la elevación, el conductor deberá situar el eje tractor en un

badén habilitado para ello, que estará alineado en el eje Y del sistema de coordenadas del vehículo con la posición del elevador hidráulico. De esta manera podremos asegurar que el diferencial y el elevado están alineados en el eje Y del vehículo (Del eje X hablaremos más adelante).

De cara al diseño de los badenes, deberán tenerse en cuenta varios factores:

- Los vehículos industriales suelen montar rueda gemela en el eje tractor.
- El diferencial no estará siempre centrado respecto a la vía del eje tractor.
- Los tamaños de neumático en vehículo industrial suelen ser de tamaños muy parecidos. Estos neumáticos suelen ser de los tamaños 315/80R22.5, 315/70R22.5 y 315/60R22.5, correspondientes a diámetros de:

$$D = 2 * (22,5 * 25,4 + 315 * 0,8) = 1647 \text{ mm}$$

$$D = 2 * (22,5 * 25,4 + 315 * 0,7) = 1584 \text{ mm}$$

$$D = 2 * (22,5 * 25,4 + 315 * 0,6) = 1521 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta estos factores, y aplicando un factor de seguridad se diseñarán badenes de un radio de 900mm y una profundidad de 50 mm . Estas medidas de badén nos proporcionarán una longitud de los badenes de $591,61\text{ mm}$.

En lo que se refiere a la anchura, se deberá considerar que los vehículos suelen llevar rueda gemela y que el diferencial podría no estar centrado en el eje Y. Por lo tanto, deberemos dar una anchura mucho mayor al badén de la que sería considerando la rueda gemela. Esta anchura será de 2000 mm .

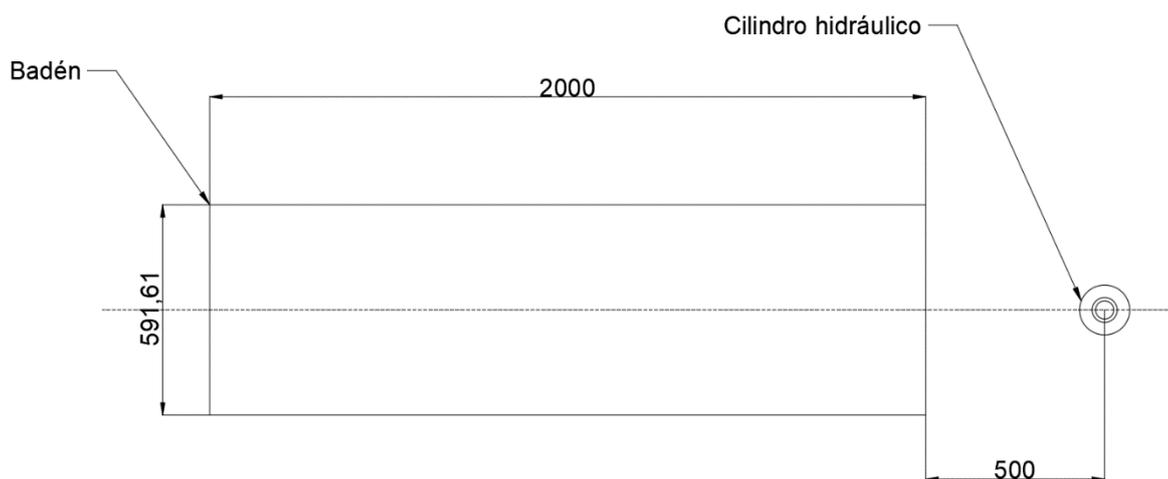


Imagen 24: Planta de uno de los badenes

Para simplificar la actuación del cilindro neumático, la inyección de presión neumática se deberá hacer desde una posición lateral y separada del vehículo. Para ello, uno de los badenes deberá tener un tubo por debajo de este para poder conectar al cilindro hidráulico la presión neumática del circuito de frenos. Este tubo irá desde la entrada de presión del cilindro hidráulico hasta una posición lateral, dejando algo de distancia entre el extremo del badén y la entrada de presión neumática.

En lo que se refiere a la instalación del cilindro hidráulico, para darle rigidez vertical y facilitar su conexión al tubo que pasa bajo el badén, se instalara hundido 100 mm en el pavimento. Esto dejará la base del cilindro colapsado a una altura de 222,33 mm. Considerando que el cilindro quedará sobresaliendo del pavimento y que puede ser difícil de ver a simple vista, se deberán tomar precauciones y asegurarse de señalizarlo cuando no esté siendo utilizado.

