



Especialización en Management
Tecnológico

TRABAJO FINAL INTEGRADOR

**Aplicación del Sistema Gillier-
Pantone en los tractores de
Norpatagonia:**

Ahorro en combustible y disminución
de la contaminación



Estudiante: Ing. Agr. Cristian Andrés BEZIC

Tutor: Mg. Paula Paez

Febrero 2022



Índice general

Índice general	2
Índice de tablas	6
Índice de Formulas.....	7
Abreviaturas y Simbología	8
Resumen	10
Agradecimientos	11
Introducción	12
Definición del problema	13
Objetivos generales	15
Objetivos específicos.....	15
Capítulo I – El Tractor Frutícola.....	16
I.1 El funcionamiento del tractor	16
I.2 El motor del tractor	16
I.2.1 Funcionamiento del motor diésel	16
I.2.2 Ciclo diésel de cuatro tiempos	17
I.3 Funcionamiento termodinámico del motor diésel.....	19
I.3.1 Ciclo diésel ideal.....	19
I.4 Conceptos generales del motor diésel.....	21
I.4.1 Par motor	21
I.4.2 Potencia	22
I.4.3 Consumo específico de combustible (CE)	23
I.4.4 Combustión	24
I.4.5 Gases de combustión (Gases de escape)	24
I.4.6 Caracterización de los tractores de la Norpatagonia.....	28
I.4.7 Marco normativo.....	29
Capítulo II - Sistema G-P (Gillier-Pantone).....	33
II.1 Introducción.....	33
II.2 Antecedentes – Hidroinyección y sistema Gillier-Pantone	33

II.3 Teorías del funcionamiento del sistema Gillier- Pantone.....	43
Capítulo III – Diseño Experimental del sistema G-P.....	46
III.1 Búsqueda bibliográfica de planos	46
III.2 Relevamiento de materiales y construcción del equipo G-P	46
III.3 Relevamiento de variables a medir.....	49
III.4 Inventario de equipos e instrumentos	49
III.5 Montaje del prototipo G-P.....	54
III.6 Diseño Estadístico de experimentación	57
III.7 Mediciones	58
III.7.1 Tractor sin el sistema G-P	58
III.7.2 Tractor con sistema G-P.....	59
Capítulo IV - Análisis de los resultados:.....	60
IV.1 Análisis de los datos experimentales.....	60
IV. 2 Evaluación Técnica y Económica.....	70
IV.3 Discusión de los datos experimentales	72
IV.4 Conclusiones.....	73
IV.5 Recomendaciones.....	74
Capítulo V - Difusión de la tecnología	76
V.1 Difusión de la experiencia	76
Bibliografía	77
Anexos	79

Índice de Figuras

Fig. 1: Corte esquemático de un motor diésel de cuatro tiempos	17
Fig. 2: Funcionamiento del motor diésel de cuatro tiempos	18
Fig. 3: Ciclo diésel Ideal	19
Fig. 4: Mecanismo biela-manivela en el par motor.....	22
Fig. 5: Interpretación del concepto de potencia	23
Fig. 6: Composición de los gases de escape en un motor diésel.....	24
Fig. 7: Proporción de tractores según su edad en la Norpatagonia	28
Fig. 8: Número de tractores por escala de potencia (CV) y edad en la Norpatagonia	29
Fig. 9: Tractor McCormick-Deering modelo 1929	34
Fig. 10: Circuito de combustibles (extraído del manual del Tractor McCormick-Deering)	35
Fig. 11: Colectivo con sistema de hidroinyección Fioramonti.....	36
Fig. 12: Diagramas de dispositivos patentados por Jean Chambrin	37
Fig. 13: Imagen del Ing. Paul Pantone.....	38
Fig. 14: Plano de GEET – Pantone	39
Fig. 15: Esquema tecnológico del reactor.....	40
Fig. 16: Antoine Gillier junto al primer tractor equipado con su invento en 2001	41
Fig. 17: Esquema del sistema Gillier-Pantone	42
Fig. 18: Reactor de unidad G-P	48
Fig. 19: Despiece de dispositivo G-P.....	48
Fig. 20: Cronómetro	49
Fig. 21: Torquímetro portátil	50
Fig. 22: Analizador de gases	50
Fig. 23: Cámara digital	51
Fig. 24: Tacómetro digital	51
Fig. 25: Uso de herramientas varias.....	52
Fig. 26: Dispositivo para medir consumo de combustible	52
Fig. 27: Tractor MF 1475 S.....	53
Fig. 28: Pulverizadora Pazima MP11.....	54
Fig. 29: Vista posterior y anterior del equipo G-P armado	55

Fig. 30: Montaje de unidad G-P (vista lateral).....	56
Fig. 31: Montaje de unidad G-P (vista frontal)	56
Fig. 32: Montaje de unidad G-P a la manga de admisión	57
Fig. 33: Interacción de tratamientos - Comparación de valores medios de CE (g/CVh).....	62
Fig. 34: Comparación de valores medios de CO (ppm) por tratamiento (Test de Fisher).....	64
Fig. 35: Interacción de tratamientos - Comparación de valores medios de NO (ppm)	66
Fig. 36: Comparación de medias de T (°C) por tratamiento (Test de Fisher)	68

Índice de tablas

Tabla 1: Evolución de los límites de emisiones según Ley N° 24.449.....	30
Tabla 2: Evolución de los límites de emisiones según Normas Euro	30
Tabla 3: Detalle de materiales y costos del equipo G-P.....	47
Tabla 4: Ficha técnica del tractor MF 1475 S	53
Tabla 5: Análisis físico-químico del Diesel D-500 YPF	59
Tabla 6: Resultados de las dos potencias de trabajo.....	60
Tabla 7: Resultados obtenidos sin sistema G-P	60
Tabla 8: Resultados obtenidos con sistema G-P	61
Tabla 9: Resultados obtenidos según carga y uso del sistema G-P	61
Tabla 10: Resultados del ANOVA para la variable CE	62
Tabla 11: Resultados del ANOVA para la variable CO	64
Tabla 12: Resultados del ANOVA para la variable NO	66
Tabla 13: Resultados del ANOVA para la variable T	68
Tabla 14: Costos de implementación del sistema G-P	70
Tabla 15: Comparativa de valores promedios de consumo según uso del dispositivo G-P.....	71
Tabla 16: Ahorro Económico y recupero de inversión con el sistema G-P.....	71

Índice de Formulas

Fórmula 1 22

Fórmula 2 58

Abreviaturas y Simbología

G-P	Sistema Gillier Pantone
MCI	Motor de combustión interna
CNA	Censo Nacional Agropecuario
GEI	Gases de efecto invernadero
CAR	Censo Provincial Rionegrino de Agricultura bajo Riego
ha	Hectárea
CV	Caballos de vapor (1 CV = 0,735 KW)
DPM	Material particulado diésel
NO_x	Oxidos de nitrógeno
CO₂	Dióxido de carbono
MEC	Motor de encendido por compresión
PMS	Punto muerto superior
PMI	Punto muerto inferior
rc	Relación de compresión
ONU	Organización de Naciones Unidas
ODS	Objetivos de desarrollo sostenible
CNCPS	Consejo Nacional de Coordinación de Políticas Sociales
T	Torque = F x d (N x m) o (kgf x m)
F	Fuerza
d	Distancia al eje de giro
N	Newton
kgf	Kilogramo fuerza
kW	Kilovatio
CE	Consumo Específico (g/kW x h o g/CV x h)
O₂	Oxígeno
N₂	Nitrógeno
CO	Monóxido de carbono
HC o C_xH_y	Hidrocarburos
C₄H₁₀	Butano
C₆H₆	Benceno
C₂₀H₁₂	Benzopireno
NO_x	Oxidos de nitrógeno
NO	Oxido nítrico
NO₂	Dióxido de nitrógeno
HNO₂	Acido nitroso
HNO₃	Acido nítrico
O₃	Ozono
SO₂	Anhídrido sulfuroso
H₂SO₃	Acido sulfuroso
H₂SO₄	Acido sulfúrico
Dec.	Decreto
CEE	Comunidad Económica Europea
Res.	Resolución
SAYDS	Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable
EGR	Recirculación de gases de escape

SCR	Reducción catalítica selectiva
DOC	Catalizador de oxidación de diésel
DPF	Filtro de partículas diésel
DEF	Fluido de escape diésel
GEET	Global Environmental Energy Technology
m/s	Metros/segundo
ITV	Inspección técnica vehicular
TPP	Toma posterior de potencia
rpm	Revoluciones por minuto
Ø	Diámetro
DCA	Diseño completamente al azar
ANOVA	Análisis de varianza
CT	Condición de trabajo
DL	Descarga libre
P	Potencia (CV) = velocidad (rpm) x T (Kkgf . m)/716.2
t	Tiempo de operación (segundos)
T	Temperatura (°C)
cSt	Centistoke (unidad de viscosidad cinemática)
HFRR	Dispositivo recíproco de alta frecuencia
R²	Coefficiente de determinación
CV	Coefficiente de variación
CM	Cuadrado medio del error
LSD	Test de Fisher
α	Alfa o nivel de significancia
DMS	Diferencia mínima significativa
CER	Certificados de emisiones reducidas
MDL	Mecanismo para el desarrollo limpio

Resumen

El tractor es la fuente de energía móvil y versátil más importante con que se cuenta actualmente para la producción Frutícola de la Norpatagonia. Este se desplaza por el terreno arrastrando y/o empujando implementos, portando sobre sí herramientas y sistemas mecánicos para sembrar, fertilizar y controlar malezas y plagas y puede también accionar y controlar el funcionamiento de otras máquinas más complejas. El motor de combustión interna (MCI) del tractor transforma la energía química contenida en el combustible diésel en calor y luego en energía mecánica. La baja eficiencia energética de estos motores, junto con la emisión de gases contaminantes para la atmósfera y contribuyentes al calentamiento global, nos lleva constantemente a pensar en nuevas maneras de aprovechar la energía obtenida de la quema de los combustibles fósiles.

Es de todos conocidos que las reservas mundiales de petróleo son escasas y que, consecuentemente, su precio continuará aumentando, encareciendo las tareas agrícolas necesarias para la producción de alimentos y otros bienes importantes para el bienestar de la humanidad. Todo esto justifica los importantes esfuerzos que se realizan para incentivar principalmente el ahorro de combustible. El presente trabajo plantea realizar una evaluación, principalmente del consumo de combustible y la emisión de gases de escape, comparando los resultados del funcionamiento de un mismo tractor con y sin el montado del sistema Gillier-Pantone (G-P); de esta manera pretende abordar la problemática a través de una idea innovadora, buscando mejorar las herramientas disponibles.

Con el objeto de abordar la problemática propuesta se realizó un estudio introductorio acerca del funcionamiento y caracterización de las máquinas térmicas o MCI (diésel), de los tractores que existen actualmente en la Norpatagonia. Se resumen las normas establecidas y vigentes en nuestro país, con respecto a las emisiones de gases contaminantes permitidas. Seguidamente se plantea una recopilación bibliográfica de la historia y funcionalidad de este dispositivo tecnológico, el cual no poseemos evidencia que se haya aplicado en nuestra zona productiva. Seguidamente se diseñó el ensayo experimental, donde se detallan los materiales utilizados para la construcción de un equipo adaptable a la mayoría de los tractores existentes. Con esa prueba piloto y con el registro de todos los resultados se realizó un análisis estadístico y de costos, el cual nos permitió convalidar la orientación del análisis propuesto.

Del estudio se concluyó que la implementación del sistema G-P en un MCI generó un ahorro importante del consumo específico de combustible, con valores entre el 10 y el 12%, dependiendo de la carga de trabajo y una mejora considerable en la calidad de los gases de escape, lográndose una reducción de la emisión de CO de hasta casi el **20%**, indistintamente de la carga

de trabajo, y el **24%** de reducción de emisión de NO cuando el MCI funcionó bajo la menor carga. También se concluyó que el recupero de la inversión fue de 1,7 años a 7 meses ya sean pequeños o grandes productores respectivamente.

Palabras Clave: Eficiencia energética, gases efectos invernaderos, contaminación atmosférica, sistema Gillier-Pantone, Tractores.

Agradecimientos

Quiero agradecer muy especialmente a Néstor Aranda, compañero de la vida hoy ausente, y por cuyo entusiasmo y dedicación se hizo posible llevar a la realidad esta experiencia.

Al personal docente de la cátedra de Mecanización Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Comahue: Alcides Di Prinzio y César Mignone, y asimismo al Ing. Agr. Carlos Magdalena por parte del INTA, en su aporte para ejecución de los primeros ensayos.

A la Mg. Paula Paez por su aporte de tutoría en el desarrollo de este trabajo.

Introducción

La masificación de los tractores en el campo ha traído consigo enormes beneficios para el desarrollo de la agricultura tanto a nivel mundial, como regional. La baja eficiencia energética de los MCI se ha convertido en las últimas décadas en una de las principales preocupaciones de los agricultores debido fundamentalmente al aumento del costo del combustible y al surgimiento de normativas medioambientales, como las que rigen en la Unión Europea y Estados Unidos, para lograr reducir las emisiones de gases contaminantes (Muñoz, 2014).

Actualmente en la zona productiva de la Norpatagonia, la capacidad de reinversión y renovación del parque de maquinarias es muy baja. Existe una muy alta proporción de tractores que superan el periodo de vida útil, estimado en 20 años. La obsolescencia de estos equipos, sumado al desgaste que ya presentan, trae aparejado una menor eficiencia energética, junto con mayores emisiones de gases nocivos para el medio ambiente. La utilización de combustibles fósiles en los MCI no solo libera gases tóxicos a la atmósfera; también libera diferentes gases de efecto invernadero (GEI), que son los principales responsables del calentamiento global.

El surgimiento de nuevas tecnologías como lo es el dispositivo denominado G-P en Francia, adaptado a la maquinaria del sector agrícola, parece haber logrado mejorar el funcionamiento de los motores diésel de sus tractores. El principio de su funcionamiento se basa en la utilización de vapor de agua, el cual es generado a partir del calor residual del motor, y que es inyectado en el colector de admisión para pasar luego a la cámara de combustión. Los fenómenos que ocurren a continuación parecieran provocar una mayor estabilidad de la explosión, junto con una mayor relación de compresión y además también reducir las emisiones.

El hecho de poder comprobar el funcionamiento de este sistema innovador a nivel de la maquinaria existente en nuestra zona, sienta las bases para la realización nuevos ensayos que confirmen el buen desempeño de esta tecnología y su posible difusión.

Definición del problema

La mejor máquina agrícola es aquella que permite ayudar a producir productos alimenticios primarios de óptima calidad a costos competitivos y preservando el ambiente productivo (Demarco, s.f).

En la actualidad los rendimientos de las máquinas térmicas, con MCI, son bajos. Un experto en termodinámica coincidirá en que el motor de combustión, diésel o gasolina, no es una solución ideal (Mogorrón, 2017). Como ejemplo para destacar un motor diésel estacionario y de gran escala ha conseguido el máximo rendimiento de 50 %, estos parámetros muestran la ineficiencia que hay en las tecnologías actuales de estos motores (Tapia, 2012). Sumado a esto, la máquina térmica es considerada como altamente contaminante y perjudicial para el medio ambiente debido a los gases de escape que se generan luego de la combustión, en especial, por los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono y de los hidrocarburos sin quemar.

Las nuevas legislaciones ambientales restringen las emisiones de los motores diésel, principalmente a aquellas que son de gases efecto invernadero. Es por ello que este combustible debe minimizar el nivel de partículas expulsadas (material particulado diésel o DPM) así como las emisiones de óxido de nitrógeno (NOx) y dióxido de carbono (CO₂).

La masificación de los tractores en el campo ha traído consigo enormes beneficios para el desarrollo de la agricultura nacional. Así, por ejemplo, según Di Prinzio et al. (2010), en los sistemas fruti-hortícolas de nuestro país los tractores tienen un uso anual superior a las 40 horas por hectárea. Es por esto que, la eficiencia del diésel se ha convertido en las últimas décadas en una de las principales preocupaciones de los agricultores, sumándose al cumplimiento de los plazos de los trabajos realizados con maquinaria agrícola. Este cambio de foco se debe fundamentalmente al aumento del costo del combustible y normativas medioambientales, como la que rige en la Unión Europea y Estados Unidos, para lograr reducir las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero. En resumen, el tractor debe ofrecer la posibilidad de proveer energía, al menor costo posible, e intervenir en todas las operaciones agropecuarias, desde la preparación del suelo, la siembra o la plantación, las labores culturales, la protección de los cultivos, la cosecha, carga y almacenaje. Incluso pudiendo funcionar como un motor estacionario para accionar máquinas por medio de la toma de potencia como bombas de agua, moledoras, etc.

Según datos del último Censo Nacional Agropecuario realizado (CNA, 2018), en la zona Norpatagónica el 83% del total de los tractores, poseen una antigüedad mayor a 15 años, dentro del estrato con una potencia inferior a los 75 CV. La acentuada antigüedad del parque de tractores con estas características marcaba en ese entonces un alto nivel de obsolescencia que, en el presente, se evalúa que puede ser superior, existiendo un gran potencial de reposición de esos equipos y/o un alto nivel de antigüedad (tractores en su gran mayoría de entre 30 a 50 años de antigüedad). En este contexto de mayor desgaste y obsolescencia de los MCI, el consumo de combustible diésel representa hoy uno de los mayores insumos en la agricultura, mancomunado con importantes cantidades de emisiones de gases de efecto invernadero. Desde el punto de vista económico, el incremento recurrente en los precios del gasoil ha hecho que el combustible sea un elemento fundamental en la cuenta de resultados de las explotaciones agrícolas.

La Asamblea General de la Organización de Naciones Unidas (ONU) adoptó en el año 2015 la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, un plan de acción a favor de las personas, el planeta y la prosperidad, que también tiene la intención de fortalecer la paz universal y el acceso a la justicia. Esta Agenda plantea la aplicación de 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) con 169 metas de carácter integrado, de la cual Argentina también asumió su compromiso de realización. La implementación de la tecnología propuesta en este trabajo ayudaría a cumplimentar con 3 de los 17 ODS propuestos, como ser: Objetivo 2 que plantea "...promover la agricultura sostenible"; el objetivo 7, que afirma "garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos"; y el objetivo 13, que expresa "adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos" (CNCPS, 2021).

Es por ello que, atendiendo a la búsqueda de la mejora de la eficiencia energética, ahorro de consumo de combustible, mejora de la rentabilidad, la búsqueda de la aplicación de estos ODS; es que se plantea el siguiente trabajo de modo de dar respuesta a una necesidad de la sociedad con el uso de nuevas herramientas tecnológicas.

Objetivos generales

- Evaluar la factibilidad de implementación del sistema G-P como un dispositivo potencial a utilizar en la población de tractores de la Norpatagonia.
- Diseñar estrategias educativas y de concientización para transferir la tecnología del sistema G-P al sector agropecuario de la zona Norpatagónica, a partir de la puesta en funcionamiento en un caso experimental exitoso en un tractor.

Objetivos específicos

- Describir las características de los tractores existentes en la actualidad en la región de estudio (número, edad, potencia).
- Construir un dispositivo G-P en función de los conocimientos y planos existentes que se encuentran accesibles en la web.
- Realizar un ensayo puntual en un tractor que reúna las características que predominan, de los existentes en la región Norpatagónica, adaptándole un dispositivo G-P.
- Evaluar la incidencia de esta actualización tecnológica a nivel de ahorro de combustible y de la contaminación respecto a la situación inicial.
- Analizar los resultados obtenidos del estudio del consumo específico de combustible y de los gases del escape.
- Promover la difusión de esta tecnología, haciendo conocer los resultados del ensayo realizado. Realizar charlas informativas y de concientización para suscitar el interés de instituciones públicas y/o privadas.

Capítulo I – El Tractor Frutícola

I.1 El funcionamiento del tractor

Los tractores cuentan con un motor térmico, que transforma la energía calórica en energía mecánica, necesaria para la tracción, su autotransporte y para el movimiento de las máquinas accionadas por la toma de potencia. En la gran mayoría de los tractores modernos dicho motor es del tipo diésel, llamado así en honor a su inventor, el ingeniero alemán Rudolf Diésel. La energía calórica es la que procede de la combustión de este combustible diésel, en presencia de un comburente, como lo es el aire. Estos motores son de combustión interna o endotérmica, donde la combustión se realiza en el seno del fluido activo, y a través de un mecanismo biela-manivela, transforman el movimiento rectilíneo alternativo en un movimiento circular.