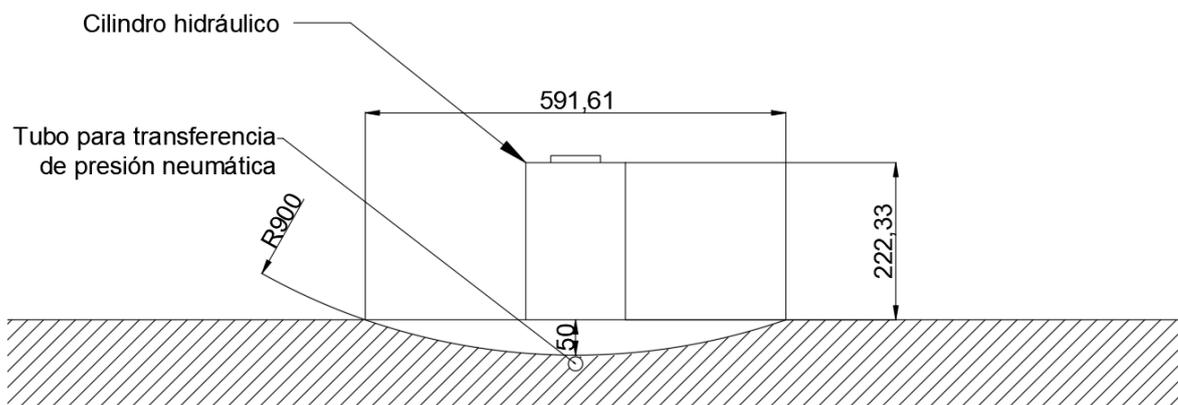


Imagen 25: Corte lateral de uno de los badenes

Para facilitar el centrado del vehículo para su correcta colocación en el eje Y, se dibujará una línea continua en el pavimento a lo largo del eje X que pase por el centro del cilindro hidráulico. Esta línea deberá estar centrada respecto al diferencial cuando el eje tractor esté instalado en los badenes diseñados para ello.

Como desarrollaremos más adelante, para la correcta colocación del vehículo respecto a la línea central, se utilizará un sistema con un puntero laser y una cámara, para que el conductor sea capaz de llevar a cabo el centrado sin necesidad de bajarse del vehículo.

Por otro lado, considerando las dimensiones típicas para un vehículo industrial, la zona de elevación deberá disponer de una distancia mínima tanto por delante como por detrás del elevador. Las dimensiones máximas en vehículos industriales definidas por reglamentos de la Comisión Europea son las siguientes:

- Camiones rígidos: 12,00 m

- Camiones articulados: 16,50 *m*
- Trenes de carretera: 18,75 *m*

Considerando estas dimensiones máximas, y que por reglamento la distancia máxima entre el kingpin y el final del remolque es de 12,00 *m* (excepto en trenes de carretera, que podrá ser de 14,75 *m*), deberemos dejar la siguiente distancia sin obstáculos por delante y por detrás del elevador. En lo que se refiere a la distancia trasera, dejaremos algo más de la necesaria para permitir maniobras de aproximación al elevador:

- Distancia libre por delante: 7,00 *m*
- Distancia libre por detrás: 20,00 *m*

En lo que se refiere a la anchura de la zona de elevación, deberá ser lo suficientemente grande para que quepa el vehículo sin problemas, y para dejar algo de espacio para posibles maniobras necesarias para el centrado del vehículo. Consideraremos que las anchuras máximas que podremos encontrar en camiones serán de 2,55 *m* (2,60 *m* en el caso de remolques refrigerados), por lo tanto, se dispondrá una anchura de 6,00 *m* (3,00 *m* a cada lado del cilindro hidráulico).

En la siguiente imagen, a modo de ejemplo, se muestra un vehículo industrial instalado en el área de elevación con el eje tractor sobre los badenes habilitados. Para ello, se ha utilizado un plano de la vista en planta de un *DAF XF 95*, en formato .dwg. Este es un vehículo industrial de categoría N3 y disposición de los ejes 4x2, que es el tipo de vehículo más usual que se ensayará en este procedimiento.