I.2 El motor del tractor

I.2.1 Funcionamiento del motor diésel

En este tipo de motores, también llamados motores de encendido por compresión (MEC), la combustión comienza mediante un proceso de autoencendido de la mezcla de combustible, puesto que se consiguen temperaturas suficientemente altas en la cámara de combustión gracias al proceso de compresión que tiene lugar (alrededor de 700-900 °C). Tal como lo describe Di Prinzio et al. (2010, pág. 16 - 17) para la comprensión del funcionamiento del motor diésel es necesario definir los siguientes términos que se representan en la Figura 1:

- **Punto muerto superior (PMS):** Es la posición extrema del pistón más próxima a la tapa de cilindros.
- **Punto muerto inferior (PMI):** Es la posición extrema del pistón más próxima al cigüeñal.
- **Calibre:** Es el diámetro del cilindro.
- **Carrera:** Es la distancia existente entre el punto muerto superior y el punto muerto inferior.
- **Cilindrada:** Es el volumen de aire que contiene el cilindro entre el punto muerto superior y el punto muerto inferior. Dicho de otra manera, es el volumen de aire que desplaza el pistón en una carrera. La cilindrada de un motor se obtiene con la suma de las cilindradas parciales de cada uno de los cilindros.

- **Cámara de combustión:** Es el volumen comprendido entre el pistón, ubicado en el punto muerto superior, y la tapa de cilindros. En los motores diésel de inyección directa, dicha cámara se encuentra ubicada en la cabeza del pistón.
- **Relación de compresión (rc):** Es la relación de los volúmenes de aire antes y después de la compresión. Los motores Diesel de los tractores tienen una relación de compresión que varía entre 16:1 a 22:1.

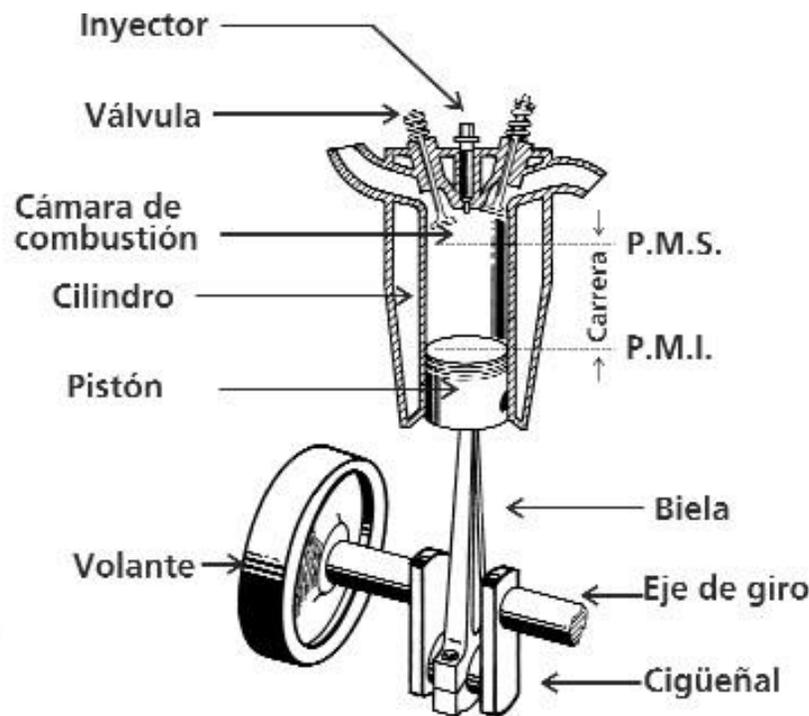


Fig. 1: Corte esquemático de un motor diésel de cuatro tiempos

Fuente: Di Prinzio et al. (2010)

I.2.2 Ciclo diésel de cuatro tiempos

En la generalidad de los casos los tractores cuentan con motores diésel con un ciclo de cuatro tiempos (admisión, compresión, expansión y escape), tal como se detalla en la Figura 2. La operación de estos es muy similar a la de los motores nafteros, con la diferencia más significativa que el combustible enciende espontáneamente, cuando es inyectado durante la compresión, sin requerir el uso de bujías.

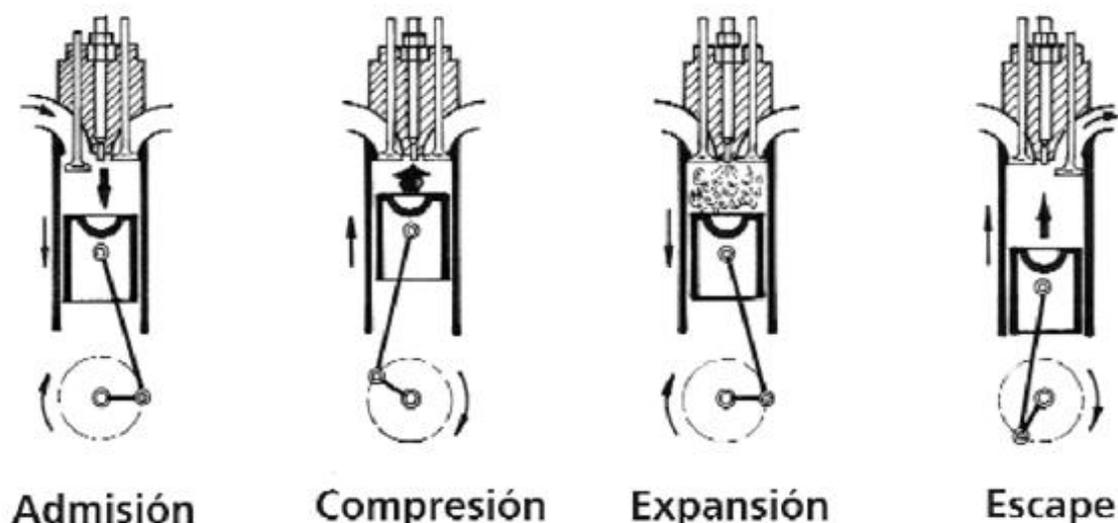


Fig. 2: Funcionamiento del motor diésel de cuatro tiempos

Fuente: Di Prinzio et al. (2010)

Tal como lo describe Di Prinzio et al. (2010, pág. 18 - 19): En cada ciclo el pistón realiza cuatro carreras y el cigüeñal cumple dos vueltas. Por lo observado, cada válvula se abre una sola vez en todo el ciclo; ello implica que el árbol de levas debe dar una vuelta por ciclo. Las válvulas no se abren ni se cierran en el momento exacto en que el pistón llega a los puntos muertos, sino que existen avances o retrocesos, tanto en la admisión como en el escape. El grado de desfase o cruce de válvulas lo determina cada fabricante, con la finalidad de optimizar el funcionamiento de su motor.

Para mejorar la funcionalidad se utilizan motores de varios cilindros, los que se numeran de adelante hacia atrás. En el caso de un motor de cuatro cilindros, cuando los pistones 1 y 4 están en el punto muerto superior, los pistones 2 y 3 estarán en el punto muerto inferior, pero todos en una fase distinta. En la media vuelta siguiente ocuparán la posición inversa.

Los fabricantes de motores ordenan la combustión de los cilindros con el propósito de regularizar la marcha, disminuir los esfuerzos sobre los cojinetes y mejorar la circulación del aire y los gases en los múltiples de admisión y escape. Un orden habitual de combustión para un motor de cuatro tiempos y de cuatro cilindros es: 1; 3; 4; 2. De esta manera, en cada media vuelta del cigüeñal habrá un cilindro en expansión, es decir, realizando el tiempo motor. El cigüeñal recibe energía en forma puntual durante su giro. Por lo tanto, necesita la incorporación del volante, que acumula energía y la entrega para que puedan cumplirse los tiempos restantes.

I.3 Funcionamiento termodinámico del motor diésel

Todos los procesos termodinámicos que se dan en la naturaleza son procesos irreversibles, efectuándose espontáneamente en una dirección, pero no en otra. Por ejemplo, el flujo del calor de un cuerpo caliente a uno más frío es irreversible. Según el enunciado del segundo principio de la termodinámica ninguna máquina puede tener rendimiento 100% (Blas y Fernández, 2014). Una máquina térmica es un dispositivo que, operando de forma cíclica, toma del calor de un foco caliente, realiza un cierto trabajo (donde una parte del cual se emplea en hacer funcionar la propia máquina) y entrega calor de desecho a un foco frío, normalmente el ambiente. Cuanto mayor es la diferencia de temperaturas entre ambas fuentes, mayor es el rendimiento termodinámico de la máquina, o sea, mayor será la cantidad de trabajo obtenido a partir de una cierta cantidad de calor aportado. Las máquinas térmicas requieren un fluido hacia y desde el cual se transfiere este calor mientras experimentan un ciclo. A este fluido se le conoce como fluido de trabajo y lo constituyen los gases de combustión.

Para entender el funcionamiento del motor diésel de cuatro tiempos desde el punto de vista termodinámico, es necesario realizar una aproximación teórica, considerando para ello su funcionamiento ideal. En el cual se hacen algunas simplificaciones, como suponer que, en el fluido de trabajo, el aire es puro y se comporta como un gas perfecto.

I.3.1 Ciclo diésel ideal

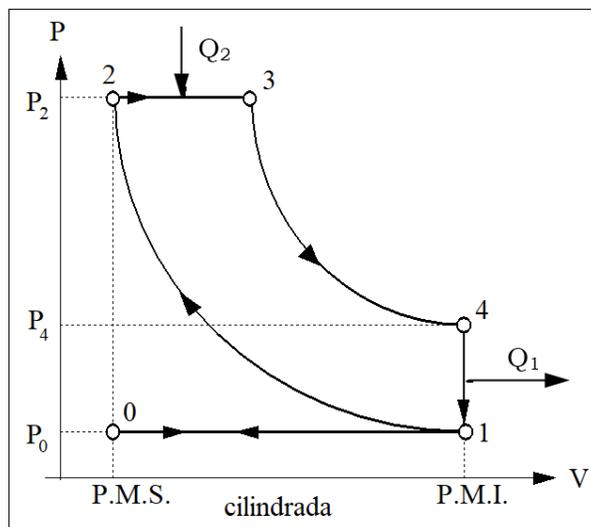


Fig. 3: Ciclo diésel Ideal

Fuente: Draghi y Filgueira (2015)

El principio de funcionamiento de los motores diésel consiste en admitir la mayor cantidad de aire como sea posible, comprimirlo suficientemente como para generar una presión y temperatura tales que, al introducir combustible finamente pulverizado, se combustione rápidamente y producto de la misma se genere trabajo mecánico sostenido en el tiempo. Para ello es necesario que ocurran una serie de transformaciones termodinámicas del fluido que en el caso del ciclo diésel ideal (ver Figura 3) son:

- **0-1.- Admisión (Isobárica):** La válvula de admisión se abre instantáneamente en el PMS y mientras el pistón desciende hacia el PMI admite el aire desde el exterior, de manera que durante la admisión se supone que el cilindro se llena totalmente de aire que circula sin rozamiento alguno por los conductos de admisión. Se considera entonces que la presión se mantiene constante e igual a la presión atmosférica.

- **1-2.- Compresión (Adiabática):** Una vez que el pistón llega al PMI se cierra la válvula de admisión y comienza nuevamente el ascenso del pistón. Durante esta carrera el aire es comprimido hasta ocupar el volumen correspondiente a la cámara de combustión. Esta transformación es adiabática, es decir sin intercambio de calor con el medio externo, por realizarse en un tiempo muy corto. La temperatura alcanzada al finalizar la compresión supera los 600 °C debido a que el volumen del aire que entra se reduce significativamente, alcanzándose la temperatura necesaria para producir la autoinflamación del combustible, sin necesidad de chispa eléctrica. El aire se comprime desde un volumen V_1 , que incluye la cilindrada y la cámara de combustión, hasta uno V_2 , que sólo expresa la cámara de combustión, según lo que se denomina relación de compresión: $rc = V_1/V_2$. Dado que no hay combustible en el cilindro durante la mayor parte de la carrera de compresión, no puede haber preignición y la relación de compresión (rc) es ser mayor que en un motor a nafta. Esto mejora la eficiencia y asegura un encendido confiable al inyectarse el combustible. De este modo la eficiencia teórica del ciclo diésel idealizado es de 65 % a 70 %, mientras que la real es mucho menor, donde difícilmente alcance el 40%.

- **2-3.- Inyección y combustión (Isobárica):** La inyección de combustible a muy alta presión y finamente pulverizado, se produce cuando el pistón alcanza el PMS. El poder calorífico del combustible aporta el calor de entrada (Q_2) y la combustión se mantiene a presión constante. El punto V_3 (Figura 3) es donde comienza la verdadera expansión de los gases, con marcada caída de la presión y gran aumento de volumen, ya que el pistón desciende hacia el punto muerto inferior.

- **3-4.- Expansión (Adiabática):** Terminada la combustión, el pistón desciende hacia el PMI y la presión alcanzada actúa sobre la superficie del pistón generando la fuerza necesaria para producir trabajo (éste es el único tiempo activo del motor). Al igual que la compresión, se supone que se realiza sin intercambio de calor con el medio exterior (muy rápida), por lo que se considera una *transformación adiabática*. La presión interna desciende a medida que el cilindro aumenta de volumen.
- **4-1.- Primera fase del escape (Isócora):** En el PMI (punto 4) se abre instantáneamente la válvula de escape y se supone que los gases quemados salen tan rápidamente al exterior, que el pistón no se mueve, se puede considerar que la transformación que experimentan es una a volumen constante. La presión en el cilindro baja hasta la presión atmosférica y una cantidad de calor Q_1 no transformado en trabajo, es entregado a la atmósfera.
- **1-0.- Segunda fase del escape (Isobárica):** Los gases residuales que quedan en el interior del cilindro son expulsados al exterior por el pistón durante su recorrido (1-0, Figura 3) hasta el PMS. Al llegar a él se supone que de forma instantánea se cierra la válvula de escape y se abre la de admisión para iniciar un nuevo ciclo. Como se supone que no hay pérdida de carga debida al rozamiento de los gases quemados al circular por los conductos de escape, la transformación (1-0, Figura 3) puede ser considerada como *isobárica*.

I.4 Conceptos generales del motor diésel

I.4.1 Par motor

En los MCI la combustión de la mezcla combustible-aire, genera un aumento de la presión y temperatura en el interior de los cilindros del motor. Esta presión interior produce a su vez una fuerza de empuje sobre el pistón que lo desplaza generando el clásico mecanismo de biela-manivela de los MCI alternativos (Figura 4), donde el movimiento de traslación del pistón en el interior del bloque del motor se transforma en un movimiento circular de giro del cigüeñal.

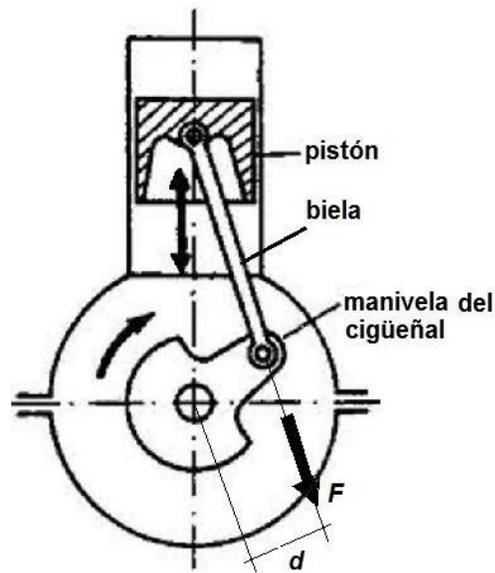


Fig. 4: Mecanismo biela-manivela en el par motor

Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn63.html>

Como la fuerza se aplica a una determinada distancia del eje del cigüeñal, esto genera una fuerza de rotación denominada par motor. De esta manera, el par motor o "torque" (T) es el producto de la fuerza aplicada (F), de empuje a los cilindros, por la longitud de la manivela (d), o sea la distancia al eje geométrico de giro del árbol del cigüeñal (Fórmula 1). Pudiéndose expresar en Newton metro (N.m) o bien en kilogramo fuerza metro (kgf.m), teniendo en cuenta que 1 Kgf.m equivale a 9,8067 N.m

$$T = F \times d$$

Fórmula 1

I.4.2 Potencia

Tal como lo describe Di Prinzio et al. (2010, pág. 26 - 27): El par motor provoca la rotación del cigüeñal, y la velocidad de funcionamiento del motor estará en función de la cantidad de combustible inyectado. El par motor y el régimen de funcionamiento definen la potencia de un motor. En función de la magnitud de estos parámetros se determinan las características de utilización de un motor. En el caso del tractor, por estar diseñado para realizar trabajos en un medio agrícola, las características de su motor definirán un bajo régimen de funcionamiento, pero con un par motor elevado, si se los compara con motores diseñados para uso vehicular.

La potencia puede ser interpretada como la capacidad de realizar un trabajo mecánico en un lapso de tiempo. En la práctica, si un tractor es capaz de efectuar el mismo trabajo que otro, pero en un tiempo menor, necesariamente habrá dispuesto de una potencia mayor. Un tractor dispone de potencia en dos sitios de entrega: en la toma de potencia y en la barra de tiro. Si se analiza la potencia disponible en la toma de potencia, ésta quedará definida por el régimen de funcionamiento y por el par motor empleado; en cambio, si se la considera en la barra de tiro, dicha potencia quedará definida por la velocidad de avance y por la fuerza de tracción.

La unidad más conocida para expresar la potencia es el **caballo vapor** (CV). Para su interpretación gráfica se puede indicar que 1 CV equivale a realizar el trabajo necesario para levantar un peso de 75 kilogramos, hasta 1 metro de altura, en el tiempo de 1 segundo (desplazamiento del punto de enganche desde el punto **a** hasta el punto **b**, Figura 5), ya que equivale a 75 kgm/s.

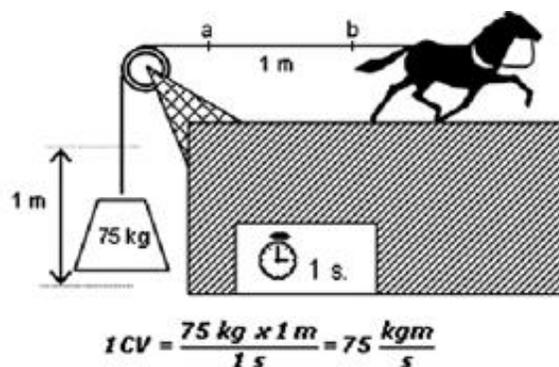


Fig. 5: Interpretación del concepto de potencia

El sistema internacional de unidades considera kilovatios (KW) como unidad de potencia (1 CV=0,735 KW)

Fuente: Di Prinzio et al. (2010)

I.4.3 Consumo específico de combustible (CE)

El consumo específico indica la eficiencia que tiene un motor para transformar carburante en energía mecánica, y se expresa como la cantidad de carburante que hay que consumir (en gramos) para obtener una determinada potencia en KW o CV, durante una hora (g/kWh o g/CVh). El consumo específico es una forma de expresar el rendimiento del motor, en el sentido que relaciona consumo con prestaciones. Cuanto menor sea el consumo específico de un motor, mejor es su rendimiento.

I.4.4 Combustión

Al decir combustión nos referimos a una reacción química exotérmica, de oxidación – reducción entre dos o más sustancias, combustible y comburente, que se realiza a gran velocidad. Particularmente nos referimos a la mezcla de aire más gasoil que han reaccionado al aplicarles una energía de activación. Así definimos tres importantes términos:

- **Combustible:** Sustancia reductora que reacciona con el oxígeno produciendo calor. Aporta toda la energía en la combustión. Se trata del gasoil formado por hidrocarburos (HC) o derivados del petróleo. Este compuesto por si mismos no puede utilizarse en el motor ya que necesita ir acompañado de aditivos para evitar la congelación, ayudar a la lubricación, etc.
- **Comburente:** Sustancia oxidante necesaria para que reaccione el combustible. Se trata del oxígeno (O₂) del aire, que se encuentra en una proporción del 21% frente al 79% de nitrógeno.
- **Energía de activación:** Mínima cantidad de energía necesaria para que se produzca la reacción en cadena. Calor generado por compresión.

I.4.5 Gases de combustión (Gases de escape)

En la Figura 6 se muestra un detalle de la composición de los gases de escape del motor diésel.