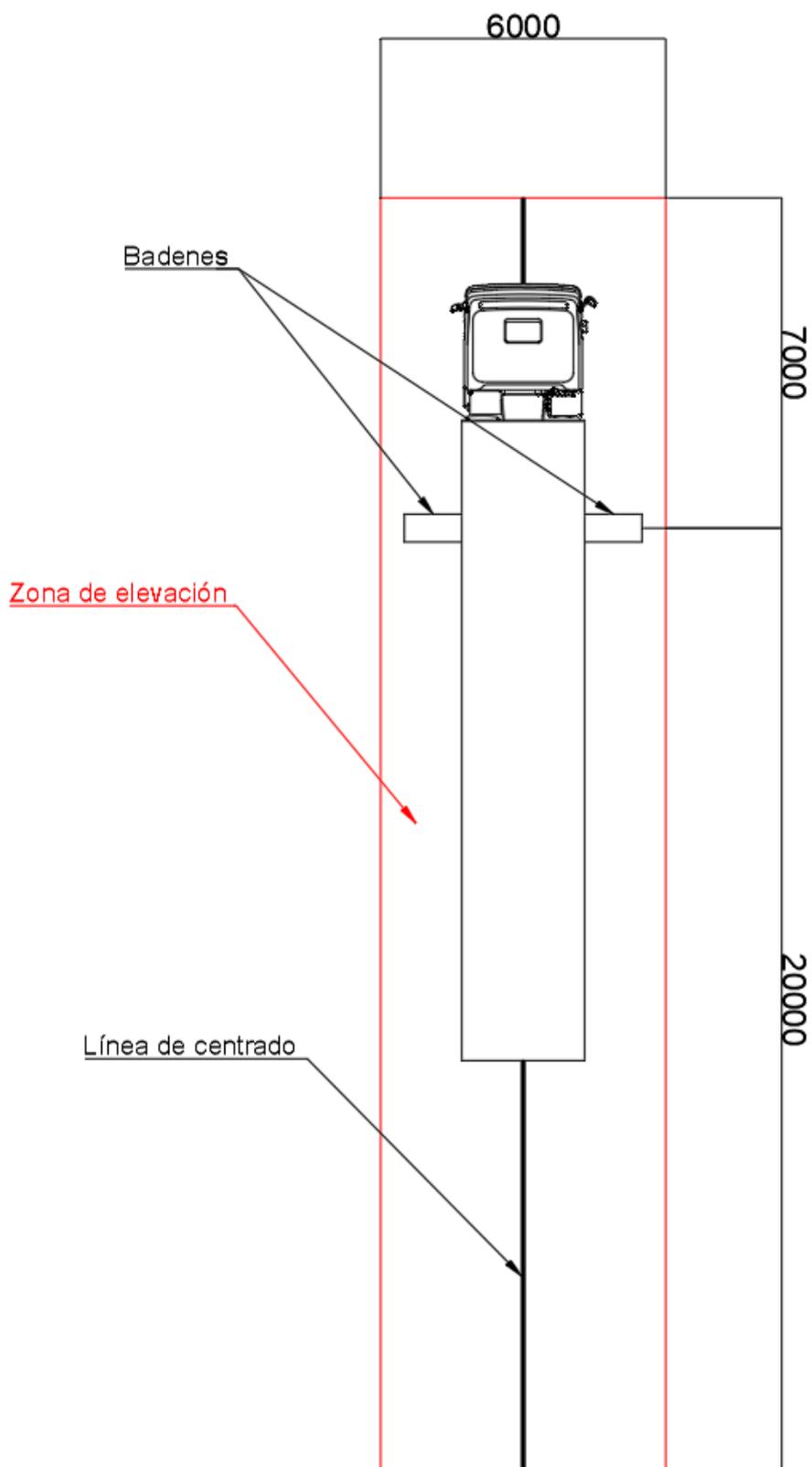


Imagen 26: Ejemplo de un camión 4x2 DAF XF 95 instalado en la zona de elevación

6.2.4. Localización de la zona de elevación

Con la zona de elevación diseñada y sus dimensiones definidas, procederemos a definir la localización de este sistema en el entorno de pruebas de IDIADA. La localización de esta zona de elevación es de gran importancia, ya que deberá facilitar la aplicabilidad del procedimiento en todo lo posible. Para seleccionar la zona de elevación óptima, se deberán tener en cuenta unos requerimientos:

- Debe haber espacio suficiente para un área de elevación de $27\text{ m} \times 6\text{ m}$.
- Tendrá que estar localizada en el interior del campo de pruebas de IDIADA, pero no podrá estar localizado en una pista de ensayo, si no en zonas alternativas del campo de pruebas como aparcamientos, gasolineras, etc...
- Debe estar en una posición que no requiera desviarse del trayecto del ensayo.

En lo que se refiere al trayecto del ensayo, deberemos tener en cuenta las pistas por las que se pasa al hacer el ensayo. A continuación, podemos ver un esquema de las pistas de ensayos en IDIADA Santa Oliva:

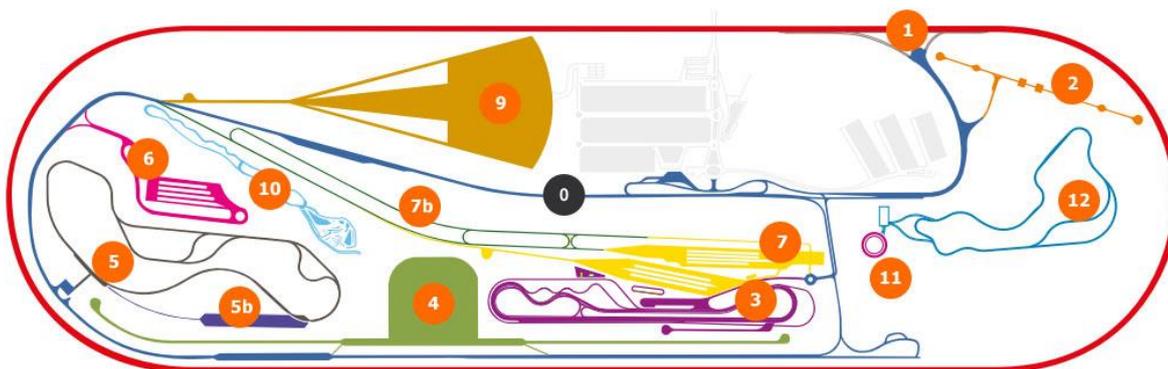


Imagen 27: Pistas de pruebas de IDIADA

Como se ha comentado en el capítulo 4 del proyecto (Procedimiento de ensayo de velocidad constante), el procedimiento de ensayo se está compuesto por varias fases, y cada una de ellas transcurre en una pista diferente. A continuación, se listarán las fases del ensayo y las pistas por las que se circulará en cada una de ellas:

1. **Preparación del vehículo y de los sistemas de medición:** No es necesaria ninguna pista de pruebas.
2. **Fase de calentamiento:** Pista de alta velocidad (PAV, 1)
3. **Puesta a cero de los medidores de par:** Aparcamiento de la pista de handling (0)
4. **Fase de calentamiento:** Plataforma dinámica A (PDA, 4)
5. **Primeras pasadas de baja velocidad:** Plataforma dinámica A (PDA, 4)
6. **Fase de calentamiento:** Plataforma dinámica A (PDA, 4)

7. **Pasadas de alta velocidad:** Plataforma dinámica A (PDA, 4)
8. **Segundas pasadas de baja velocidad:** Plataforma dinámica A (PDA, 4)
9. **Comprobación de la desviación de los medidores de par:** Aparcamiento de la pista de handling (0)

Como podemos ver, el momento en el que se lleva a cabo la elevación es la fase 3 del ensayo, en uno de los aparcamientos de la carretera general (Específicamente, el de la pista de “handling”).

De cara a la localización del elevador, se han planteado dos opciones para su instalación:

- El aparcamiento de la pista de handling (que también está en la entrada de la PDA), manteniendo el mismo procedimiento.
- El aparcamiento de la PDA, situado junto a la pista de ensayos donde se lleva a cabo el ensayo.

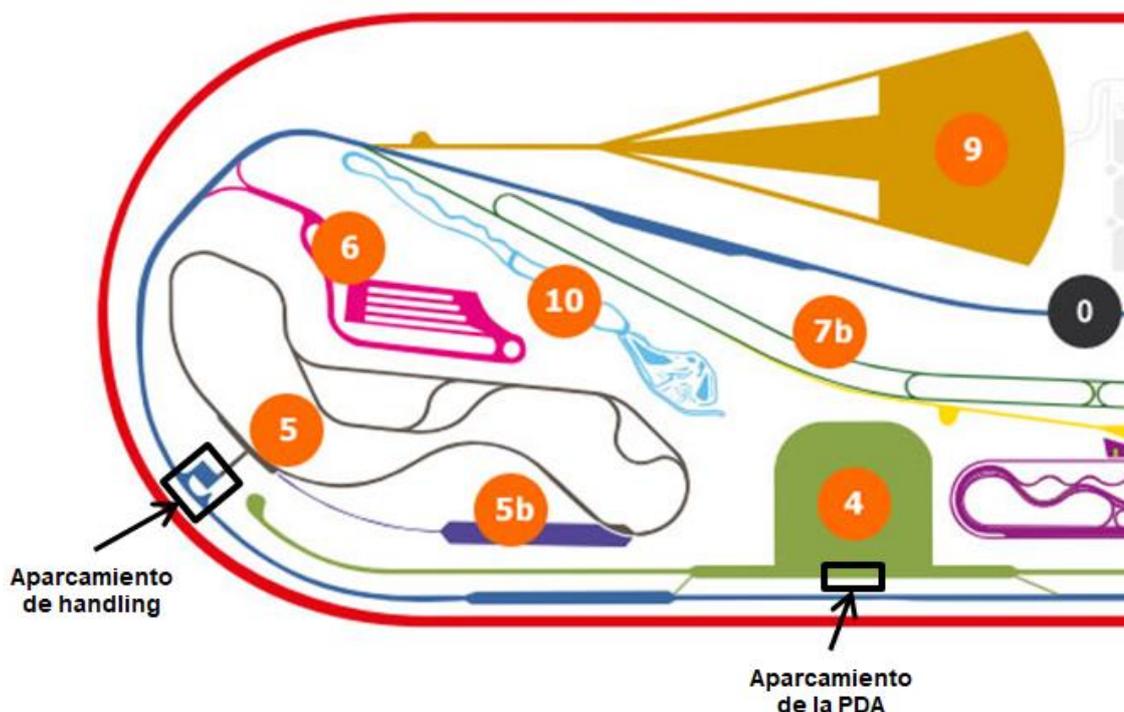


Imagen 28: Localización de los aparcamientos planteados para la instalación

Debido al pequeño tamaño del aparcamiento y el tráfico que hay en el aparcamiento de handling, se ha desechado esta opción y se ha optado por el aparcamiento de la PDA para la instalación del área de elevación.

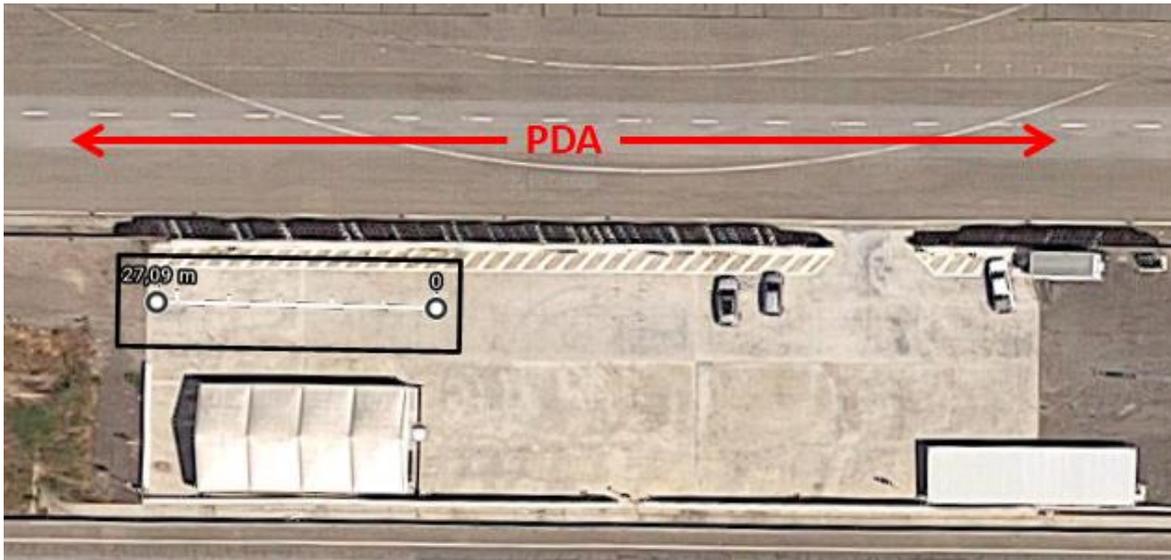


Imagen 29: Localización del área de elevación instalada en el aparcamiento de la PDA

Como podemos ver, hay espacio suficiente para llevar a cabo la modificación en el aparcamiento, y su localización es óptima para su instalación ya que está junto a la plataforma dinámica A. Por lo tanto, no requiere desviarse en ningún momento del trayecto llevado a cabo durante el procedimiento de ensayo. Además, este aparcamiento no suele tener mucho tráfico, facilitando las maniobras necesarias para la elevación.