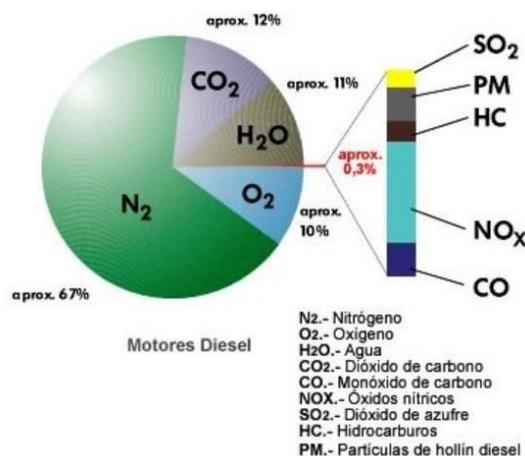


Fig. 6: Composición de los gases de escape en un motor diésel

Fuente: <https://lubrikado.wordpress.com/2014/02/18/mejorar-el-combustible-en-cinco-quimicos/>

En los motores de combustión interna y de encendido por compresión (diésel), la mezcla de aire y combustible se realiza directamente en el cilindro, donde el combustible se inyecta después de haber introducido y comprimido el aire. Los gases de escape generados en el proceso de combustión se denominan gases de combustión. Podemos distinguir entre una combustión rica (exceso de combustible) o una combustión pobre (exceso de oxígeno), siendo esta última la que habitualmente se produce. Como consecuencia de ese exceso de O_2 se originan nuevos productos. Estas emisiones se componen de una mezcla compleja de gases y de partículas de diésel (DPM), que pueden tener distinta acción sobre el ser humano:

Componentes inofensivos:

- **Dióxido de carbono (CO_2):** El anhídrido carbónico, aunque no es nocivo para la salud, cada vez está siendo más regulado y es importante también tenerlo en cuenta. Su contenido en el aire ambiente es sólo del 0,03%. Concentraciones en el aire inhalado superiores al 15% pueden producir la pérdida de conciencia en las personas. Este es un gas incoloro e insípido, con un gusto ligeramente ácido. El mismo se genera en todos los procesos de combustión y durante la respiración. Debido a su propiedad de filtrar el calor radiante, es una contribución importante al efecto invernadero, el cual es responsable del calentamiento global que estamos viviendo. A diferencia del vapor de agua, este gas no es fácil de eliminar, ni transformar en la atmósfera, además de que desde la Revolución Industrial del siglo XIII solo se ha hecho que aumentar. De hecho, según Gómez (2020), la concentración actual de CO_2 en la atmósfera es de 410 ppm, alrededor de un 45% superior a la existente antes de la era industrial (unas 280 ppm).
- **Hidrógeno y vapor de agua (humedad):** El hidrógeno contenido en el combustible se une con el oxígeno del aire para formar agua. Dependiendo de la temperatura de los gases de combustión, aparece como humedad (vapor) de estos (a altas temperaturas) o como condensado (a bajas temperaturas).
- **Oxígeno (O_2) y Nitrógeno (N_2):** Como ya es sabido, el aire se compone primordialmente por dos gases: nitrógeno y oxígeno. Su proporción volumétrica es de 79% de N_2 y 21% de O_2 . Mientras que el oxígeno es indispensable para la combustión y una parte de este pasa directamente a los gases de escape al no reaccionar con el combustible, el nitrógeno no se combina casi con nada y es expulsado al exterior del cilindro tal cual ha entrado. Solo una muy pequeña cantidad reacciona con el O_2 para formar óxidos de nitrógeno.

Componentes Nocivos:

- **Monóxido de carbono (CO):** El monóxido de carbono es un gas tóxico, incoloro e inodoro. Se genera en gran medida como consecuencia de la combustión incompleta del combustible fósil. El CO es, en general, inocuo para las personas porque rápidamente se une con el oxígeno del aire para formar CO₂. En recintos cerrados, sin embargo, el CO es extremadamente peligroso, ya que por ejemplo en el hombre puede fijarse a la hemoglobina, molécula encargada de transportar el oxígeno desde los pulmones a las células del organismo, provocando la transformación irreversible en carboxihemoglobina, incapaz de cumplir esa función. Por ello, concentraciones de CO en el ambiente superiores al 0,3 % en volumen resultan mortales. (Rodríguez, Serrano, y Vela 2018).
- **Hidrocarburos (HC o C_xH_y):** Los hidrocarburos son un amplio grupo de compuestos químicos formados exclusivamente por carbono e hidrógeno. Las combustiones incompletas son una fuente particular de emisiones de HC (mezclas pobres en oxígeno). Dependiendo de su estructura molecular, estos gases presentan diferentes efectos nocivos, pudiendo ser cancerígenos e irritantes, y también contribuyendo al efecto invernadero. Ejemplos de HC incluyen metano (CH₄), butano (C₄H₁₀), benceno (C₆H₆), benzopireno (C₂₀H₁₂), etc. El potencial total de compuestos orgánicos volátiles en los gases de combustión normalmente se describe como HC total o C_xH_y total.
- **Óxidos de nitrógeno (NO y NO₂, fórmula total NO_x):** Los óxidos de nitrógeno son conocidos como NO_x, que constituyen principalmente al óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂). Estos resultan al combinarse el oxígeno del aire y el nitrógeno, tanto del aire como del combustible, debido a las altas temperaturas y presiones, que se alcanzan dentro de la cámara de combustión. En los motores diésel se forma primordialmente NO, puesto que su cinética química es dominante frente a la del NO₂, pero en ocasiones, aparecen cantidades considerables de NO₂ debido a la conversión de NO a NO₂ en zonas de baja temperatura, y con cantidades de O₂ importantes. Ambos óxidos son tóxicos y sus principales efectos se resumen a continuación:

- Los gases de NO_2 pueden reaccionar con el vapor de agua del aire, transformándose en ácido nitroso (HNO_2) y en ácido nítrico (HNO_3), que son responsables de la formación de lluvia ácida, al igual que los óxidos de azufre. Asimismo, pueden reaccionar con la luz ultravioleta de los rayos solares, que, junto con los hidrocarburos ligeros no quemados, forman smog fotoquímico, lo cual contribuye al calentamiento global. Este gas en particular es muy corrosivo, y es un peligroso veneno que irrita el aparato respiratorio, pudiendo dañarlo gravemente o reducir su resistencia a enfermedades infecciosas (cuando su nivel es superior a 600 mg/m^2). Es de color marrón rojizo y de un olor penetrante.
- El NO está estrechamente relacionado con la reducción del ozono (O_3) en la estratosfera, lo cual provoca que la radiación ultravioleta llegue con mayor facilidad a la superficie terrestre. Es un gas asfixiante, incoloro, inodoro e insípido
- **Dióxido de azufre (SO_2):** El anhídrido sulfuroso es un gas incoloro, tóxico con un olor picante. Se produce como resultado de la oxidación del mayor o menor volumen de azufre contenido en el combustible diésel como impureza. En combinación con agua o condensado, se forman ácido sulfuroso (H_2SO_3) y ácido sulfúrico (H_2SO_4), ambos relacionados con los diversos tipos de deterioro medioambiental a la vegetación y edificios (lluvias ácidas).
- **Sustancias sólidas (polvo, hollín):** El componente principal de los gases de diésel es el hollín o carbonilla (60%-80%). Esto es el humo que se ve cuando sale del tubo de escape. La característica principal de las emisiones diésel es que se producen partículas en una proporción 20 veces superior a la de los motores de gasolina. Estas partículas están compuestas de carbono elemental, compuestos orgánicos absorbidos por el gasoil y el aceite lubricante, sulfatos del azufre del gasoil y trazas de componentes metálicos. La mayoría del material formado de partículas de diésel (DPM), consiste en partículas muy pequeñas que se inhalan fácilmente, pudiéndose depositar en la parte baja de los pulmones, donde ocasionan varios efectos perjudiciales en la salud.

I.4.6 Caracterización de los tractores de la Norpatagonia

En cuanto al tipo de tractor en función al sistema de apoyo, en casi la totalidad de los modelos, estos son de rueda (no oruga), así como en su gran mayoría de tracción trasera simple.

En cuanto al tipo de rodado lo más común es que sean tractores estrechos (fruteros o viñateros), con dos ejes rígidos, con distinto diámetro de rueda (ruedas traseras de mayor diámetro), y que sean de pequeña dimensión para permitir el tránsito por las calles de los cultivos leñosos, como frutales o viñas.

Tomando datos del último censo Nacional Agropecuario (CNA, 2018) se observa que, de un total de 6.798 tractores, casi el 80% de los tractores de la zona Norpatagónica (comprendida por las provincias de Río Negro y Neuquén) superan el periodo de 15 años de edad, tal como se muestra en la Figura 7. En lo que respecta a la escala de potencia, se observa que la mayor proporción se encuentra en el estrato de menos de 75 cv, representando aproximadamente un 83% del total de maquinaria disponible, si se considera a su vez el estrato de más de 15 años de edad, según se muestra en la Figura 8.

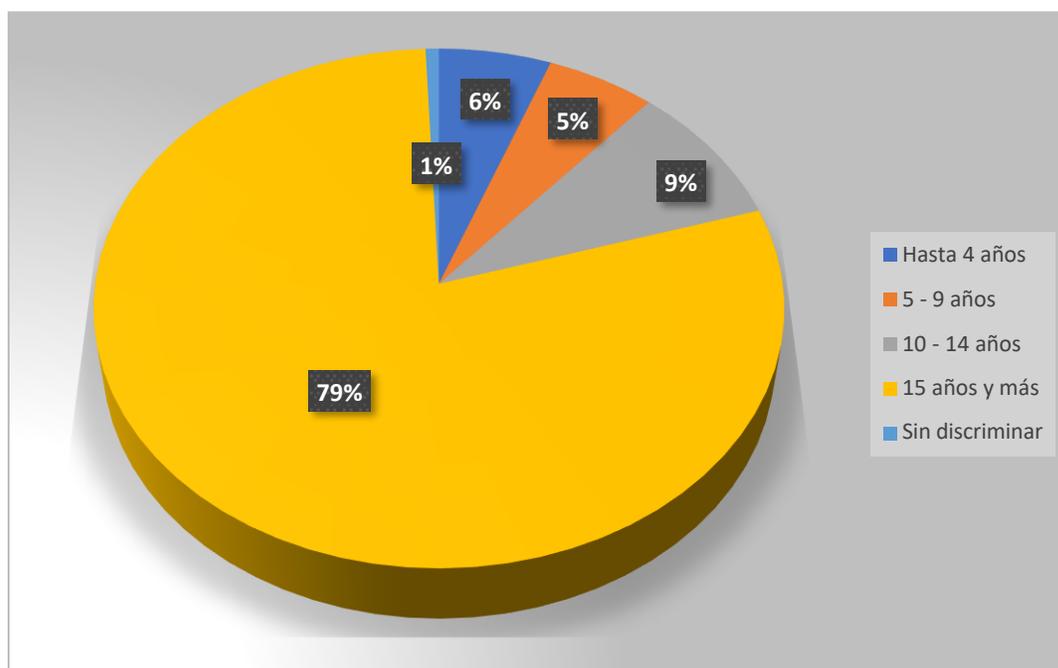


Fig. 7: Proporción de tractores según su edad en la Norpatagonia

Fuente: elaboración propia a partir de resultados de CNA 2018

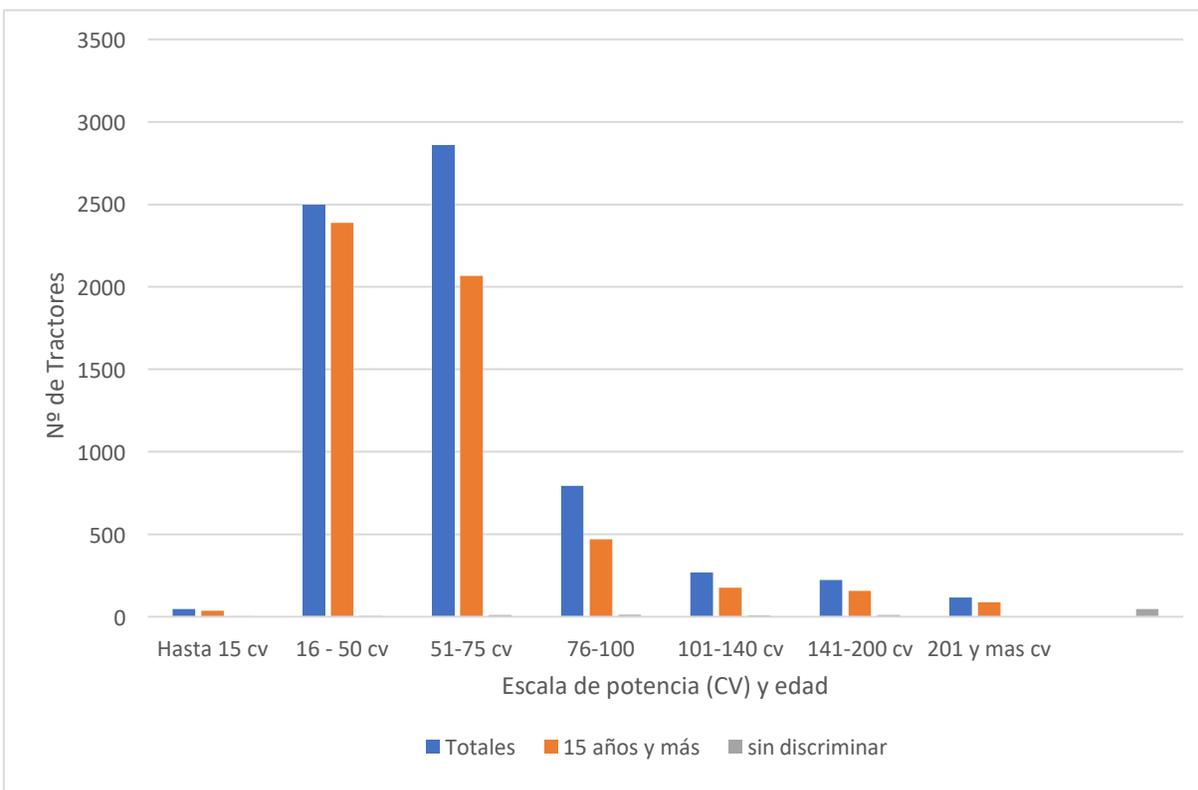


Fig. 8: Número de tractores por escala de potencia (CV) y edad en la Norpatagonia

Fuente: elaboración propia a partir de resultados de CNA 2018

I.4.7 Marco normativo

En el marco del cumplimiento de las normas de emisión de gases contaminantes, el control de los límites de estos en Argentina, tiene su inicio en Ley de Tránsito y Seguridad Vial N° 24.449, Dec. 779/95, siendo la Secretaria de Recursos Naturales y Ambiente Humano (actual Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable), la encargada de expedir el certificado de aprobación en lo relativo a emisiones de gases contaminantes, ya sea tanto para los fabricantes o importadores de nuevos modelos de automotores.

Para toda configuración de vehículos livianos con un motor de ciclo diésel, se establecían los límites de emisiones de gases de escape que se detallan a continuación en la Tabla 1:

Contaminante	Valor Limite hasta el 01/01/1996	Valor Limite hasta el 01/01/1998	Valor Limite hasta el 01/01/1999	Valor limite a partir del 01/01/1999
Monóxido de carbono	24.0 g/km	12.0 g/km	6.2 g/km	2.0 g/km
Hidrocarburos	2.1 g/km	1.2 g/km	0,5 g/km	0.3 g/km
Óxido de nitrógeno	2.0 g/km	1.4 g/km	1,3 g/km	0.6 g/km
Material Particulado	-	0.373 g/km	0.16 g/km	0.124 g/km

Tabla 1: Evolución de los límites de emisiones según Ley Nº 24.449

Fuente: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/recurso/30389/dto779-1995-anexo1/htm>

Bajo esta ley, a partir del año 1995, se van adoptando las distintas normativas de la CEE (Comunidad Económica Europea), denominadas normas EURO, a través de las nuevas resoluciones reglamentarias y según el siguiente detalle (Vasallo, 2018):

- A partir del 01/01/1995 EURO I (Dec. 779/95) Directivas 88/77/CEE
- A partir del 01/01/2004 EURO II (Res. Ex SAYS 1270/ 2002) Directivas 88/77/CEE
- A partir de 01/01/2006 EURO III (Res SAYS 731/ 2005) Directiva 99/96/CE
- A partir de 01/06/2009 EURO IV (Res SAYS 731/ 2005) Directiva 2005/55/CE
- A partir de 01/01/2016 EURO V (Res SAYS 1464/ 2014) Directiva (2005/55/CE)

Siendo este un programa de control de la contaminación del aire, que año a año va sumando nuevas reglas, con mayor exigencia para reducir las emisiones de gases contaminantes en los vehículos nuevos, tal como se detalla a continuación en la Tabla 2 para la CEE:

Norma Euro	Fecha entrada en vigor	CO (g/km)	NO _x (g/km)	PM (g/km)
Diesel				
Euro I	Julio 1992	3,16	-	0,18
Euro II	Enero 1996	1,0	-	0,08
Euro III	Enero 2000	0,64	0,50	0,05
Euro IV	Enero 2005	0,50	0,25	0,025
Euro V	Septiembre 2009	0,50	0,18	0,005
Euro VI	Septiembre 2014	0,50	0,08	0,005

Tabla 2: Evolución de los límites de emisiones según Normas Euro

Fuente: https://www.cadenadesuministro.es/wp-content/uploads/2013/05/Estudio_Emisiones_Derivadas.pdf

El actual programa al que esta adherido Argentina, Euro V, supone una disminución de la cantidad de óxido nitroso autorizado emitido por los vehículos de motor diésel, hasta los 180 mg/km, con una reducción del monóxido de carbono hasta 500 mg/km y de la materia particulada, hasta los 5 mg/km.

Con la norma Euro V, además de cumplir con las exigencias legislativas de esta norma, las nuevas modificaciones de los motores tienen como objetivo disminuir el consumo de combustible en un mercado cada vez más competitivo. El tratamiento posterior de los gases es el recurso más importante en la adecuación del motor a las exigencias de la nueva legislación. Así se adoptan dos tipos de nuevas tecnologías de acuerdo a la categoría del producto: EGR (Recirculación de Gases de Escape) para motores livianos y SCR (Reducción Catalítica Selectiva) para motores medianos y pesados. En el caso de los vehículos que adoptaron el EGR estos se basan en el uso del DOC (Catalizador de Oxidación de Diesel) y el DPF (Filtro de Partículas Diesel). El objetivo del EGR es reciclar los gases del escape por la recirculación en la admisión para disminuir la temperatura en la cámara de combustión y reducir así la formación de NOx (Óxidos de nitrógeno). El DOC es un catalizador que promueve la oxidación de los gases contaminantes, y el DPF tiene por objetivo absorber partículas, principalmente de carbono.

Por otro lado, el sistema SCR, conocido también como DEF (Fluido de Escape Diesel), y que es una tecnología ya preparada incluso para cumplir con la norma EURO VI, su finalidad es la de reducir la emisión de NOx a través de la reacción en una solución sintética de urea/agua (AdBlue[®], AUS 32 o ARLA 32) de los gases de escape, que produce como resultado nitrógeno y agua. La adopción del SCR exigirá que se forme una red de abastecimiento de AdBlue[®], que contará con un depósito propio junto al motor. Toda esta moderna tecnología funcionará en su plenitud únicamente cuando se utilicen combustibles de calidad, con bajo contenido de azufre. Por lo tanto, los motores EURO V deben ser abastecidos como mínimo con Diesel S50 (50 PPM).

Actualmente los vehículos nuevos, incluido los vehículos agrícolas, no conformes con la normativa Euro V, tendrían prohibido su ingreso y su venta en nuestro país, pero las normas nuevas no son aplicables a los vehículos que ya están en circulación. En estas normas no se obliga el uso de una tecnología en concreto para limitar las emisiones de contaminantes a los motores ya en uso.

A su vez, si se tiene en cuenta la modalidad más reciente, Euro VI, al menos en Argentina todavía no se encuentra definitivamente instaurada, con excepción de algunos vehículos, especialmente de carga, que adoptaron este estatuto. De todas maneras, en determinados casos dependerá del

origen de fabricación del rodado correspondiente, para incorporar las normativas Euro necesarias.

En lo que respecta a la inspección vehicular agrícola, en la actualidad, en nuestro país, no existe ningún tipo de control o exigencia a la maquinaria que está en uso en el campo. El mantenimiento para asegurar el buen funcionamiento de los MCI de los tractores es una responsabilidad exclusiva de cada usuario o productor.

Capítulo II - Sistema G-P (Gillier-Pantone)

II.1 Introducción

Ante la necesidad actual de utilizar los MCI, como parte de su evolución tecnológica, se han realizado diversos desarrollos para mejorar su desempeño. Tecnologías simples que involucran el uso del agua junto con los combustibles tradicionales, han hecho posible atenuar la emisión de gases contaminantes y reducir su consumo.

El sistema Gillier-Pantone nace como una necesidad de mejorar el rendimiento de los MCI, constituyendo una tecnología insipiente. A nivel mundial se han reproducido los experimentos de manera empírica del diseño original propuesto por Paul Pantone, realizándole algunas modificaciones, y donde se ha evidenciado una mejora notable en la combustión y por tanto en el rendimiento general del MCI. (Tapia, 2012)

II.2 Antecedentes – Hidroinyección y sistema Gillier-Pantone

Según Langlois (2008), el aumento del rendimiento de los motores térmicos con el uso de agua es más antiguo que la utilización del hidrógeno. De hecho, se remonta a finales del siglo XIX, donde se utilizaba principalmente para controlar la combustión en los motores de alta relación de compresión, lo que eliminaba los golpes responsables de encendidos no deseados, al inyectar una pequeña cantidad de agua directamente en los cilindros junto con el combustible.