6.2.5. Procedimiento de elevación del vehículo

Para poder llevar a cabo la elevación mediante el nuevo sistema propuesto, han de hacerse algunas modificaciones en algunas fases del proceso existente, y se definirá de manera detallada el procedimiento de elevación del eje tractor con el nuevo sistema.

En primer lugar, durante la fase de preparación del vehículo e instrumentación, se deberán instalar algunas funcionalidades adicionales de cara al procedimiento de elevación del vehículo durante la fase de puesta a cero de los medidores de par. Los sistemas adicionales necesarios serán:

- Un puntero laser.
- Una linterna.
- Una cámara y un monitor capaces de transmitir en tiempo real.

Los tres componentes tienen como cometido facilitar el centrado del diferencial respecto a la línea de la zona de elevación, procedimiento que describiremos más adelante en este capítulo.

El puntero láser se deberá instalar en el diferencial del vehículo apuntando hacia la proyección del centro del diferencial en el suelo.

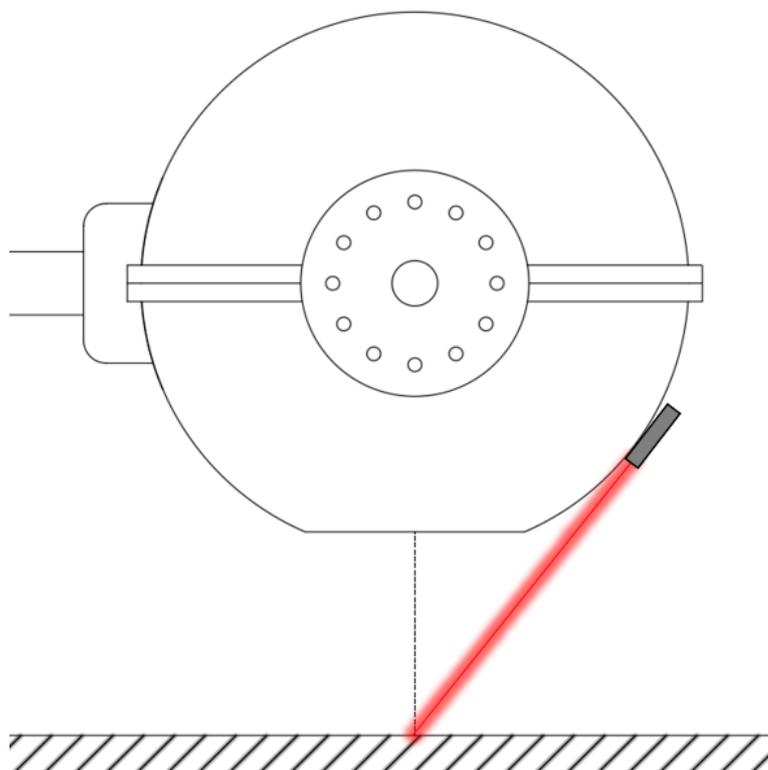


Imagen 30: Posicionamiento del puntero láser en el diferencial

Este puntero deberá ser un diodo que emita láser al tener corriente, lo que permitiría su conexión y desconexión del puntero desde la cabina. A modo de ejemplo, un diodo laser que podría ser instalado en esta posición sería un *Diodo Láser Adafruit Industries Llc 1054*.



Imagen 31: Diodo Láser Adafruit Industries Llc 1054 (www.adafruit.com)

En lo que se refiere a la linterna y la cámara capaz de transmitir la imagen en tiempo real, ambas deben estar apuntando a la zona que está iluminando el láser para que desde la cabina el conductor pueda ver si está llevando a cabo correctamente el centrado del

vehículo sobre la línea de la zona de elevación. Para la compra de la cámara existen múltiples packs de bajo coste diseñados para ser instalados como cámaras de marcha atrás que podrían utilizarse para este cometido.

Se ha de tener en cuenta que estos ensayos se suelen llevar a cabo de noche, por lo que será necesaria una iluminación en la zona del puntero laser. Algunas de las cámaras de marcha atrás en venta, disponen de visión nocturna o incluso iluminación, lo que podría evitar tener que comprar una linterna para la funcionalidad del sistema. Como ejemplo, utilizaremos un pack de cámara y monitor que incluye un sistema de iluminación compuesto por diodos LED:



Imagen 32: Cámara inalámbrica Directtyteam (www.amazon.es)

De cara a la instrumentación, ambos sistemas se conectarán en serie para regular el potencial eléctrico que deberá soportar el diodo láser. De esta manera aseguraremos una vida útil más larga para el sistema.