Cuando un motor térmico, funciona a alta velocidad y alta potencia, la temperatura máxima en las cámaras de combustión puede alcanzar los 2200 °C. A menudo esto induce explosiones muy violentas del combustible en el momento equivocado del ciclo del motor, lo que puede llegar a destruirlo. Este fenómeno de detonación espontánea, se puede controlar inyectando agua en los motores, haciendo que bajen su temperatura. Por tanto, es posible hacer que un motor funcione a alta potencia sin correr el riesgo de destruirlo.

El primer fabricante de motores que realizó un estudio detallado del rendimiento de un motor realizando hidroinyección fue Pierre Clerget. Este ingeniero francés construyó, en 1901, un motor experimental de triple inyección. Gracias a la inyección de agua, Clerget pudo duplicar la potencia de un motor diésel, reducir el smog emitido y suavizar el régimen del motor. Para los motores diésel estos ensayos eran sólo una curiosidad de laboratorio en ese momento y no fue hasta fines de la década de 1920 cuando su desarrollo los convirtió en motores comunes.

Este conocimiento, que se había desarrollado en las primeras décadas del siglo XX, se utilizó en la Segunda Guerra Mundial para aumentar la potencia de los motores de las aeronaves, entre otros, pudiendo hacer que despegaran en distancias más cortas. Por ejemplo, hacia el final de la segunda guerra, el avión F4U Corsair, tenía inicialmente un motor de 1850 CV, que elevó su potencia a 2450 CV cuando fue equipado con un sistema de inyección de agua, utilizado en el momento que el motor estaba a pleno régimen.

Según Langlois (2008), un testimonio muy interesante que demuestra los efectos positivos de la hidroinyección, es el del ingeniero francés agrícola-ganadero, Jean Jacques Olivier, quien en 1942, conducía a la edad de 14 años, un tractor McCormick-Deering de 1929 (ver Figura 9), equipado con tres depósitos de combustible: uno para gasolina utilizada para arrancar y dar tiempo para calentar el motor, otro para el queroseno (aceite de la lámpara de la época), que era el combustible principal, y un tanque de agua que era usado para aumentar la potencia y trabajar mucho más tiempo (ver Figura 10).

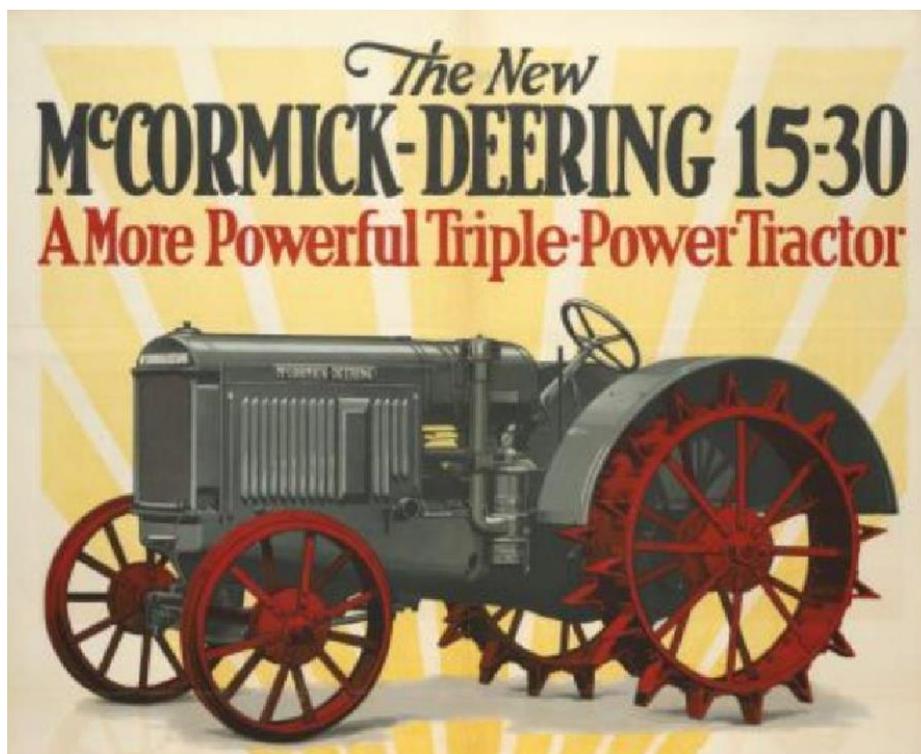


Fig. 9: Tractor McCormick-Deering modelo 1929

Fuente: <https://www.wisconsinhistory.org/Records/Image/IM4254>

Testimonio del Sr. Olivier (80 años):

"Tenía un tractor McCormick-Deering 15 - 30 de aceite y agua como combustible, modelo 1929, con tres tanques; uno para aceite (de 18 galones), uno para agua (de 9 galones) y uno pequeño para gasolina.

Comenzando con gasolina y cambiando a aceite unos minutos más tarde. Tan pronto como se le pedía al tractor que hiciera esfuerzo, se abría el grifo de agua. El poder parecía aumentar, las llamas exhaladas por los dos caños de escape cambiaban de rojo oscuro, a un azul claro y el ruido de fondo del motor cambiaba de registro. Con el aceite solo, no hacíamos el día; con agua podríamos continuar hasta altas horas de la noche.

Fue en 1942 y ya disfrutábamos de la economía. Había dos carburadores muy similares, uno para el aceite y el otro para el agua, cuyos flujos se unían en un Venturi de succión. Su ajuste requería un cierto tacto. El colector de admisión estaba incrustado en el colector de escape, y por la noche, con el máximo esfuerzo, se podía ver rojo oscuro".

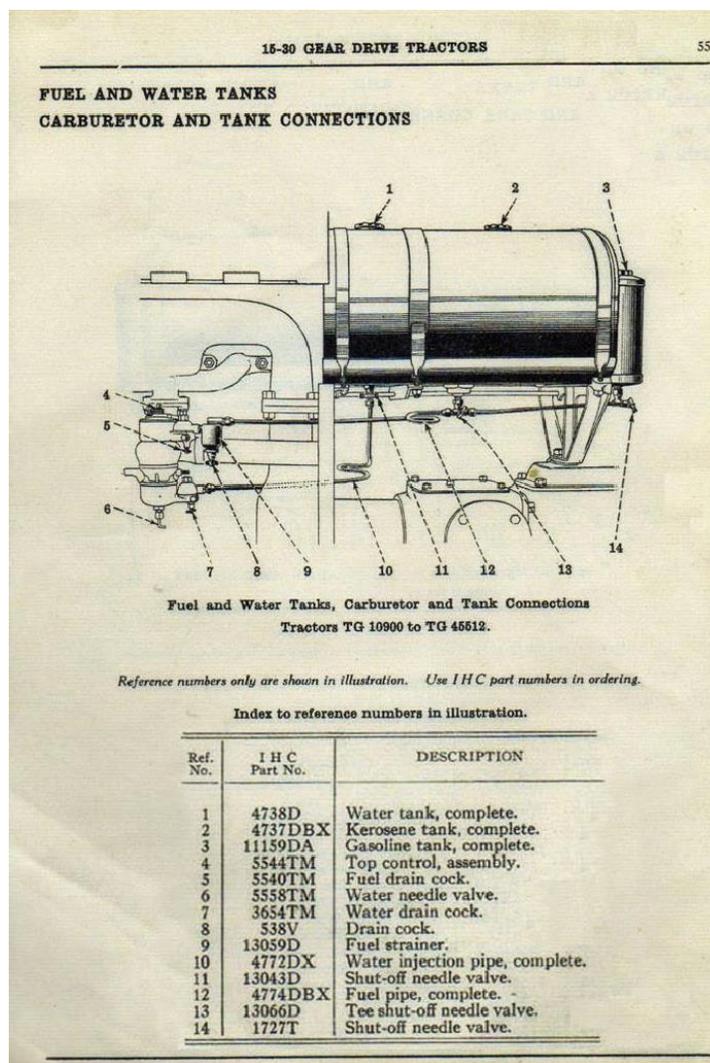


Fig. 10: Circuito de combustibles (extraído del manual del Tractor McCormick-Deering)

Fuente: <https://sites.google.com/site/vehiculevert/economiseur-de-carburant/information/-dopage-a-l-eau-l-histoire>

Básicamente, este sistema de hidroinyección consistía en pulverizar una muy pequeñísima cantidad de agua en la cámara de combustión. Al mezclarse con el combustible, las altas temperaturas provocaban la disociación molecular del agua en el momento de la explosión, lo que contribuía a incrementar el octanaje de la mezcla y otorgarle más potencia al motor. A su vez, la explosión, al ser mucho más eficiente, reducía el consumo y emitía menos gases contaminantes. Uno de los pioneros en la aplicación de la hidroinyección para cualquier tipo de automóvil fue el norteamericano Pat Goodman, que en 1978 circulaba con un Ford Fiesta de su propiedad, al que le había instalado un prototipo de hidroinyección con el que aseguraba lograr una reducción del consumo de hasta un 50%.

En la misma época en que Pat Goodman desarrollaba su invento, un ingeniero argentino, que también se entusiasmaba con la idea de desarrollar un dispositivo de hidroinyección que sirviera para cualquier clase de vehículo. Desde entonces Jorge Fioramonti, se dedicó a perfeccionar el sistema. Ayudado por el avance tecnológico de los microprocesadores, en la actualidad ha conseguido una precisa regulación de la dosis de agua, junto con el aire, que ingresa en la cámara de combustión, y a lo largo de todo el registro de aceleración del MCI. Ubicada en la localidad bonaerense de Roque Pérez, su empresa **Hidroinyección Fioramonti**, con su primer patente en 1989, ha instalado el sistema en todo tipo de vehículos, desde motocicletas hasta grandes camiones y colectivos (ver Figura 11), donde muchos de ellos circulan desde hace más de tres décadas por las calles de esa ciudad. Con un aval de más de 290.000 vehículos equipados a la fecha, entre sus logros ha obtenido una reducción del consumo de combustible del orden del 10 al 25% y un aumento de la potencia del motor de alrededor de 10%. Además, la diminuta proporción de agua que entra en la cámara de admisión elimina los residuos carbonosos que quedan luego de la explosión anterior y permite que el recorrido del pistón sea más rápido, ofreciendo a su vez, una mayor vida útil del motor.



Fig. 11: Colectivo con sistema de hidroinyección Fioramonti

Fuente: <https://blog.nuestroclima.com/hidroinyeccion-motores-con-agua/comment-page-1/#comments>

Según Langlois (2008), la inyección de agua también se utilizó en los motores de los coches de carreras de F1, en la década de 1980, siempre para aumentar la potencia de los motores. Sin embargo, esto no fue la única virtud de la hidroinyección. La reducción del smog emitido por los MCI, así como la reducción de otras emisiones contaminantes fueron otros efectos cada vez más buscados.

Durante el año 1982, el ingeniero francés y dueño de un taller de reparaciones, Jean Pierre Chambrin, publica sus patentes WO/1982/003249¹ y WO/1982/00409² (ver Figura 12) “Un reactor para transformar la mezcla agua y carburantes en combustible”, basándose el concepto de utilizar el agua en forma de vapor, y no en estado líquido.

Chambrin podía haberse inspirado en un fenómeno descubierto en 1875 por los ingleses Armstrong y Thomasi. Éstos, al investigar accidentes producidos por descargas eléctricas en máquinas de vapor, comprobaron que un chorro de vapor arrastrando microgotas, y rozando una plancha de hierro, daba lugar a descargas eléctricas con chispas. Basándose en ese fenómeno idearon una especie de generador, en el que el vapor al pasar a través de unos tubos creaba cargas estáticas que producían chispas. El sistema Chambrin consistía en un haz de tubos y varillas en paralelo por el que pasaba una mezcla de vapor de agua y carburante, antes de su combustión. (Borras, 2009)

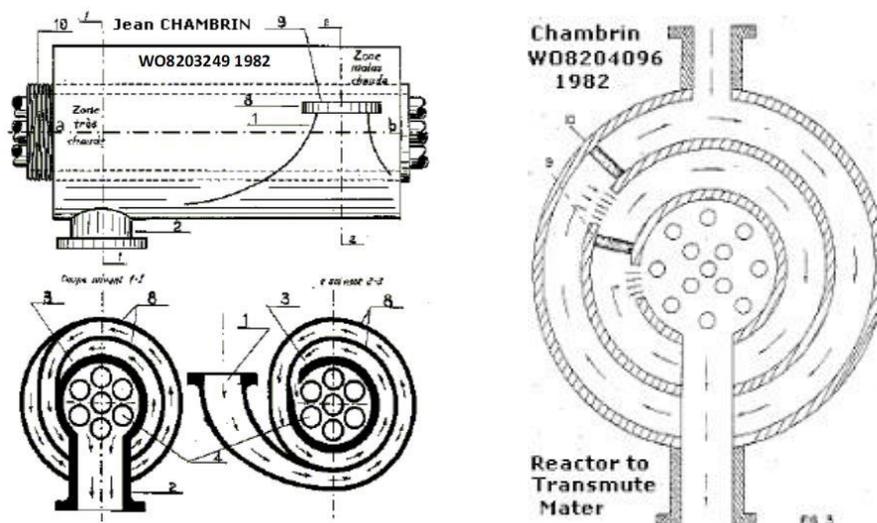


Fig. 12: Diagramas de dispositivos patentados por Jean Chambrin

Fuente: <https://pdfcoffee.com/motor-geet-pantone-pdf-free.html>

¹ https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=WO1982003249&tab=PCTDESCRIPTION&_cid=P20-KN0W5G-95582-1

² https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=WO1982004096&_cid=P22-KWV7OV-60264-1

Por ese entonces Paul Pantone, conociendo la patente de Chambrin, también desarrolló un dispositivo similar, simplificándolo con un solo tubo y varilla. Paul Pantone (Figura 13), norteamericano e ingeniero eléctrico de formación, comenzó su investigación en 1979, y después de muchos intentos fallidos, el 18 de agosto de 1998, patentó un artilugio que bautizó con el nombre de Procesador Multicarburente GEET (Global Environmental Energy Technology), también conocido como reactor de plasma. Las Patentes US 005794601A1³ y WO 9614501A1⁴ consistían en un reactor instalado en un MCI, que alteraba el sistema de admisión.

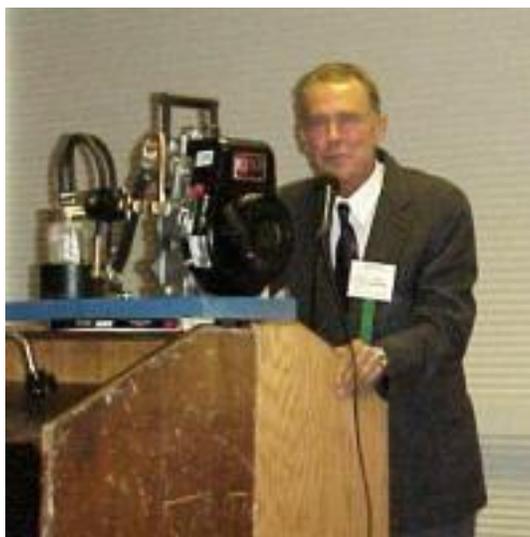


Fig. 13: Imagen del Ing. Paul Pantone

Fuente: <https://elpensante.com/el-motor-de-agua-de-paul-pantone/>

De la bibliografía recopilada de internet, se puede simplificar al sistema Pantone como se indica en el esquema de la Figura 14. Este dispositivo reemplaza el carburador y el tubo de escape en un MCI, y los combina en una sola unidad, donde existen varias válvulas, principalmente para permitir que el motor arranque con gasolina al inicio, y luego cambiar a una mezcla vaporizada de agua y combustible cuando el motor incrementa su temperatura.

El sistema Pantone completo se compone de un intercambiador de calor tipo doble tubo (tubos concéntricos), al cual se lo denomina reactor endotérmico, y de un recipiente que contiene una dosificación de mezcla agua-combustible, al cual se lo denomina Burbujeador. El funcionamiento consiste en aprovechar la energía calorífica, que normalmente se pierde en un motor convencional, de los gases de escape. A éstos se los hace circular por la región anular del reactor,

³ <https://patentimages.storage.googleapis.com/98/a4/68/a79a069d1013e3/US5794601.pdf>

⁴ https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=MX&NR=9703267A&KC=A&FT=D&date=19980131&DB=EPODOC&locale=en_EP

mientras que, por el tubo céntrico del reactor, en flujo a contracorriente, se hace circular el combustible, proveniente del burbujeador. El burbujeador tiene la finalidad de mezclar adecuadamente el agua con el combustible, y convertirlos de estado líquido a gaseoso, mediante el calor y la agitación provocada por los gases de escape. El combustible gasificado pasa por el reactor, que también está provisto de válvulas para la entrada del aire, con lo cual se dirigirá a la admisión del motor, consiguiendo el posterior funcionamiento del MCI. En síntesis, el sistema Pantone es un gasificador de combustible. (Tapia, 2012)

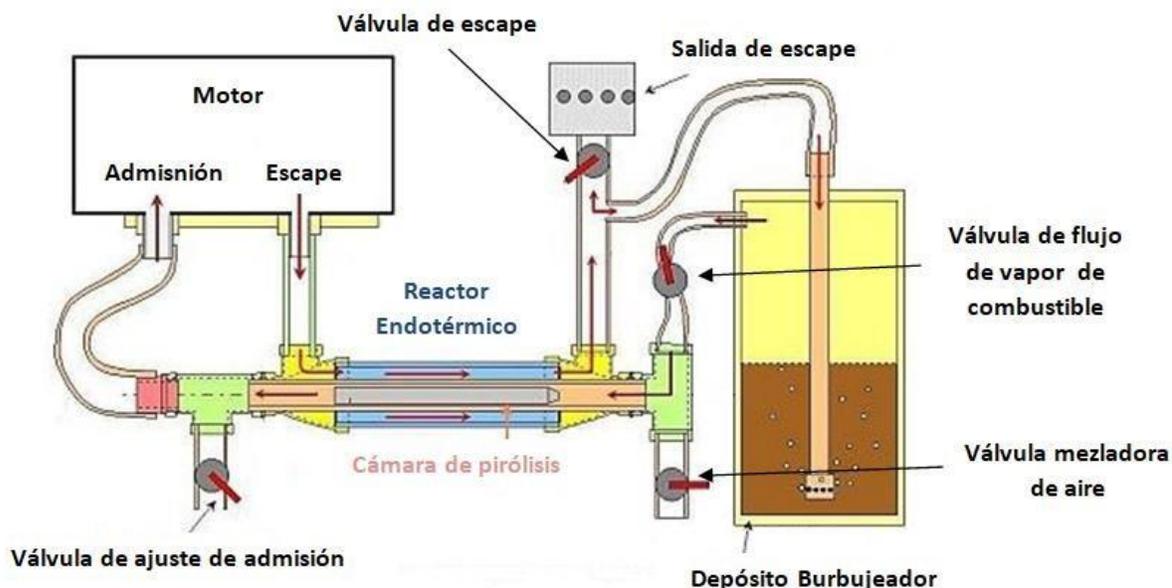


Fig. 14: Plano de GEET – Pantone

Fuente: <http://forum.2cv-legend.com/viewtopic.php?t=13429&p=148832>

Según Borrás (2009), el sistema GEET era visto como un sistema mixto, que podía utilizar una mezcla de carburante y agua, en la que ésta podía llegar a ocupar el 80 % de la mezcla. En lo que respecta al reactor del dispositivo (Figura 15), este constaba de un tubo de unos 40 cm de largo y de unos 30 mm de diámetro interior, dentro del cual se insertaba bien centrada, una varilla de acero de unos 27-28 mm de diámetro, de modo que quedara un espacio anular de 1 a 1,5 mm a su alrededor. Este tubo, a su vez, estaba rodeado de otro de mayor sección por el que pasaban los gases de escape, calentando el conjunto. La mezcla de agua en forma de vapor y pequeñas gotas, junto con el carburante, procedentes de un depósito de borboteo, pasaban a gran velocidad y describiendo un movimiento helicoidal por el espacio del tubo interno. Las gotas de agua al rozar con las paredes del conducto y de la varilla, generaban una especie de tormenta de chispas, inducidas por las cargas estáticas presentes, conformando algo parecido aun

plasma. Durante el funcionamiento, esta varilla se imantaba y al parar, también mantenía una imantación residual. De este modo el reactor era capaz de “digerir” cualquier carburante, por sucio que sea, como petróleo bruto, desechos de aceites de motor o de aceites de fritura, ya que actuaba como la función cracking de una refinería.