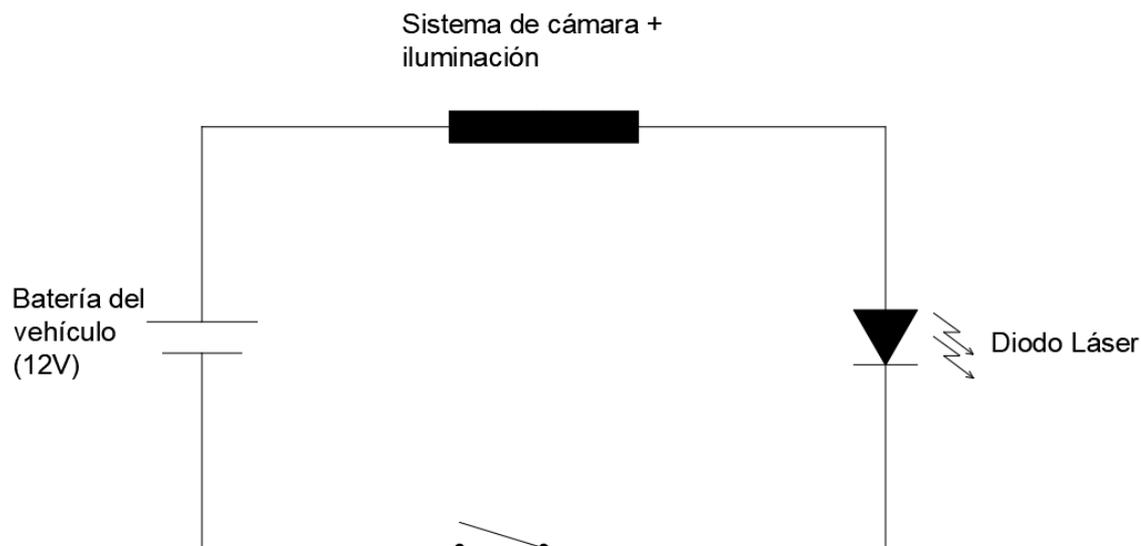


Imagen 33: Circuito eléctrico del sistema

Una vez definidas las modificaciones en la instrumentación del vehículo, procederemos a definir el procedimiento de elevación del vehículo en la fase de la puesta a cero de los medidores de par. A continuación, se listan los pasos del nuevo procedimiento.

1. Encendido de la instrumentación de asistencia para el procedimiento (puntero láser, cámara, monitor y linterna en caso de ser necesario).
2. Introducción del vehículo en la zona de elevación a una velocidad baja.
3. Aproximación del eje delantero del vehículo hacia los badenes. Durante este aproximamiento se llevará a cabo el centrado del diferencial respecto a la línea central dibujada en la zona de elevación.
4. Superación de los badenes con el eje delantero e introducción del eje tractor. En este punto, el centrado del diferencial respecto al cilindro hidráulico estará hecho en los ejes X e Y.
5. Comprobación de que el freno de estacionamiento no esté accionado. En caso de estarlo, desactivarlo.
6. Fijación del eje delantero mediante calzos. Para este paso, el conductor deberá bajarse del vehículo y hacerlo a mano.
7. Introducción de la presión neumática obtenida en un calderín del circuito de frenos en la entrada para el cilindro hidráulico situada en un lateral de los badenes. Así se elevará el eje tractor.
8. Puesta a cero de los sensores de par desde el equipo de adquisición de datos.
9. Desconexión de la presión neumática introducida al cilindro hidráulico.
10. Elevación del anemómetro para el ensayo.

Con el procedimiento actual de elevación del eje tractor, eran necesarios 2 técnicos de

ensayo y se tenían problemas para llevar a cabo todo el proceso sin superar el tiempo de 10 minutos definido por la reglamentación. Con este nuevo procedimiento, podrá llevarse a cabo todo el proceso con un solo técnico (el encargado de llevar a cabo todo el ensayo). Además, se prevén ahorros de hasta 5 minutos en el procedimiento, que podrán ser utilizados por el técnico para descansar e hidratarse.

6.3. Inversión para la aplicación del sistema

Para la aplicación de este procedimiento, se prevé una inversión mayor que en el caso del elevador del anemómetro, ya que, a parte de la compra de las partes mecánicas y logísticas del sistema, será necesaria una obra en las pistas de pruebas.

La compra del cilindro neumático es complicada, ya que se trata de un fabricante afincado en Singapur. Por lo tanto, los precios obtenidos en su página han sido de 816,62 dólares singapurenses, que al cambio en euros corresponde a un precio de 529,97 €. A parte del cilindro, serán necesarios algunos adaptadores y tubos para la transmisión de presión hidráulica, por lo que redondearemos este precio a 600 €.

Tras una búsqueda, se han obtenido los siguientes precios:

- Diodo Láser Adafruit Industries Llc 1054: 5,32 €
- Cámara inalámbrica Directyteam (con visión nocturna): 102,99 €

Finalmente, en lo que se refiere a la obra en las pistas, será complicado hacer una previsión del precio aproximado. Lo que sí se puede considerar es que la obra necesaria no es de una gran complicación, ya que únicamente se necesita la modificación del terreno para instalar dos badenes y el cilindro neumático (junto con el tubo para la transmisión de presión), y el dibujado de una línea en el pavimento. Por lo tanto, y haciendo una aproximación al alta, supondremos un precio de 7000 €.

Componente	Unidades	Precio unitario	Precio total
Cilindro hidráulico + adaptadores	1	600.00 €	600.00 €
Diodo Láser	1	5.32 €	5.32 €
Cámara inalámbrica	1	102.99 €	102.99 €
Obra en pistas	1	7,000.00 €	7,000.00 €
Inversión total del sistema			7,708.31 €

Tabla 10: Desglose de la inversión para el sistema de elevación del eje tractor

Por lo tanto, la inversión necesaria para la integración del sistema en el proceso de ensayo sería de 7708,31 €.