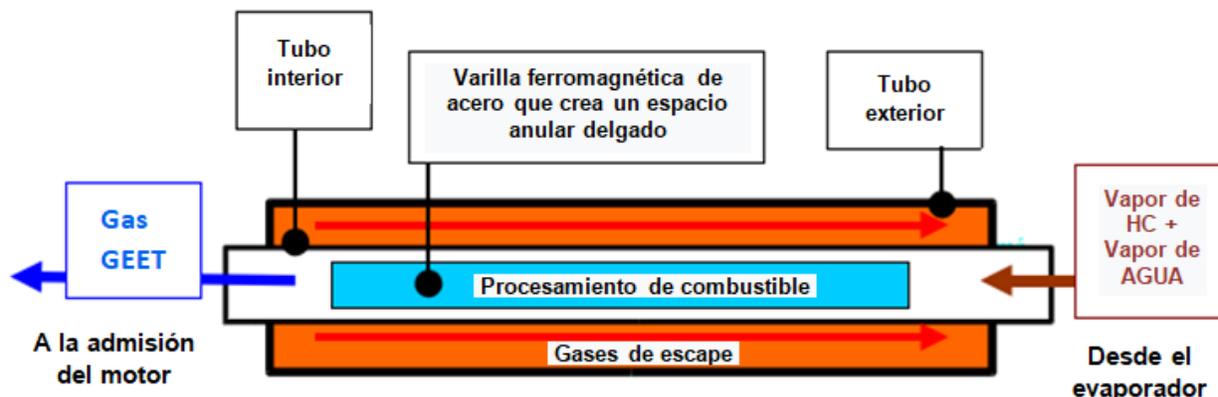


Fig. 15: Esquema tecnológico del reactor

Fuente: https://www.econologie.com/file/restricted/Rapport_complet_publie.pdf

Según Martz (2001), el reactor permitía que ocurra un proceso de reformado de hidrocarburos mediante una reacción químico-electromagnética. La principal ventaja de este proceso se evidenciaba en una fuerte limpieza de las cámaras de combustión, de hecho, la reacción rompía las moléculas de hidrocarburos en moléculas más pequeñas para obtener un gas más volátil, cuya combustión era más fácil (completa) y por lo tanto más limpia. Con ello se mejoraba la eficiencia del combustible y se podía reducir la emisión de gases contaminantes hasta en un 90%.

Paul Pantone fue probando este sistema en automóviles con distintos ensayos que duraron más de 10 años. Ante la falta de apoyo financiero, y convencido de su utilidad, hizo públicos los planos en internet en el año 1999, divulgando el procedimiento y facilitando instrucciones a través de distintos sitios de internet como: www.quanthomme.free.fr⁵, www.econologie.com⁶, etc.

De esta manera ha sido en Francia, en donde se ha replicado más el proceso Chambrin-Pantone, con modificaciones. Uno de los inconvenientes del sistema original Pantone, era la mezcla en un solo depósito de borboteo del agua y el carburante, de densidades y puntos de ebullición muy distintos, lo que impedía una mezcla regular en la admisión, y que además no era admisible legalmente, modificaciones que serían rechazadas en cualquier Inspección Técnica Vehicular (ITV). (Borrás, 2009)

⁵ <http://quanthomme.free.fr/pantone/FrancePMC.htm>

⁶ https://www.econologie.com/file/moteur_pantone/Rapport_complet_publie.pdf

En el año 2001 el agricultor orgánico del centro de Francia, Antoine Gillier, buscaba una forma de reducir el humo negro de sus tractores. Tras observar el funcionamiento del reactor Pantone en el sitio Quant'Homme y considerando que el sistema Pantone original, estaba diseñado para trabajar con motores de gasolina equipados con carburadores, Antoine, tiene la iniciativa de simplificar el sistema, haciendo que solo ingrese vapor de agua por el reactor, pudiendo adaptarlo de este modo a un motor diésel de un tractor, sin modificar el sistema de inyección de gasoil (Ver Figura 16).



Fig. 16: Antoine Gillier junto al primer tractor equipado con su invento en 2001

Fuente: <http://quanthomme.free.fr/pantone/realisations/details22.htm>

La adaptación de Antoine (Figura 17) consistía de un depósito (burbujeador) conteniendo solamente agua, en contacto directo con los gases del escape, al igual que el reactor. El vapor de agua originado en el burbujeador (por el calor de los gases) era conducido al reactor, y el gas originado en este último, a la entrada de admisión del motor. Regulando la aspiración, se conseguía el flujo deseado. La ventaja de esto era que todas las válvulas del sistema original habían desaparecido, ya que el combustible ingresaba constantemente al motor a través de los inyectores.

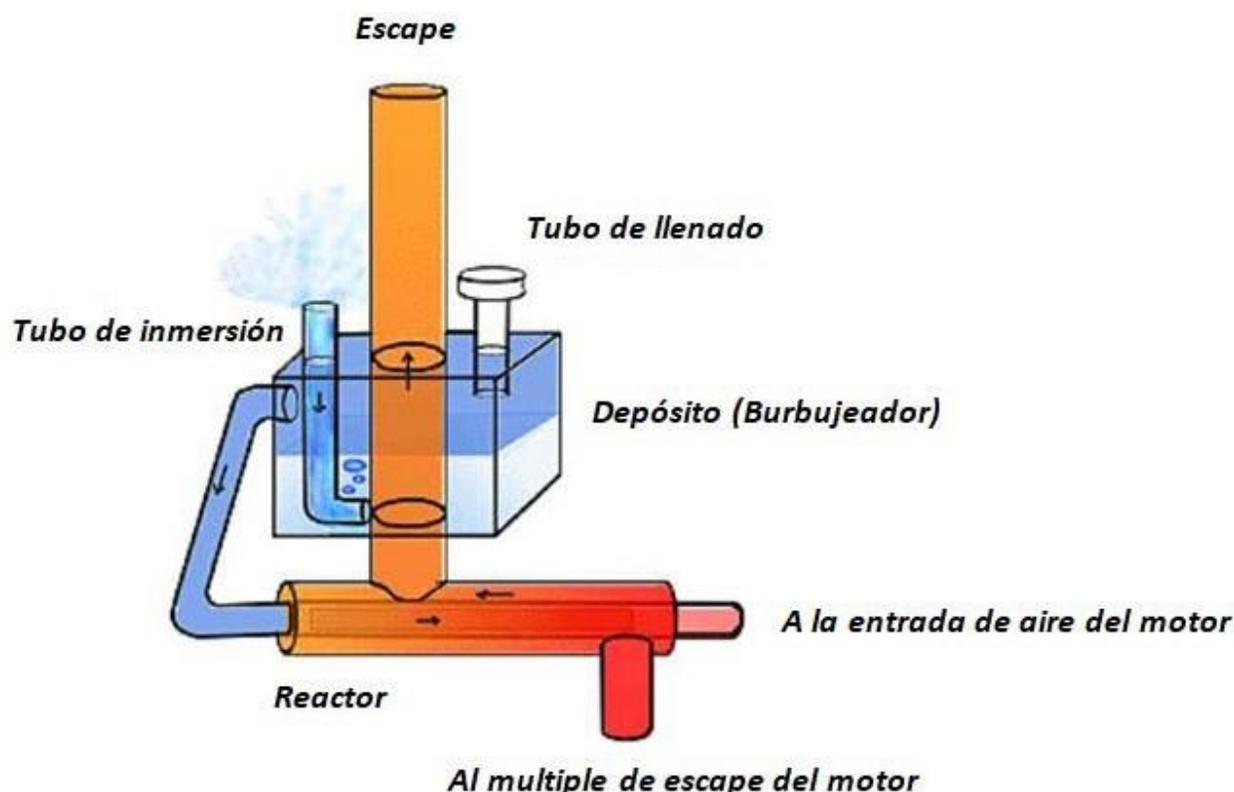


Fig. 17: Esquema del sistema Gillier-Pantone

Fuente: <https://www.econologia.net/a-sobre-kits-Gillier-pantone-vendidos/>

Según Soarès (2005), para que funcionara el reactor y el burbujeador, a diferencia de lo que ocurría en el sistema Pantone original, era necesario obtener un vacío en el reactor, bloqueando parcialmente la entrada de aire de la admisión del motor. Usando un sistema de geometría variable de sección de hasta $2/3$ se conseguía el efecto deseado. En cuanto al burbujeador, este operaba desde una entrada de aire en el exterior (tubo de inmersión) y por succión a través del reactor. Este sistema era sencillo y el motor no sufría ninguna modificación importante. Solo se modificaba el tubo de escape y se agregaba un accesorio a la entrada de admisión, lo que era interesante desde el punto de vista de la legislación.

La invención de Antoine quizás no era tan efectiva como con la mezcla carburante agua pasando por el reactor, pero el obtuvo un ahorro de combustible superior al 20%, junto con una desaparición total del humo negro. A partir de este resultado Antoine comunica los planos de su sistema a Bernadette y Jean Soarès, los fundadores y administradores del sitio Quant'Homme (www.quanthomme.fr). Estos últimos rápidamente ponen la información a disposición en su sitio y desde entonces han mantenido un registro de las múltiples reproducciones que se han realizado

en todo el mundo, con los testimonios de sus responsables sobre el ahorro de combustible logrado. De hecho, en año 2008, cientos de agricultores franceses equiparon sus tractores con este sistema, denominado Gillier-Pantone o sistema G-P, que generalmente les aportó entre un 20% y un 40% de economía de combustible diésel.

Según Borrás (2009), su adaptación a automóviles es más difícil por el poco espacio libre en el compartimiento del motor, pero aun así una cincuentena de coches, en su mayor parte Renault, Citroën, Peugeot y Mercedes, han informado de su instalación. Una de las condiciones para un correcto rendimiento del sistema, es un funcionamiento regular y seguido del motor, lo que en un tractor es normal, pero en un coche no tanto.

Aunque hay variabilidad en cuanto a los rendimientos obtenidos con la instalación del sistema G-P en cuanto al ahorro de combustible, la gran mayoría de las personas que lo acoplaron en sus motores MCI, concuerdan unánimes, en que hay una mejora considerable en la calidad de los gases de escape, y sobre todo en motores viejos con inyección defectuosa que emiten mucho humo, produciendo la total desaparición del mismo. La ausencia de carbonilla abrasiva que se logra tras su instalación, también prolonga la vida útil de los motores.

II.3 Teorías del funcionamiento del sistema Gillier- Pantone

El funcionamiento del sistema G-P, a la fecha es un tema que está en discusión, diversos autores han publicado los resultados de sus ensayos y sus conclusiones de lo que podría estar ocurriendo a nivel del reactor del equipo, el cual es considerado como el corazón del sistema. Algunas de esas consideraciones se detallan a continuación:

- Según Borrás (2009), la barra de acero del reactor se imantaba fuertemente sin necesidad de otro imán o solenoide, y conservaba una imantación residual. Esto indicaba que probablemente se producía una ionización de los vapores y el establecimiento de una circulación helicoidal de los mismos alrededor de la barra central. Esto se confirmaba, ya que después de varias horas de funcionamiento, la barra presentaba unas señales en espiral, que confirmarían la circulación vorticial de los gases, con una velocidad estimada de 1000 m/s. Además, también se observaba que, si se quitaba esta barra y se invertía su posición, el reactor dejaba de funcionar. El funcionamiento correcto, requería la presencia de micro gotas de agua arrastradas por el vapor. Un vapor limpio y seco, sin gotas, no era operativo. Las gotas eran necesarias para que al rozar con las superficies del tubo y de la barra, se carguen eléctricamente y se produjeran millones de chispas. Una

verdadera tormenta eléctrica en este espacio de 1 mm por donde circulaban los gases en un movimiento vorticial. Si realmente en el reactor se producía un plasma, lo que este fenómeno eléctrico hacía suponer, podían darse las circunstancias ideales para la disociación del agua en oxígeno e hidrógeno. Los plasmas son sistemas no lineales y alejados del equilibrio, que permiten la cohesión de la Energía del Punto Cero. Los vórtices también son capaces de cohesionarla, y aquí existía aparentemente una combinación de ambos.

- Según Langlois (2008), un papel interesante dentro del sistema G-P es el del **hidrógeno**, el que está presente en pequeñas cantidades, ya que todos los estudios realizados desde la década de 1970 muestran que este gas muy ligero reduce el consumo de combustibles. No es la energía del hidrógeno en sí lo que disminuye el consumo (este se produce muy poco), sino que el hidrógeno promueve una mejor combustión del combustible, debido a la mayor velocidad de propagación de su llama. El hidrógeno se origina a partir de las condiciones de temperatura y presión en los cilindros del motor diésel (temperatura máxima > 2000 °C y presión hasta 70 bares), las cuales son similares a las empleadas en las fábricas de producción de hidrógeno por oxidación parcial de combustibles fósiles (con temperaturas de 1200 a 1500 °C y una presión de entre 20 a 90 bares). Además, en estas plantas, los combustibles se mezclan con aire y vapor de agua, sin usar catalizadores. Por tanto, es factible que el vapor de agua inyectado en los cilindros de un motor diésel promueva la rápida producción de hidrógeno mediante una reacción similar. El hidrógeno producido actuaría entonces como catalizador para mejorar la combustión.
- Según Langlois (2008), otra vía interesante para tratar de comprender los sistemas de inyección de vapor de agua en los motores diésel, es **la alta inercia térmica de las moléculas de agua** que evita cambios bruscos de temperatura. Así, el hecho de introducir vapor de agua en los cilindros disminuirá la temperatura máxima de combustión, pero también evitará un enfriamiento demasiado brusco de los gases cuando el volumen de la cámara de combustión aumente repentinamente después de la explosión. Estas consecuencias se verificaron experimentalmente por Pierre Clerget, el famoso inventor del motor diésel francés de principios del siglo XX. Lo que permite que el vapor de agua se comporte de esta manera, es su capacidad para almacenar mucha energía en forma de rotación y vibración de sus moléculas. El vapor de agua permite que la temperatura de los gases en los cilindros del motor se mantenga en un valor elevado durante más tiempo, lo que da más tiempo para llevar a cabo una combustión completa del combustible y

asegurar un empuje mayor y uniforme de los pistones del motor. Por tanto, el vapor de agua actuaría como una bomba de calor que extrae la energía térmica perdida a través del tubo de escape para transformarla en energía útil que empuja los pistones con más fuerza, más tiempo y de manera más uniforme. Además, el hecho de que aquellos que hayan instalado un sistema G-P en su vehículo atestigüen un funcionamiento más suave del motor, confirma este empuje más uniforme sobre los pistones. La inercia térmica del vapor de agua, también tendría otra consecuencia beneficiosa para mejorar la eficiencia de un motor, que es la reducir las pérdidas térmicas en el bloque del mismo. Entonces, si evitamos que la temperatura suba demasiado con la ayuda del vapor de agua, necesariamente reducimos las pérdidas de calor en el bloque del motor y, por lo tanto, aumentamos la energía disponible para empujar los pistones.

Todas estas consideraciones sirven para comprender el funcionamiento de los MCI con inyección de vapor de agua, y es muy probable que los diversos mecanismos y reacciones en conjunto contribuyan a hacer más importantes los fenómenos observados.

Capítulo III – Diseño Experimental del sistema G-P

III.1 Búsqueda bibliográfica de planos

Partiendo de la premisa de construir un prototipo G-P, que sea adaptable a la mayoría de los tractores en uso de la Norpatagonia, se hace una búsqueda bibliográfica de planos o bosquejos que sirvan de punto de partida. A partir de las experiencias realizadas con el sistema G-P a nivel mundial y con la difusión de los resultados obtenidos, se accede a un plano básico de un prototipo desarrollado para funcionar en motores diésel de entre 30 a 80 CV (ver Anexo 1).

III.2 Relevamiento de materiales y construcción del equipo G-P

Basándose en el diseño y las especificaciones aportadas por el plano del Anexo 1, se procedió a determinar las partes constitutivas del dispositivo G-P para su posterior fabricación. Estos materiales con sus correspondientes costos, se detallan en la Tabla 3, que incluye referencias alfabéticas a las ilustraciones de las Figuras 18, 19 y 32.

Detalle de materiales y costos						
Ref. en figura	Cant.	Descripción	Función	Dimensión (mm)	Material	Costo (\$)
a	2	Cuadrados de chapa	Depósito de agua	250 x 250	Acero de 2 mm de esp.	3500
b	4	Rectángulos de chapa	Depósito de agua	350 x 250	Acero de 2 mm de esp.	
c	1	Rectángulo de chapa	Deflector	120 x 60	Acero de 2 mm de esp.	
d	1	Rectángulo de chapa a plegar (2 a 55 mm)	Cámara de gases de escape	165 x 350	Acero de 2 mm de esp.	
e	1	Caño	Tubo de llenado	200	Acero 3/4 Ø	950
f	1	Caño	Tubo de burbujeo	200	Acero 3/4 Ø	
g	1	Codo 90° H/h	Tubo de llenado		Acero 3/4 Ø	150
h	1	Caño exterior	Contener al Reactor	350	Acero inox. 1/2 Ø o 21.3 mm (grado 304L)	900
i	1	Caño interior	Reactor	100	Acero inox. 1/4 Ø o 13.7 mm (grado 304L)	700
j	2	Arandelas centradoras	Reactor		Acero Ø 17 y 3 mm de esp.	200
k	2	Arandelas centradoras	Reactor		Acero Ø 13 y 3 mm de esp.	200
l	1	Varilla central	Reactor	100	Acero Ø 6 mm	550
ll	2	Codos 90° H/h	Reactor		Acero inox. ½ Ø (grado 304L)	900
m	2	Unión Roscada M/espiga	Salida admisión		Bronce 1/2 Ø	650
n	1	Codos 90° M/h	Salida admisión		Bronce 1/2 Ø	350
ñ	1	Manguera	Salida admisión	800	Teflón 1/2 Ø	1200
o	2	Codos 90° M/h	Nivel de agua		Acero 5/8 Ø	400
p	2	Unión roscada M/espiga	Nivel de agua		Bronce 5/8 Ø	600
q	1	Manguera	Nivel de agua	320	Teflón 5/8 Ø	500
r	1	Cupla roscada H/h	Orificio de purgue		Acero 1/2 Ø	150
s	1	Tapón roscado	Purgue de depósito		Bronce 1/2 Ø	200
t		Caño	Gases de escape	1000	Acero 55 Ø	1500
u	1	Caño	Red. sección admisión	100	Caucho Ø interno 40 mm	400
Total (\$)						14.000⁷

Tabla 3: Detalle de materiales y costos del equipo G-P

Se construyó inicialmente el reactor según plano de Anexo 2 y Figura 18. Su ubicación particular en el interior del equipo, es determinante para que se comience el armado a partir del mismo. El sucesivo ensamblado de todas las partes se efectuó siguiendo las especificaciones del plano de despiece de la Figura 19, teniendo en cuenta de realizar las soldaduras en forma cuidadosa y verificando la estanqueidad de las mismas (para evitar el ingreso de los gases de escape y/o el agua del depósito a la admisión del motor).

⁷ Equivalente a ≈ 141 US\$ según cotización del dólar por Banco de la Nación Argentina al 14/05/2020: 99.00 \$/US\$ (Fuente: <https://www.bna.com.ar/Personas>)

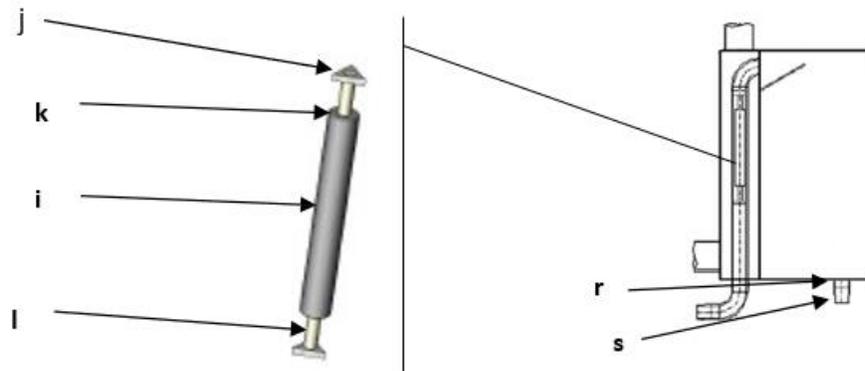


Fig. 18: Reactor de unidad G-P

Fuente: <https://quanthommesuite.pagesperso-orange.fr/imagesreal05/fichespadapte.pdf>

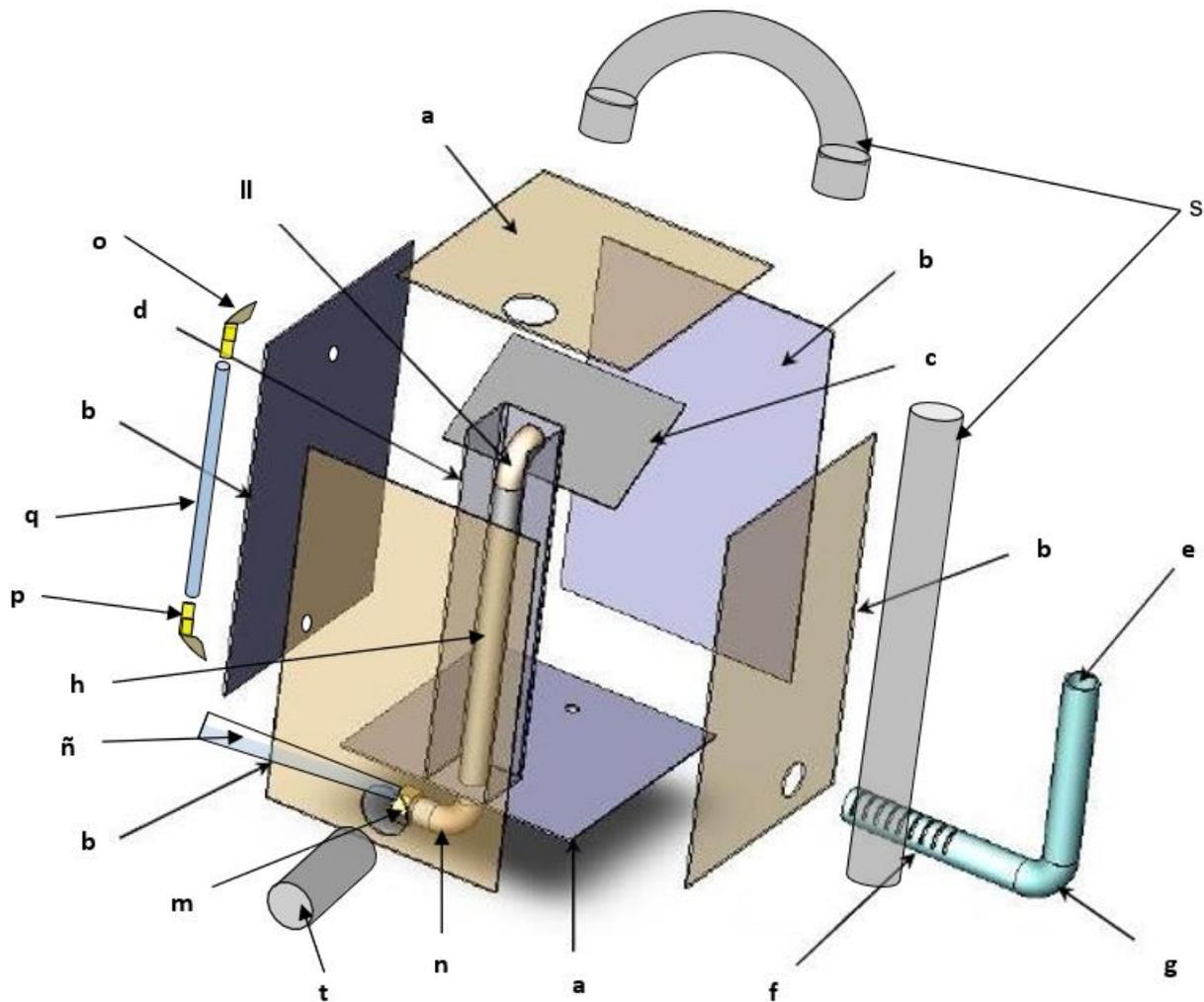


Fig. 19: Despiece de dispositivo G-P

Fuente: <https://quanthommesuite.pagesperso-orange.fr/imagesreal05/fichespadapte.pdf>

III.3 Relevamiento de variables a medir

Las variables principales a determinar son:

- ✓ El consumo de gasoil antes y después de acoplar el equipo G-P; Para ello se analizará el tiempo de operación del tractor que consume un volumen dado de combustible del MCI, funcionando bajo las mismas condiciones de carga.
- ✓ Gases de emisión producto de la combustión (NO y CO) y la temperatura de salida de los mismos.

III.4 Inventario de equipos e instrumentos

Tanto la construcción del sistema G-P, como las pruebas de funcionamiento y la experimentación, se llevaron a cabo en las instalaciones del taller metalúrgico Schwallier Hnos., ubicado en la localidad de Ingeniero Huego. En las mediciones se utilizaron equipos del taller, propios, aportados por personal docente de la cátedra de Mecanización de Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional del Comahue (FCA-UNCo) y pertenecientes a la empresa de seguridad e higiene industrial Inseco SRL, de Neuquén. Entre los equipos e instrumentos utilizados tenemos los que se detallan a continuación:

- **Cronómetro:** Utilizado para registrar el tiempo (segundos), de funcionamiento del motor en las diferentes pruebas efectuadas.



Fig. 20: Cronómetro

Fuente: Propia

- **Torquímetro portátil (Datum Electronics - PTO Serie 420):** Instrumento que nos permitió medir el par motor (N m) en la toma de potencia del tractor. *Especificaciones: Acople para toma de fuerza 1" 3/8 (de 35 mm de radio nominal) con 6 estrías; Velocidad de operación: 540 / 1.000 rpm de serie (hasta 3.000 rpm si es necesario); Mide torque hasta un máximo de 1.800 N.m; Precisión $\pm 0,1\%$.*

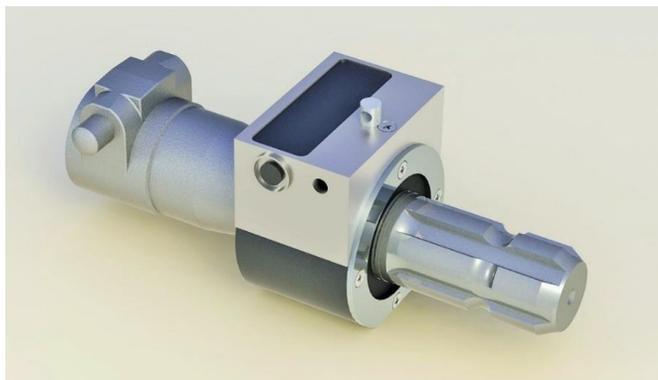


Fig. 21: Torquímetro portátil

Fuente: Propia

- **Analizador portátil de gases (Analizador de combustión Bacharach-PCA 2):** Instrumento provisto por Inseco SRL. El mismo nos permitió tomar registro de datos de monóxido de carbono (CO) en ppm, óxido nítrico (NO) en ppm y temperatura de los gases de escape en °C. *Especificaciones: Medición basada en función de sensores preinstalados: O₂ (de 0,1 a 20,9%); Temperatura del gas de descarga (de -20 a 1.200 °C); CO (de 0 a 4.000 ppm) y NO (de 0 a 3.000 ppm). Precisión: (O₂ $\pm 0,3\%$; CO ± 10 ppm y NO ± 5 ppm). Otros gases que se pueden medir, instalando los sensores adicionales son el NO₂ y SO₂*



Fig. 22: Analizador de gases

Fuente: Propia

- **Cámara digital (Canon SX500):** Para dejar constancia de los resultados obtenidos



Fig. 23: Cámara digital

Fuente: Propia

- **Tacómetro digital laser (Megalite DT-2234A):** Usado para contabilizar las revoluciones por minuto (rpm) en la toma posterior de potencia del tractor. Especificaciones: Rango de Testeo: 2,5 a 999,9 (r/min); Exactitud: 0.05%



Fig. 24: Tacómetro digital

Fuente: Propia

- **Herramientas varias (amoladora, soldadora MIG - MAG, nivel de burbuja, martillo, pinzas, calibre, etc.):** Usadas para construir el sistema G-P y montarlo al tractor. Todas provistas por taller metalúrgico Schwallier Hnos.



Fig. 25: Uso de herramientas varias

Fuente: Propia

- **Material volumétrico:** Para medir el consumo de combustible se utilizó una pipeta aforada de 50 ml, acondicionada en una caja de protección y diseñada por la cátedra de Mecanización de la FCA-UNCo. La misma posee llaves de paso, con conexiones de manguera flexible a depósito de combustible, bomba inyectora y bypass de retorno (Ver detalle en fotos de Anexo 5).



Fig. 26: Dispositivo para medir consumo de combustible

Fuente: Propia

- **Tractor:** Basándose en la caracterización regional de la Norpatagonia, se buscó para el ensayo un tractor cuyas prestaciones estuvieran dentro de lo que se considera como más representativas. El tractor que se utilizó fue un Massey Ferguson 1475 S viñatero, propiedad del Productor Santos José María, de la localidad de Ing. Huergo. Este modelo presentaba una antigüedad mayor a 20 años (considerada como periodo de vida útil), y una mecánica simple, sin asistencia electrónica, ni turbo compresor.



Fig. 27: Tractor MF 1475 S

Fuente: Propia

El tractor utilizado posee las siguientes características que se detallan en la Tabla 4:

Motor	Perkins A4-236 (de aspiración natural)
Ciclo	Diésel 4 tiempos
N° cilindros	4 en línea verticales
Diámetro x carrera (mm)	98 x 127
Cilindrada (cm3)	3860
Relación de compresión	16:1
Potencia (CV / kW a RPM)	75 / 56 a 2200
Par Máximo (Nm a RPM)	28,5 a 1400
Sistema de combustible	inyección directa
Bomba inyectora	Rotativa, con regulador mecánico
Tracción	4 x 2 trasera

Tabla 4: Ficha técnica del tractor MF 1475 S

Fuente: <https://pesadosargentinos.blogspot.com/2015/12/anexo-documentos-massey-ferguson-parte.html?m=1>

- **Pulverizadora:** Para realizar el ensayo, y simular una carga o trabajo, el tractor se utilizó acoplado con una pulverizadora hidroneumática marca Pazima, modelo MP11, del mismo propietario.



Fig. 28: Pulverizadora Pazima MP11

Fuente: Propia

- **Herramientas de Oficina:** Computadora (Software: Excel y Word de Microsoft, e InfoStat), calculadora, cuaderno de datos, etc.

III.5 Montaje del prototipo G-P

Una vez concluido con el trabajo de ensamblado y soldado de las partes de la unidad G-P (Figura 29), se procedió a acondicionar el MCI para poder acoplar dicha unidad en el tractor. Este montaje debe asegurar una buena fijación del equipo para evitar que las vibraciones originen futuras fugas en las uniones.

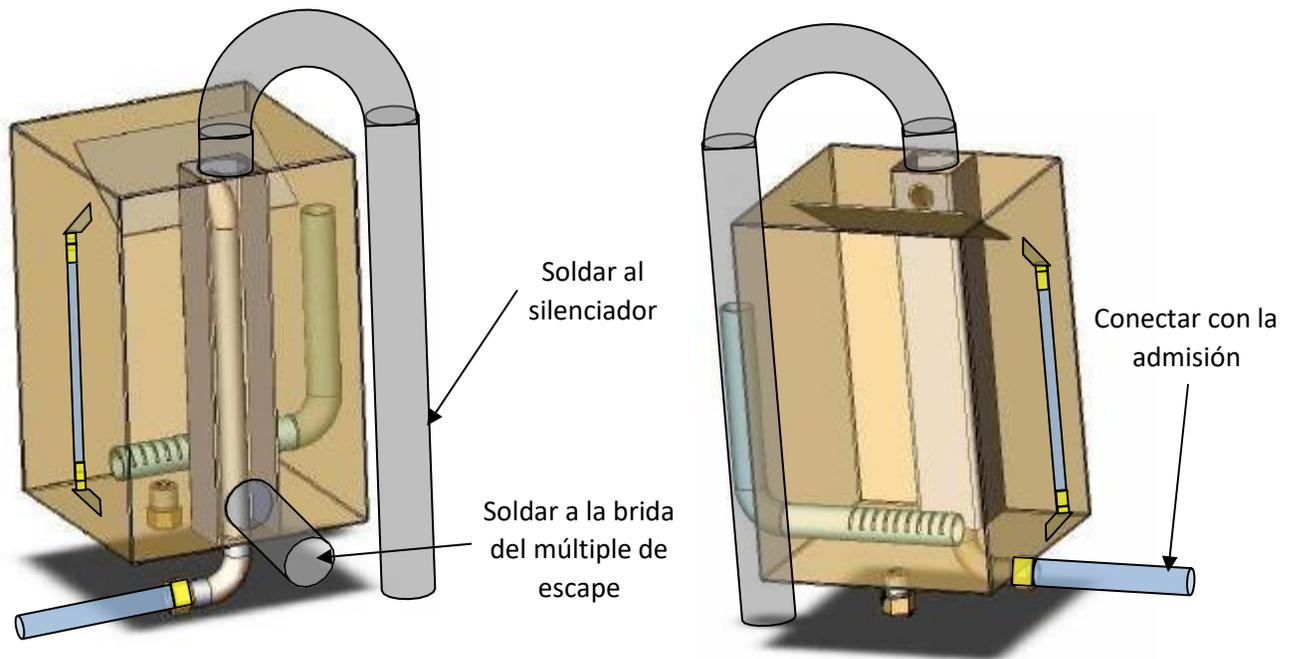


Fig. 29: Vista posterior y anterior del equipo G-P armado

Fuente: <https://quanthommesuite.pagesperso-orange.fr/imagesreal05/fichespadapte.pdf>

Los pasos que se siguieron para el montaje definitivo del equipo G-P al MCI del tractor son:

- 1- Cortar un tramo del caño de escape en la salida del múltiple, dejando el espacio necesario y que ocupará el dispositivo G-P.
- 2- Soldar la sección inmediata que sale del múltiple de escape (cerca de la brida) a la entrada de la unidad G-P en forma estanca, para poder conducir los gases del escape hacia el reactor y dejándolo a nivel (Figura 30).



Fig. 30: Montaje de unidad G-P (vista lateral)

Fuente: Propia

- 3- Soldar la salida de la unidad G-P al caño que conducirá los gases de escape hasta el silenciador (Figura 31 y Anexo 5).



Fig. 31: Montaje de unidad G-P (vista frontal)

Fuente: Propia

Perforar la manga que conecta el filtro de aire con la entrada de admisión y colocar un codo roscado (Figura 32). Conectar este último a la manguera que sale del reactor. Colocar en el interior de la manga de admisión un reductor de sección ($2/3$ del diámetro), para favorecer la succión a través del reactor.

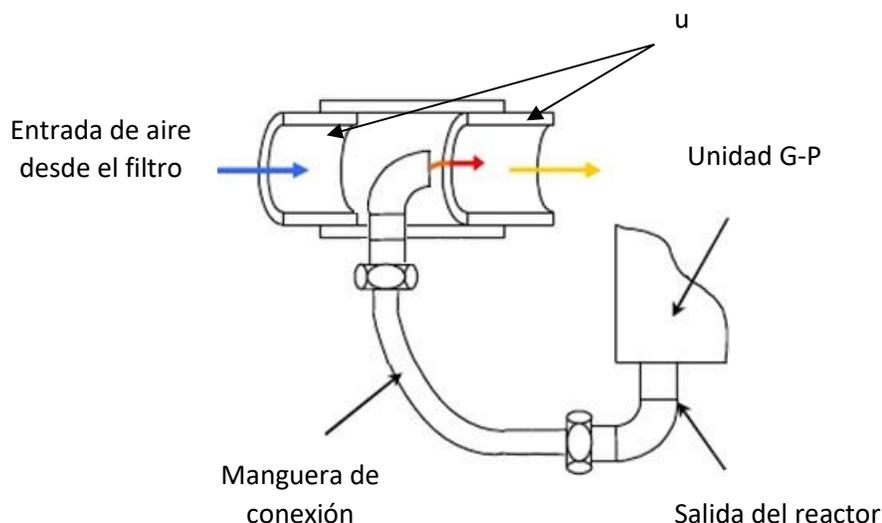


Fig. 32: Montaje de unidad G-P a la manga de admisión

Fuente: <https://quanthommesuite.pagesperso-orange.fr/imagesreal05/fichespapadapte.pdf>

- 4- Llenar el depósito con agua (preferentemente libre de sales para evitar la oxidación de los materiales) a través del tubo de llenado, hasta completar su capacidad máxima.

III.6 Diseño Estadístico de experimentación

El objetivo del diseño experimental es evaluar estadísticamente si hay diferencias significativas entre los ensayos con y sin el sistema G-P, funcionando bajo dos cargas de trabajo.

Partiendo de la unidad experimental de esta investigación que es el tractor y del factor de estudio que consiste en la tecnología a evaluar (variable independiente). Se planteó un diseño bifactorial, donde se realizarán repeticiones en dos demandas de potencia y se registraron los datos de las variables dependientes o de respuesta. El objetivo es comparar estas variables a partir de lo que se considera el tratamiento testigo o de referencia (sin uso del sistema G-P), con el tratamiento que si usa el sistema G-P. Para el análisis de los datos experimentales se recurre a la técnica de análisis de varianza factorial (ANOVA) de dos factores (uso de equipo y carga de trabajo) usando el programa InfoStat.

III.7 Mediciones

III.7.1 Tractor sin el sistema G-P

En primer lugar, se realizaron pruebas en el MCI del tractor funcionando en su forma convencional, es decir sin realizarle ninguna modificación, aplicándole solamente una carga constante a través del accionamiento de una pulverizadora frutal hidroneumática, mediante la toma posterior de potencia (TPP) y sin realizar desplazamiento de la misma. En el ensayo se consideró hacer uso de la pulverizadora a través de dos modalidades: *una en **condición de trabajo normal o de descarga de trabajo (DT: transmisión al ventilador en alta, con agitador conectado y sistema hidráulico a 400 libras de presión)** y la otra con **descarga libre (DL: transmisión al ventilador en alta, con agitador conectado y sistema hidráulico sin presión)***, para determinar así dos potencias de trabajo. Estas se calcularon con los datos registrados del régimen en la TPP (verificado con tacómetro digital y llevado siempre a 540 rpm para garantizar iguales condiciones de funcionamiento) y el torque demandado, utilizando para ello un torquímetro acoplado entre la TPP del tractor y el árbol cardánico de la pulverizadora.

Para el cálculo de potencia se utilizó la siguiente fórmula:

$$P(CV) = \text{Velocidad (RPM)} \times T \text{ (kgf.m)} / 716,2$$

Fórmula 2

Luego para medir el consumo (l/h) se utilizó una pipeta de doble aforo registrándose el tiempo en el que se consumen 50 cm³ de combustible. Relacionando el consumo con la densidad del gasoil (0,825 g/cm³ a la temperatura de trabajo) y la potencia demandada, se obtuvo el consumo específico (g/CVh), necesario para conocer el rendimiento entregado y también poder hacer futuras comparaciones. El combustible utilizado para el ensayo se corresponde con el "**Diésel 500**" perteneciente a la compañía YPF, cuyos análisis físico-químico se detallan en la siguiente Tabla 5.

Ensayos en D-500	Valor
Densidad a 15 °C	0,840 g/cm ³
Viscosidad a 40 °C	3,4 cSt
Número de cetano	51
Punto de inflamación	50 °C
Destilación 90%	350 °C
Biodiesel	10% Vol.
Azufre	470 mg/kg
Lubricidad (HFRR a 60 °C)	300 micrones
Color	Ámbar

Tabla 5: Análisis físico-químico del Diesel D-500 YPF

Fuente: <https://www.ypf.com/productosyservicios/Descargas/DIESEL-500-1.pdf>

De este modo en este proceso las variables controladas son: el volumen de gasoil (50 cm³) y las dos potencias de trabajo constantes (**DT – DL**) de 26,0 y 20,2 CV (ver Tabla 6), que son demandadas respectivamente. En cuanto a las variables de respuesta son: el tiempo de operación (**t**), el consumo específico (**CE**), los gases generados a partir de la combustión del motor (**CO y NO**) y la variable temperatura de los gases del escape (**T**). Para llevar a cabo el correspondiente ensayo se realizaron las mediciones en 4 repeticiones, para cada una de las potencias demandas. Ver los valores obtenidos en la Tabla 7.

III.7.2 Tractor con sistema G-P

Para el funcionamiento del tractor con el sistema G-P se seleccionaron las mismas variables a medir que el apartado anterior. En este caso el tractor se dejó funcionar en condición de trabajo bajo carga (**DT**) durante una hora, previo a realizar las correspondientes mediciones del ensayo, con el objetivo lograr una posible limpieza de la cámara de combustión y mejorar con ello el rendimiento del MCI. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 8.

Capítulo IV - Análisis de los resultados:

IV.1 Análisis de los datos experimentales

En la Tabla 6, se presentan los datos registrados en la TPP del tractor de: Velocidad (rpm), Torque (N.m) o (Kf.m) y Potencia obtenida (CV).

Ensayo	Velocidad TPP (rpm)	Lectura de Torque (N.m)	Conversión de Torque (Kf.m)	Potencia obtenida (CV)
DL (sin carga)	540	262,7	26,79	20,2
DT (bajo carga)	540	338,1	34,48	26,0

Tabla 6: Resultados de las dos potencias de trabajo

Usando la Fórmula 2, se determinó de esta manera que la potencia demandada para cada modalidad fue: para **DL = 20,2CV** y para **DT = 26,0 CV**.

En la Tabla 7 se presentan los datos registrados con el uso del tractor y sin la incorporación del sistema G-P. En ella se detallan: el tiempo de funcionamiento (t), el Consumo obtenido (l/h), el Consumo Especifico (CE), el Monóxido de Carbono (MO), el Óxido Nítrico (NO) y la Temperatura de los gases de escape (°C). Los valores obtenidos se corresponden a 4 repeticiones efectuadas por tipo de ensayo (DL o DT) o las dos potencias de trabajo que son equivalentes (20.2 o 26,0 CV respectivamente).