7. Amortización de la inversión

Como se ha comentado a lo largo del proyecto, una de las razones de éste es que actualmente se están utilizando dos técnicos de ensayo para llevar a cabo todo el procedimiento. Uno de estos técnicos únicamente tiene los cometidos de llevar a las pistas el gato elevador y asistir al conductor en la elevación del eje tractor y del anemómetro, algo que puede hacer en alrededor de una hora. Por lo tanto, se desea evitar la utilización de un técnico para este cometido para poder destinar sus horas de trabajo a otros proyectos en los que se requiera asistencia.

Mediante la implementación de los dos sistemas desarrollados en este proyecto se podrá eliminar esta necesidad de un segundo técnico, por lo que se obtendrá un ahorro en el precio de llevar a cabo el ensayo a cambio de la inversión en estos sistemas de elevación.

El precio por hora para el departamento de un técnico de ensayo es de 60 €/hora , y considerando que su jornada es de 8 horas, podemos asumir que el ahorro que se obtendrá por ensayo mediante la supresión de este técnico adicional será de:

$$\frac{8 \text{ horas}}{\text{ensayo}} * \frac{60 \text{ €}}{\text{hora}} = 480 \text{ €/ensayo}$$

La inversión total de ambos sistemas será la suma del elevador neumático del anemómetro (1625,05 €) y el elevador hidráulico del eje tractor (7708,31 €).

$$\text{Inversión} = 1625,05 + 7708,31 = 9333,36 \text{ €}$$

Con estos valores, podremos obtener el número de ensayos necesarios para amortizar la implementación de ambos sistemas.

$$N^{\circ} \text{ ensayos} = \frac{9333,36 \text{ €}}{\frac{480 \text{ €}}{\text{ensayo}}} = 19,44 \approx 20 \text{ ensayos}$$

Por lo tanto, serán necesarios 20 ensayos para considerar que ambos sistemas están amortizados. Es difícil definir el número de proyectos o el tiempo necesarios para amortizar los sistemas, ya que el número mínimo de ensayos por proyecto es de 2, pero dependiendo del proyecto se pueden llevar a cabo 8 o incluso 10 ensayos.

8. Presupuesto

De cara a llevar a cabo una valoración económica del proyecto, se calculará un presupuesto para el desarrollo e implantación de ambos proyectos de mejora diseñados para la optimización del proceso de ensayo. Para este presupuesto, ya se han llevado a cabo los cálculos de las inversiones necesarias para cada uno de los proyectos, pero de cara al presupuesto total del proyecto también se deberán considerar otros factores como:

- Horas de trabajo del ingeniero encargado del planteamiento y diseño del proyecto.
- Horas de trabajo de los técnicos encargados del montaje.
- Utilización de licencias de software.
- Impuesto sobre el valor añadido (IVA).

Las horas de trabajo que el ingeniero ha destinado, tanto al planteamiento como al diseño de los sistemas de mejora, han sido alrededor de 130. Para el presupuesto, se considerará que el precio de la hora trabajada por un ingeniero junior es de 36 €/hora .

Las horas de trabajo de técnicos necesarias para el ensamblaje y la instalación del proyecto del elevador del anemómetro, serán alrededor de 10. Para este caso, que no ha de pagarse la entrada a las pistas de pruebas, consideraremos un precio de 25 €/hora . En este apartado, no se considerarán las horas de los técnicos encargados de llevar a cabo la obra del sistema de elevación del eje tractor, ya que están incluidos en la inversión para la obra en las pistas de pruebas.

Para el diseño del primer proyecto se ha utilizado una licencia de SolidWorks Professional, cuyo precio es de 8250 €, y para el diseño del área de elevación se ha utilizado una licencia de AutoCAD con un precio de 1698,84 €.

El Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA) que aplicará a este proyecto será del 21%. Por lo tanto, considerando estos precios junto con el resto de las inversiones obtendremos el siguiente presupuesto.

Concepto	Precio	Unidades	Precio total
Inversión sistema 1	1625,05 €	1	1625,05 €
Inversión sistema 2	7708,31 €	1	7708,31 €
Horas de ingeniero	36,00 €	130	4680,00 €
Horas de técnico	25,00 €	10	250,00 €
Licencia SolidWorks	8250,00 €	1	8250,00 €
Licencia AutoCAD	1698,84 €	1	1698,84 €
		Subtotal	24212,20 €
		IVA (21%)	4842,44 €
Presupuesto total			29054,64 €

Tabla 11: Presupuesto total del proyecto

9. Impacto ambiental

Desde un punto de vista medioambiental, no se trata de un proyecto con un gran impacto, ya que los dos sistemas propuestos están destinados a cumplir con otros objetivos. Estos objetivos, por suerte, se han conseguido alcanzar de una manera respetuosa con el medio ambiente, permitiendo un análisis sencillo del impacto ambiental que tendrá la implantación de estos sistemas de mejora.

Como se ha comentado, ninguno de los dos sistemas planteados para su implantación tiene un impacto directo sobre el medio ambiente, pero las mejoras conseguidas en el procedimiento de ensayo sí que tendrían un impacto indirecto en el efecto medioambiental del ensayo, correspondiente a un ahorro en emisiones de CO₂.

A lo largo del proyecto, se ha discutido la utilización de un segundo técnico en el ensayo, de cara a la asistencia del técnico principal tanto para la elevación del eje tractor como del anemómetro. Debido a las restricciones del procedimiento de ensayo, esta asistencia se lleva a cabo en las pistas, por lo que el técnico adicional debe transportarse a las pistas en un vehículo del departamento. El vehículo del departamento utilizado es una furgoneta *Renault Trafic Furgón*, cuyas emisiones de CO₂ en ciclo mixto de NEDC son de $166,5^g/km$.