G-P	Ensayo	Potencia (CV)	t (seg.)	Consumo (l/h)	CE (g/CVh)	CO (ppm)	NO (ppm)	T (°C)
Sin G-P (Testigo)	DL (sin carga)	20,2	28,75	6,26	256	216	1794	276
			28,55	6,30	257	217	1720	265
			29,10	6,19	253	198	1693	252
			28,42	6,33	259	238	1745	255
	DT (bajo carga)	26,0	24,63	7,31	232	221	1779	266
			24,42	7,37	234	253	1790	263
			24,56	7,33	233	223	1782	277
			24,83	7,25	230	255	1853	288

Tabla 7: Resultados obtenidos sin sistema G-P

En la Tabla 8 se presentan los mismos datos registrados en la Tabla 7, aunque en este caso el tractor ya se encuentra equipado con sistema G-P.

G-P	Ensayo	Potencia (CV)	t (seg.)	Consumo (l/h)	CE (g/CVh)	CO (ppm)	NO (ppm)	T (°C)
Con G-P	DL (sin carga)	20,2	33,02	5,45	223	188	1262	245
			32,32	5,57	227	179	1362	232
			32,45	5,55	227	197	1298	252
			32,76	5,49	224	186	1352	253
	DT (bajo carga)	26,0	27,56	6,53	207	158	1707	275
			27,46	6,55	208	195	1633	254
			27,51	6,54	208	175	1643	258
			27,25	6,61	210	182	1698	272

Tabla 8: Resultados obtenidos con sistema G-P

A partir de los datos relevados en la Tabla 7 y Tabla 8 se confecciona una nueva tabla (Tabla 9) para readecuar al formato requerido por el programa InfoStat.

Uso de G-P	Carga	CE (g/CVh)	CO (ppm)	NO (ppm)	T (°C)
No	No - DL	255,70	216	1794	276
No	No - DL	257,50	217	1720	265
No	No - DL	252,63	198	1693	252
No	No - DL	258,67	238	1745	255
No	Si - DT	231,89	221	1779	266
No	Si - DT	233,89	253	1790	263
No	Si - DT	232,55	223	1782	277
No	Si - DT	230,03	255	1853	288
Si	No - DL	222,64	188	1262	245
Si	No - DL	227,46	179	1362	232
Si	No - DL	226,55	197	1298	252
Si	No - DL	224,40	186	1352	253
Si	Si - DT	207,24	158	1707	275
Si	Si - DT	207,99	195	1633	254
Si	Si - DT	207,62	175	1643	258
Si	Si - DT	209,60	182	1698	272

Tabla 9: Resultados obtenidos según carga y uso del sistema G-P

El análisis de varianza (ANOVA) para cada una de las variables de respuesta se realiza en forma individual, tal como se detalla a continuación:

- Análisis de Consumo Específico (CE):

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CE	16	0,99	0,99	0,85

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4751,09	3	1583,70	414,46	<0,0001
G-P	3007,52	1	3007,52	787,08	<0,0001
Carga	1696,17	1	1696,17	443,89	<0,0001
G-P*Carga	47,40	1	47,40	12,40	0,0042
Error	45,85	12	3,82		
Total	4796,94	15			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=3,01162

Error: 3,8211 gl: 12

G-P	Carga	Medias n	E.E.	
Si	Si	208,11 4	0,98	A
Si	No	225,26 4	0,98	B
No	Si	232,09 4	0,98	C
No	No	256,13 4	0,98	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 10: Resultados del ANOVA para la variable CE

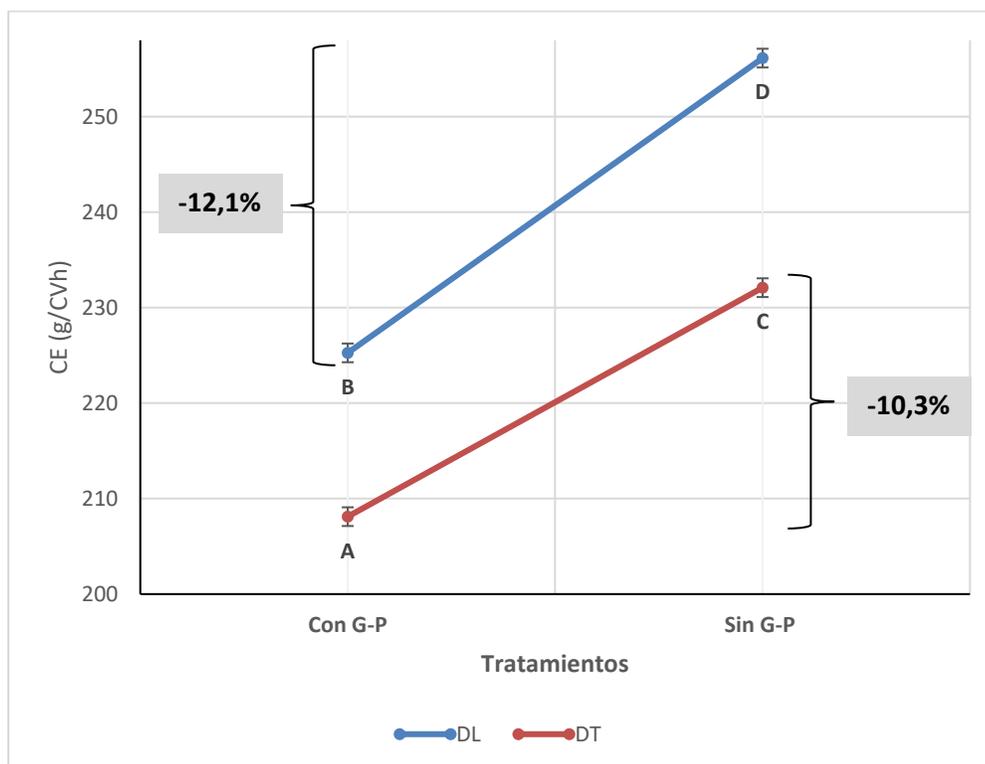


Fig. 33: Interacción de tratamientos - Comparación de valores medios de CE (g/CVh)

Según la Tabla 10, en el análisis de varianza para esta variable de respuesta, el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,99$), que muestra que proporción de la variación total de los datos está siendo explicada por el modelo adoptado, es un valor cercano a uno, por ende, la confiabilidad del análisis de varianza es muy buena. Por otro lado, el coeficiente de variación ($CV = 0,85\%$), que muestra la variación interna de los tratamientos (variación entre las repeticiones de un mismo tratamiento o error experimental), es un valor bajo indicando que la variable está bien controlada. Siendo coincidente con el cuadrado medio del error ($CM \text{ error} = 3,82$), que también es un valor muy bajo.

En el cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III) el valor $p = 0,0001$ del Modelo sugiere que el modelo lineal aditivo del ANOVA ($Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$) es significativo ($p\text{-valor} \leq 0,05$). Luego todos los valores $p < 0,001$ de las variables de clasificación: **G-P** y **Carga** sugieren el rechazo de la hipótesis de igualdad de medias de tratamientos, es decir, existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, considerando la variable **CE** (g/CVh). En lo que respecta a la **interacción de factores (G-P*Carga)**, con $p = 0,0042$, demuestra que hay una interacción significativa entre el uso del dispositivo y las cargas.

De acuerdo al test LSD Fisher se observa que las medias de los cuatro tratamientos posibles tienen todas distintas letras (hay 4 grupos), indicando diferencias estadísticamente significativas entre ellas, según el nivel de significación propuesto ($\alpha = 0,05$) y la $DMS = 3,01$ (Diferencia mínima significativa).

De este modo, observando la Figura 33, se comprueba que siempre que se use el dispositivo G-P, se produce una marcada disminución del consumo específico (CE). Las diferencias entre usar y no usar el dispositivo G-P son muy claras en ambos tratamientos (DL y DT). En lo que respecta al factor carga, también se observa que, por el efecto de interacción, la magnitud de disminución del consumo específico (CE) es diferente según sea la carga. La disminución de consumo específico es mayor estadísticamente, cuando el motor trabaja con la menor carga (-12,1% en DL vs. -10,3 en DT).

- Análisis de Monóxido de Carbono (CO) producido:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CO (ppm)	16	0,77	0,72	7,33

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9206,19	3	3068,73	13,59	0,0004
G-P	8145,06	1	8145,06	36,08	0,0001
Carga	115,56	1	115,56	0,51	0,4880
G-P*Carga	945,56	1	945,56	4,19	0,0632
Error	2708,75	12	225,73		
Total	11914,94	15			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=16,36755

Error: 225,7292 gl: 12

G-P	Medias	n	E.E.	
Si	182,50	8	5,31	A
No	227,63	8	5,31	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=16,36755

Error: 225,7292 gl: 12

Carga	Medias	n	E.E.	
DL	202,38	8	5,31	A
DT	207,75	8	5,31	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 11: Resultados del ANOVA para la variable CO

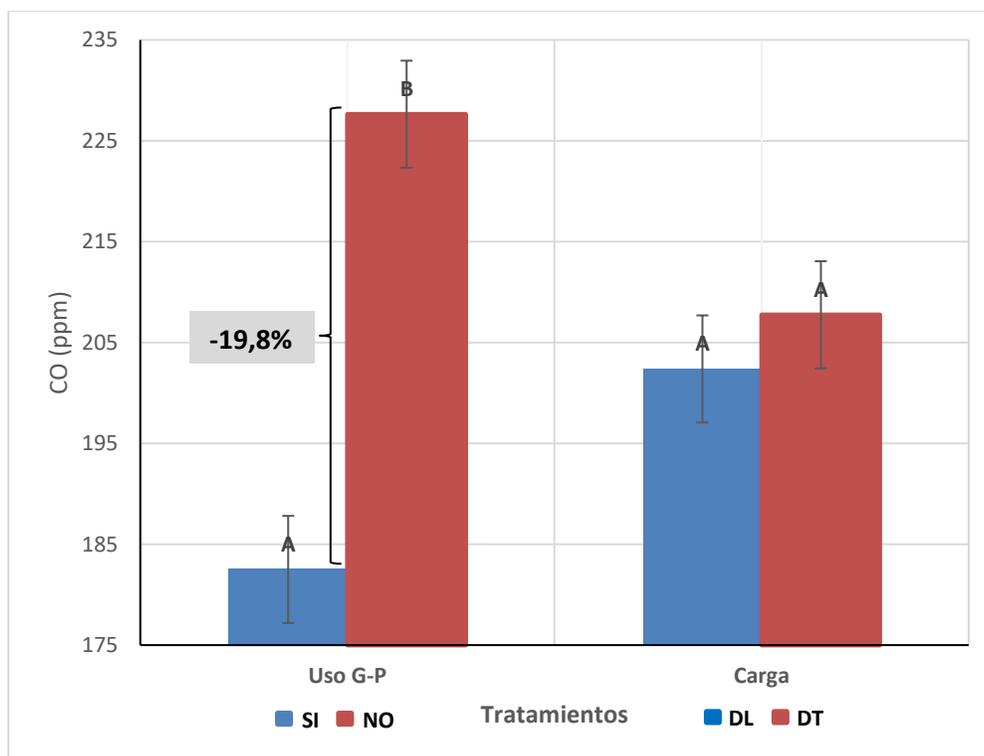


Fig. 34: Comparación de valores medios de CO (ppm) por tratamiento (Test de Fisher)

Según la Tabla 11, en esta variable de respuesta el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,77$), que muestra que proporción de la variación total de los datos está siendo explicada por el modelo adoptado, es un valor mayor a 0,70 por ende la confiabilidad del análisis de varianza es buena. Por otro lado, el coeficiente de variación ($CV = 7,33\%$), que muestra la variación interna de los tratamientos (variación entre las repeticiones de un mismo tratamiento o error experimental), es un valor bajo indicando que la variable está bien controlada.

En el cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III) el valor $p = 0,0004$ del Modelo sugiere que el Modelo lineal aditivo del ANOVA ($Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$) es significativo ($p\text{-valor} \leq 0,05$). Luego el único valor de $p < 0,05$, es el valor $p = 0,0001$ para la variable: **G-P**, sugiriendo que solo para este tratamiento ocurre el rechazo de la hipótesis de igualdad de medias de tratamientos, es decir, solo existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (con G-P y sin G-P), considerando la variable **CO**. En lo que respecta a la **interacción de factores (G-P*Carga)**, con $p = 0,0632$, demuestra que no hay una interacción significativa entre el uso del dispositivo y las cargas.

De acuerdo al test LSD Fisher para ambos factores por separado, se observa que las medias de los tratamientos solo tienen letras distintas para la variable **G-P**, indistintamente de la **Carga**, indicando diferencias estadísticamente significativas entre ellas, según el nivel de significación propuesto ($\alpha = 0,05$) y la $DMS = 23,15$ (Diferencia mínima significativa). Siempre que se utiliza G-P se obtienen los valores medios más bajos de emisión de **CO**.

De este modo, observando la Figura 34, donde se comparan ambos tratamientos por separado, se puede determinar que la incorporación del dispositivo G-P plantea una importante disminución en la producción de CO en el MCI (-19.8%), funcionando indistintamente bajo las dos modalidades de carga (DT y DL). A su vez pareciera que indistintamente del uso del dispositivo G-P, las diferencias entre carga o sin carga (DT- DL) no son muy significativas para la producción de CO.

- Análisis de Óxido nítrico (NO) producido:

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
NO	16	0,97	0,96	2,51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	558169,19	3	186056,40	111,18	<0,0001
G-P	302775,06	1	302775,06	180,93	<0,0001
Carga	172017,56	1	172017,56	102,79	<0,0001
G-P*Carga	83376,56	1	83376,56	49,82	<0,0001
Error	20081,75	12	1673,48		
Total	578250,94	15			

Test: LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=63,02532

Error: 1673,4792 gl: 12

G-P	Carga	Medias	n	E.E.	
Si	No	1318,50	4	20,45	A
Si	Si	1670,25	4	20,45	B
No	No	1738,00	4	20,45	C
No	Si	1801,00	4	20,45	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 12: Resultados del ANOVA para la variable NO

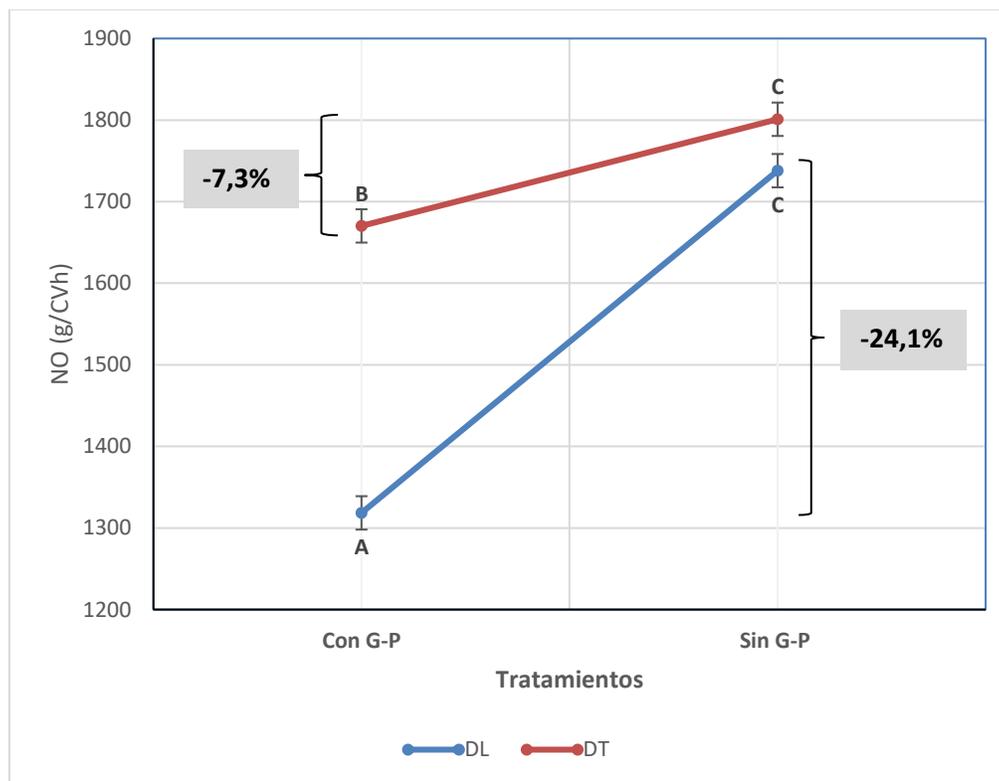


Fig. 35: Interacción de tratamientos - Comparación de valores medios de NO (ppm)

Según la Tabla 12, en el análisis de varianza para esta variable de respuesta, el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,97$), que muestra que proporción de la variación total de los datos está siendo explicada por el modelo adoptado, es un valor cercano a uno, por ende, la confiabilidad del análisis de varianza es muy buena. Por otro lado, el coeficiente de variación ($CV = 2,51\%$), que muestra la variación interna de los tratamientos (variación entre las repeticiones de un mismo tratamiento o error experimental), es un valor bajo indicando que la variable está bien controlada.

En el cuadro de análisis de varianza (SC tipo III) el valor $p = 0,0001$ del Modelo sugiere que el modelo lineal aditivo del ANOVA ($Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$) es significativo ($p\text{-valor} \leq 0,05$). Luego todos los valores $p < 0,001$ de las variables de clasificación: **G-P** y **Carga** sugieren el rechazo de la hipótesis de igualdad de medias de tratamientos, es decir, existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, considerando la variable **NO** (ppm). En lo que respecta a la **interacción de factores (G-P*Carga)**, con $p = < 0,0001$ se observa que hay una interacción significativa entre el uso del dispositivo y las cargas.

De acuerdo al test LSD Fisher se observa que las medias de los 4 tratamientos posibles solo tienen distintas letras en los tres primeros grupos de interacción de variables (al usar el dispositivo G-P, con o sin carga, o bien al no utilizarlo), indicando diferencias estadísticamente significativas entre ellas, según el nivel de significación propuesto ($\alpha = 0,05$) y la $DMS = 63,03$ (Diferencia mínima significativa).

De este modo, observando la Figura 35, se comprueba que con la incorporación del dispositivo G-P siempre se logra una importante disminución en la producción de NO, sobre todo trabajando con una menor carga de trabajo (**DL**). Pareciera que cuando no se usa el dispositivo G-P, las diferencias entre trabajar con carga o sin carga (**DT –DL**) no existen. En lo que respecta al factor carga, también se observa que, por el efecto de interacción, la magnitud de disminución del NO (ppm) producido es diferente según sea la carga. La disminución de NO es mayor estadísticamente, cuando el motor trabaja con menor carga (-24.1% en **DL** vs. -7.3 en **DT**).

- **Análisis de Temperatura de los gases de escape (T):**

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
T (°C)	16	0,55	0,44	4,05

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1643,19	3	547,73	4,89	0,0190
G-P	637,56	1	637,56	5,70	0,0343
Carga	945,56	1	945,56	8,45	0,0132
G-P*Carga	60,06	1	60,06	0,54	0,4778
Error	1342,75	12	111,90		
Total	2985,94	15			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=11,52383

Error: 111,8958 gl: 12

G-P	Medias	n	E.E.	
Si	255,13	8	3,74	A
No	267,75	8	3,74	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=11,52383

Error: 111,8958 gl: 12

Carga	Medias	n	E.E.	
DL	253,75	8	3,74	A
DT	269,13	8	3,74	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 13: Resultados del ANOVA para la variable T

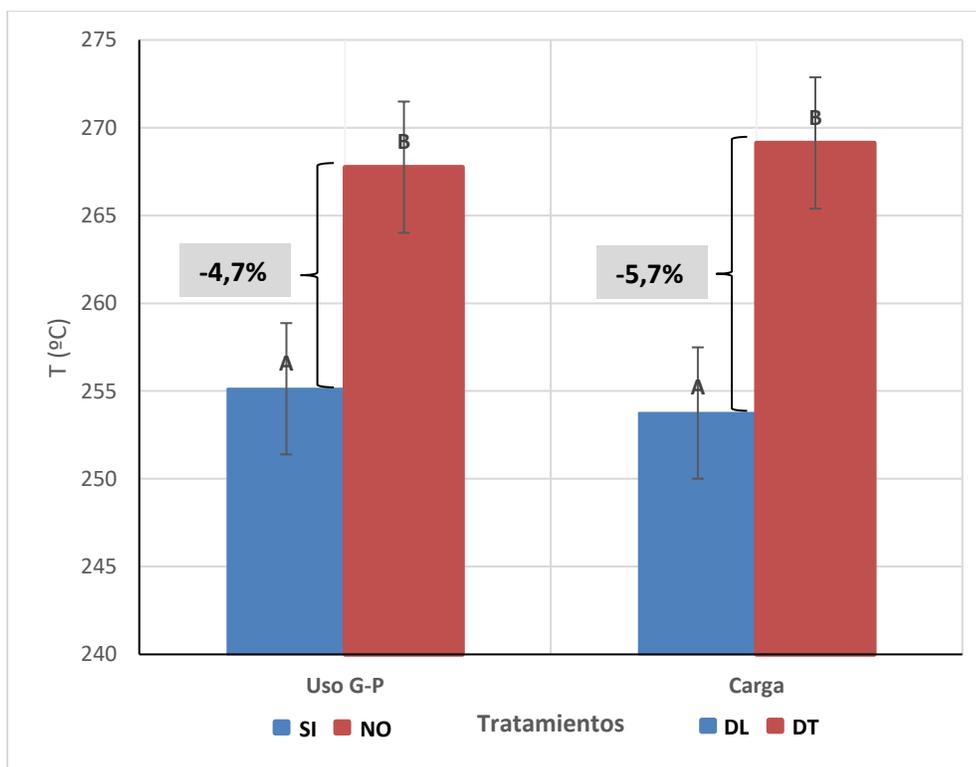


Fig. 36: Comparación de medias de T (°C) por tratamiento (Test de Fisher)

Según la Tabla 13, en esta variable de respuesta el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,55$), que muestra que proporción de la variación total de los datos está siendo explicada por el modelo adoptado, es un valor inferior a 0,70, por ende, la confiabilidad del análisis de varianza no es muy buena. Por otro lado, el coeficiente de variación ($CV = 4,05\%$), que muestra la variación interna de los tratamientos (variación entre las repeticiones de un mismo tratamiento o error experimental), es un valor bajo indicando que la variable está bien controlada.