Imagen 34: Renault Trafic Furgón del departamento Performance & Driveability

Por lo tanto, conociendo el recorrido del técnico asistente para ir a la zona de elevación actual y volver, podremos calcular el ahorro en gramos de CO₂ por cada ensayo que se lleve a cabo. Como ya hemos definido anteriormente, actualmente la zona de elevación se encuentra en el aparcamiento de la pista de handling, con lo que calcularemos la distancia recorrida en kilómetros.



Imagen 35: Trayecto de ida y vuelta entre el departamento y el aparcamiento

Como podemos comprobar, la distancia recorrida para llevar a cabo la asistencia es de 7,3 km. Por lo tanto, llevando a cabo el cálculo de las emisiones de CO₂ del vehículo en este trayecto, obtendremos el ahorro por cada ensayo.

$$7,3 \frac{\text{km}}{\text{ensayo}} * 166,5 \frac{\text{g CO}_2}{\text{km}} = 1215,45 \frac{\text{g CO}_2}{\text{ensayo}}$$

Así, el ahorro de CO₂ por ensayo será de 1,242 kg.

Conclusiones

El objetivo principal de este proyecto ha sido el de la optimización de los costes del ensayo para el departamento. Como hemos observado a lo largo del desarrollo del proyecto, el procedimiento de ensayo definido en el reglamento concreta unas restricciones que, con los medios de los que dispone el departamento en este momento, ha forzado la utilización de dos técnicos de ensayo para llevar a cabo el procedimiento completo. Esto ha generado un sobrecoste en cada ensayo, que ha sido el motivante principal para el desarrollo de este proyecto.

De la necesidad de evitar este sobrecoste, han surgido dos proyectos con los que se pretende proveer al departamento de medios para eludir la necesidad de dos técnicos de ensayo en este procedimiento, y destinar la jornada laboral de uno de ellos a otros posibles cometidos en proyectos que puedan requerir asistencia.

Para el primer proyecto de mejora, se ha diseñado un elevador de funcionamiento neumático para la colocación del anemómetro móvil utilizado en el ensayo. Este sistema ha sido diseñado de tal forma que se trate de un sistema compacto de una fácil instalación en la fase de instrumentación del vehículo. Por otro lado, se ha validado tanto conceptual como numéricamente que cumple con los requerimientos del reglamento sobre su posicionamiento y que el sistema de fijación diseñado para el mismo es válido para su utilización.

El segundo proyecto de mejora ha estado enfocado al desarrollo de un sistema de elevación para el eje tractor. Para este sistema no se ha diseñado únicamente el funcionamiento mecánico del mismo, si no que se ha llevado a cabo un desarrollo conceptual de una obra para la instalación del sistema de elevación en las pistas de ensayo. Junto con el sistema, también se ha definido el procedimiento para su correcta utilización, y se ha validado su localización en las pistas teniendo en cuenta tanto el procedimiento de ensayo como las pistas utilizadas.

Finalmente, se han llevado a cabo cálculos tanto de los costes de la implementación de ambos proyectos de mejora como del ahorro por la elusión del técnico de ensayo adicional. Estos costes aproximados no son demasiado altos, considerando las mejoras que se lograrán con su implementación, y con esta información se ha calculado que la amortización de la inversión necesaria para ambos ensayos será rápida, por lo que la inversión en ambos sistemas sería recomendable de cara a la optimización de los costes para el departamento.

Agradecimientos

A mis padres, Juan Miguel y Carolina, por apoyarme y ayudarme en todo lo que han podido. En mis mejores, y sobre todo en mis peores momentos. *Maite zaituztet.*

A mi cuadrilla, por estar ahí desde que puedo recordar.

A Ane, por dar tanto y pedir tan poco.

A mis compañeros de Máster, por compartir conmigo las largas noches de biblioteca. Y a mis compañeras de piso, por sacarme una sonrisa hasta en el peor día.

Finalmente, a mis compañeros de IDIADA, por darme la oportunidad de trabajar con ellos y por acogerme como uno más desde el primer día.

Bibliografía

- [1] European Commission. (2019). REGULATIONS. Commission regulations (EU) 2019/318 of February 2019 amending Regulation (EU) 2017/2400 and Directive 2007/46/EC of the European Parliament and of the Council as regards the determination of the CO₂ emission and fuel consumption of heavy-duty. Official Journal of the European Union, Vol. 2019, pp. 20–30. https://doi.org/http://eur-lex.europa.eu/pri/en/oj/dat/2019/l_285/l_28520191101en00330037.pdf
- [2] European Parliament. (2017). REGULATIONS. Commission regulations (EU) 2017/2400 of December 2017 implementing Regulation (EC) No 595/2009 of European Parliament and of the Council as regards the determination of the CO₂ emissions and fuel consumption of heavy-duty vehicles and amending. Official Journal of the European Union, (582). Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R2400&from=EN>
- [3] Graz University of Technology & Institute for internal Combustion Engines and Thermodynamics. (2017). VECTO Air Drag V3.1.0.
- [4] SAE International. (2005). Motor Vehicle Fiducial Marks and Three-Dimensional Reference System - J182_200504.
- [5] Schmalz. (2019). El sistema de vacío y sus componentes. Dimensionamiento de las ventosas. Retrieved from <https://www.schmalz.com/es/saber-de-vacio/el-sistema-de-vacio-y-sus-componentes/ventosas-de-vacio/dimensionamiento-de-las-ventosas>
- [6] Wabco. (2004). WABCO TRAINING. Basic Training (2004th ed.).