En el cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III) el valor $p = 0,0190$ del Modelo sugiere que el Modelo lineal aditivo del ANOVA ($Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$) es significativo ($p\text{-valor} \leq 0,05$). Luego todos los valores de $p < 0,05$, para las variables de clasificación: **G-P y Carga** sugieren el rechazo de la hipótesis de igualdad de medias de tratamientos, es decir, existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, considerando la variable **T** ($^{\circ}\text{C}$). En lo que respecta a la **interacción de factores (G-P*Carga)**, con $p = 0,4778$, demuestra que no hay una interacción significativa entre el uso del dispositivo y las cargas.

De acuerdo al test LSD Fisher para ambos factores por separado, se observa que las medias de los tratamientos tienen letras distintas para la variable **G-P** y **Carga**, indicando diferencias estadísticamente significativas entre ellas, según el nivel de significación propuesto ($\alpha = 0,05$) y la $DMS = 11,52$ (Diferencia mínima significativa). Siempre que se utiliza G-P o se trabaja indistintamente a menor carga de trabajo (DL), se obtienen los valores medios más bajos de **T**.

De este modo, observando la Figura 36, donde se comparan ambos tratamientos por separado, se puede determinar que con la incorporación del dispositivo G-P se obtiene una disminución significativa en la temperatura de los gases de escape emitidos (T) (-4.7%), funcionando indistintamente bajo las dos modalidades de carga (DT y DL). Algo similar ocurre cuando se compara el funcionamiento del motor bajo las dos cargas evaluadas, sin considerar la incorporación de G-P, se obtiene una disminución significativa de T (-5.7%) cuando el motor funciona a menor carga de trabajo (DL).

IV. 2 Evaluación Técnica y Económica

Para dar un criterio económico sobre el uso del sistema G-P, en primer lugar, se detallan los costos de los materiales (ver Tabla 3), sumándose a ello el costo ingenieril, tanto para el armado de la unidad, como para el montaje final en el MCI del tractor. A continuación, en la Tabla 14 se resumen todos los costos obtenidos para la implementación del sistema G-P.

Ítem	Costo (\$)
Materiales de Unidad GP	14.000
Construcción de unidad GP	10.000
Adaptación y montaje al MCI	5.000
Total (\$)	29.000⁸

Tabla 14: Costos de implementación del sistema G-P

Tal como se mencionó previamente y según Di Prinzio, et al. (2010). En los sistemas fruti-hortícolas de nuestro país los tractores tienen un uso anual superior a las 40 horas por hectárea para realizar mayoritariamente tareas de pulverización, labranzas, desmalezado y manejo de cosecha. Tomando este dato como punto de partida, y a su vez, realizando una estimación del uso promedio que se les da en las unidades productivas de pequeños productores de la región, de un tractor cada 10 hectáreas, se estiman unas 400 horas de trabajo por año y por unidad productiva, de uso mínimo y normal. A la vez que si se consideran aquellos establecimientos medianos a grandes, quienes utilizan de manera más ajustada al tractor, pudiendo alcanzar las casi 30 ha/unidad, esta estimación podría ascender hasta 1000 a 1200 horas de trabajo por unidad productiva.

Tomando como referencia el tractor considerado en esta prueba piloto con 75 CV, se estima un índice de consumo medio de combustible bajo trabajo, sin tener en cuenta la carga usada (DT o DL) de **6,79 l/h**, y que gracias al uso del dispositivo G-P paso a **6,04 l/h**, lo que equivale a un **11,04%** menos. Teniendo en cuenta que no todas las labores realizadas por los tractores del área de estudio se efectúan en iguales condiciones a la de la experimentación, donde la demanda de potencia y el consumo son elevados, se realiza una estimación propia de un índice de consumo de 0,65, aplicable al porcentaje de variación de consumo, de manera de no sobrestimar el mismo. Con ello obtenemos finalmente un valor de 6,30 l/h que equivalen a 7,18% menos de consumo (Ver Tabla 15).

⁸ Equivalente a ≈ 293 US\$ según cotización del dólar por Banco de la Nación Argentina al 14/05/2020: 99.00 \$/US\$ (Fuente: <https://www.bna.com.ar/Personas>)

Uso de G-P	Consumo (l/h)	
	promedio	% de variación
Sin G-P	6,79	-----
Con G-P	6,04	-11,04
Con G-P (ajustado por índice 0,65)	6,30	-7,18

Tabla 15: Comparativa de valores promedios de consumo según uso del dispositivo G-P

A partir de los datos que anteceden se construye la Tabla 16 donde se muestra un estudio básico sobre el ahorro económico que se tendría para una unidad productiva de la Norpatagonia con la implementación del sistema G-P, así como su recupero de inversión.

Sistema G-P con 400 o 1200 horas de trabajo anual					
Costo implementación sistema G-P (\$):					\$ 29.000
Ítem	unidad	Sin G-P	Con G-P	Sin G-P	Con G-P
Tiempo de utilización	h/año	400		1200	
Consumo promedio	l/h	6,79	6,30	6,79	6,30
Consumo de Gasoil	litros/año	2.716	2.520	8.148	7.560
Precio de Gasoil	\$/litro	86,6 ⁹			
Costo anual	\$/año	235.205,6	218.232	705.616,8	654.696
Ahorro anual (\$/año)			16.973,6		50.920,8
Recupero de inversión (años)			1,71		0,57

Tabla 16: Ahorro Económico y recupero de inversión con el sistema G-P

De su análisis surge que dicho recupero es de aproximadamente 1,7 años, con un ahorro anual de \$ 16.973,6 para el establecimiento de un pequeño productor, o bien aproximadamente 7 meses (0,57 años), para aquellos establecimientos pertenecientes a medianos o grandes productores que hacen un uso más intensivo del tractor. Dichos parámetros pueden ser considerados como muy satisfactorios al momento de persuadir a la comunidad productiva para su implementación.

⁹ Fuente: (16/05/2021) <https://www.rionegro.com.ar/aumentaron-los-combustibles-y-gasoil-cuesta-102-como-quedaron-los-precios-en-rio-negro-y-neuquen-1817163/>

IV.3 Discusión de los datos experimentales

- Ante la mejora comprobada en la combustión del motor, con la disminución de gases contaminantes y constatación visual de una menor emisión de material particulado (humo negro), trabajando bajo carga, es muy probable una mejora en la vida útil del motor. La menor deposición de carbonilla en la cámara de combustión reduce el desgaste de las piezas y prolonga la vida útil del aceite del motor.
- Con la incorporación de este sistema el motor funciona con una marcha más silenciosa (menor vibración). Fue muy notorio, cuando el motor trabajaba a pleno régimen y con la carga máxima, donde la percepción del ruido del motor era mucho menos intensa. Para que dicha aseveración tenga rigor estadístico, será preciso la realización de una prueba futura que incluya la utilización de un instrumental adecuado para poder medir el nivel emisión sonora o ruido que emita el motor.
- A partir de la comprobación del funcionamiento del MCI a una menor temperatura, respecto a los gases de escape y con la incorporación del sistema G-P (-4,7%), funcionando indistintamente bajo las dos modalidades de carga (DT y DL), se podría plantear que el motor es un poco más eficiente desde el punto de vista térmico (la pérdida de energía no aprovechable y en forma de calor en los gases de escape es menor). Sin embargo, sería adecuado realizar otro ensayo, donde se midan además las variables necesarias para poder calcular **la exergía del sistema**. Con ello se podría valorar la posible mejora del rendimiento energético del sistema (cuantificando el trabajo útil disponible con y sin G-P) y dándonos una visión más amplia que el rendimiento térmico.
- Es importante mencionar que para la evaluación técnica y económica del consumo de combustible se consideró el funcionamiento del equipo sin tener en cuenta la carga (DT o DL), factores que se comprobó que tienen interacción (Tabla 10) ya que cuando el motor funciona a la menor carga (DL) se produce la mayor disminución del consumo específico (-12.1%), contra DT (-10.3%), según se observa en la figura 33. Si comparamos el valor promedio de esta interacción (-11.2%) con el valor obtenido sin considerar la interacción (-11.04%) vemos que estos son muy similares. La opción de utilizar el valor más bajo se hizo en función de buscar ser lo más conservador posible en cuanto al resultado económico esperado. Para ello incluso se estimó un índice de consumo del 0.65 aplicable al porcentaje de variación de consumo, de manera de no sobrestimar el mismo.

IV.4 Conclusiones

- Se ha logrado sistematizar la información sobre el sistema G-P, para la construcción y prueba de funcionamiento en un tractor tipo de la zona Norpatagónica.
- En base a los datos del último censo Nacional agropecuario (CNA, 2018) se observa que más del 80% de los tractores de la Norpatagonia (comprendida por las provincias de Río Negro y Neuquén) y dentro del estrato mayoritario de uso, con una potencia inferior a los 75 CV, todos superan el periodo de 15 años de edad, marcando un alto nivel de obsolescencia.
- Tras la implementación del sistema G-P se ha logrado obtener resultados muy interesantes de ahorro de combustible, con valores que rondan entre el **10.3 y 12.1% menos de consumo específico**, dependiendo de la carga de trabajo (siendo mayor el ahorro a menor potencia demandada).
- La incorporación del sistema G-P no solo mejora el rendimiento del motor, si no que contribuye también en la reducción de las emisiones de CO y NO producidos. Lográndose una reducción de la emisión de CO de hasta casi el **20%** (indistintamente de la carga de trabajo) y del **24.1%** de reducción de emisión de NO funcionando en la menor carga de trabajo (DL) . Resultando así en una mejora importante de la combustión del gasoil y una disminución de la contaminación ambiental.
- Con la incorporación del sistema G-P se obtiene una disminución significativa en la temperatura de los gases de escape emitidos (-4,7%), funcionando indistintamente bajo las dos modalidades de carga (DT y DL).
- El costo reducido de este dispositivo hace que el **recupero de la inversión sea de 1,7 años**, considerando un uso mínimo, en promedio de 400 horas al año para una pequeña explotación tipo de la zona Norpatagónica, o bien de aproximadamente 7 meses para aquellos establecimientos pertenecientes a medianos o grandes productores (con un uso anual de 1.200 horas) y teniendo en cuenta solo el ahorro de combustible. Este dispositivo es, además, mucho menos costoso, complejo y contaminante que un catalizador, que de todos modos no existe en los motores de los tractores con más de 20 años de antigüedad.

IV.5 Recomendaciones

- Una vez instalado el equipo en forma permanente se recomienda controlar el nivel del agua periódicamente para evitar que trabaje en vacío. Según la capacidad máxima efectiva del depósito (18 litros), se estimó un consumo de agua de entre 1 y 1,5 litros/hora de trabajo, en función de la demanda de potencia del motor.
- Tener cuidado con el contacto del depósito de la unidad G-P cuando está en funcionamiento, ya que, al estar unido al escape del motor, se registran temperaturas superiores a 100 °C y que pueden ocasionar quemaduras si no se tiene el equipo y precauciones adecuadas.
- Es recomendable luego de instalar el sistema G-P, como medida de seguridad, ensamblar correctamente el silenciador para evitar los fuertes ruidos que son producidos por el funcionamiento del motor. De igual forma debe asegurarse que el acoplamiento del mencionado dispositivo (al múltiple de escape) sea el más apropiado y así evitar desmontajes no previstos durante el funcionamiento.
- Teniendo en cuenta que las demandas de potencia utilizadas en el presente ensayo han resultado en un mínimo contraste (20.2 CV y 26,0 CV), sería conveniente para realizar un ulterior ensayo, poder utilizar un banco de prueba dinamométrico, de modo de poder comprobar el funcionamiento del equipo G-P en un mayor rango de cargas sobre el MCI del tractor.
- Para un mejor aprovechamiento en el uso del sistema G-P, debería tratarse como un tema gubernamental, ya que los beneficios crecen cuando existe más horas de uso del motor, si se suma la totalidad de los tractores con más de 20 años de antigüedad de la zona Norpatagónica, incluso los de mayor cilindrada, los ahorros de combustible tendrían gran repercusión a nivel provincial, por ello se recomienda una investigación detallada de este impacto.
- Tomando como ejemplo el primer laboratorio de maquinaria agrícola creado en toda Latinoamérica y que funcionará en Rosario (García, 2021). Se plantea como estrategia promover también, a nivel regional la formación de un laboratorio de maquinaria agrícola, donde se brinde el espacio específico para realizar investigaciones y ensayos vinculados con la actividad agroindustrial, sobre todo vinculados con la implementación de esta y

otras nuevas tecnologías. A través de la firma de un convenio colectivo entre distintas instituciones públicas como ser: el INTI, el INTA y la Cátedra de mecanización de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNCo), estas ayudarían a la popularización de esta tecnología a nivel regional con estudios que confirmen aún más su funcionamiento.

- La exploración de este trabajo puede ser la base para futuras investigaciones a nivel zonal, por tanto, se recomienda extender esta tecnología al uso de los motores estancos usados comúnmente para accionar equipos de bombeo.

- Dado que la Argentina participa en el mercado de carbono con la oferta de certificados de emisiones reducidas (CER). La posibilidad de promocionar y encuadrar el presente ensayo como un proyecto MDL (mecanismo para desarrollo limpio) permitiría a sus implementadores la obtención de certificados o bonos comercializables internacionalmente y que serían un canal de entrada de divisas extranjeras para el país. Los CER derivados de estos proyectos pueden ser comercializados libremente como commodities y finalmente ser utilizados por los países desarrollados para dar cumplimiento a las obligaciones asumidas en el protocolo de Kioto u otros sistemas como el European Emission Trading Scheme. Para ello los proyectos MDL deben contribuir al desarrollo sustentable y dar lugar a beneficios reales, mensurables y duraderos para el clima, en forma de reducción y/o absorción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), adicionales a las que se habrían producido sin el proyecto. Requisitos que son por demás compatibles con el presente ensayo. Por otro lado, la promoción y desarrollo del sistema G-P a nivel regional, puede verse favorecida por la participación de Argentina en el acuerdo de Paris (año 2016, ley 27270), el cual establece la lucha contra el cambio climático, de modo de acelerar e intensificar las acciones e inversiones destinadas a construir un futuro sostenible con bajas emisiones de carbono u otros gases de efecto invernadero (GEI). Para ello se busca mantener el aumento de la temperatura media global muy por debajo de 2 grados centígrados, con respecto a niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5°C, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático.

- Continuar con la difusión de la experiencia en el plano educativo de nivel medio y universitario.

Capítulo V - Difusión de la tecnología

V.1 Difusión de la experiencia

Con la finalidad de cumplimentar con uno de los objetivos propuestos en este trabajo de difundir en el medio local esta tecnología, se realizaron dos charlas informativas en instituciones educativas:

- Se realizó una presentación de la experiencia en el C.E.T. 1 (Escuela Técnica Sánchez Platero – Ex ENET 1) de General Roca, ante el personal directivo y docentes interesados.
- Se realizó un video explicativo¹⁰ del funcionamiento del dispositivo G-P, destinado a los estudiantes de la Universidad Nacional de Rio Negro (UNRN) que cursan Termodinámica en Ingeniería en Alimentos e Ingeniería en Biotecnología.

¹⁰ https://drive.google.com/file/d/16LIOgF4IPkESAyGdB1uI_Tvvunm7krvS/view?usp=sharing

Bibliografía

- Blas, T. y Fernández, A. (2014). Curso de Física Básica. Termodinámica – segundo principio. Universidad Politécnica de Madrid (UPM) – España. [En línea] Octubre de 2014. <https://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/termo2p/carnot.html>
- Borrás, A. (2009). Panorama Actual sobre la Energía del Hidrógeno. [En línea] Junio de 2009. <https://mundomotor.home.blog/2019/05/16/hidrogeno-parte-1/>
- Censo Nacional Agropecuario 2018 (CNA 2018). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC). Ministerio del Interior. Presidencia de la República Argentina. Disponible en: <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-3-8-87>
- Consejo Nacional de Coordinación de Políticas sociales 2021 (CNCPS 2021). Argentina Objetivos de Desarrollo Sostenible, Metas priorizadas e Indicadores de seguimiento. 56 Pág. 1º ed. Ciudad autónoma de Buenos Aires. [En línea] Junio de 2021. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/cncps_-_agenda_2030_objetivos_de_desarrollo_sostenible_junio_2021_v7_2.pdf
- Demarco, D. (s.f). Análisis del sector de la maquinaria agrícola. La ciencia y la tecnología en los sistemas agrícolas-ganaderos. Sitio argentino de Producción Animal. 30 pág. [En línea] https://www.produccion-animal.com.ar/temas_historia/96-Analisisdelsectordemaquinariaagricola.pdf
- Di Prinzio, A., Magdalena, C. y Behmer, S. (2010). El tractor agrícola - Funcionamiento y mantenimiento. INTA-Univ. Nac. del Comahue, 100 pág. 1º ed. Alto Valle: Ediciones INTA.
- Dragui, L. y Filgueira, R. (2015). Motores Diesel: Ciclo Ideal y Diagrama Indicado. Universidad Nacional de La Plata - Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. [En línea] 2015. <https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/mod/resource/view.php?id=57178>
- García, G. (2021). Primer laboratorio de maquina agrícola de Latinoamérica. UNR (Universidad Nacional de Rosario). Noticias. [En línea] 25 de febrero de 2021. <https://unr.edu.ar/noticia/14329/primer-laboratorio-de-maquinaria-agricola-de-latinoamerica>
- Gómez, J. (2020). ¿Qué contamina más, un coche diésel o gasolina? Emisiones de NOx, CO2 y dispositivos anticontaminación. Diariomotor. [En línea] 21 de febrero de 2020. <https://www.diariomotor.com/reportajes/diesel-gasolina-que-contamina-mas/>

- Langlois, P. (2008). Rouler sans pétrole. 294 pág. Editions MultiMondes. 1er ed. Paris, Francia.
- Ley N° 24.449 de Tránsito y seguridad Vial (2008). Normativa Argentina.gob.ar [En línea] <https://www.argentina.gob.ar/normativa/recurso/30389/dto779-1995-anexo1/htm>
- Martz, C. (2001). Elaboration d'un banc d'essai et caractérisations du procédé GEET de P. Pantone à reformage. Projet de Fin d'Etudes Génie Mécanique option Energétique Industrielle réalisé à l'ENSAIS. 117 pág. Francia. Disponible en: https://www.econologie.com/file/moteur_pantone/Rapport_complet_publie.pdf
- Mogorrón, H. (2017). Reinventando el motor diésel para tractores agrícolas. [En línea] Noviembre de 2017. <https://www.interempresas.net/Grandes-cultivos/Articulos/196758-Reinventando-el-motor-diesel-para-tractores-agricolas.html>
- Muñoz L. (2014). Las claves para maximizar el ahorro de combustible en un tractor. El Mercurio Campo. [En línea] Noviembre de 2014. <https://www.elmercurio.com/campo/Registro/Login.aspx?urlBack=/Campo/Noticias/Redes/2014/05/28/Ahorro-combustible.aspx>
- Rodríguez, C., Serrano, G. y Vela, P. (2018). Estudio de los gases contaminantes modificando la relación de compresión en un vehículo. Artículo Investigación para la obtención del título de Ingeniería en Mecánica Automotriz. 81 pág. Universidad Internacional del Ecuador (UIDE). QUITO. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2495/1/T-UIDE-1787.pdf>
- Soarès, J. (2005). Réacteur Pantone en "Système Gillier-Pantone" à bulleur à eau seule: Système simple – Réactions complexes. [En línea] Diciembre de 2005. <http://quanthomme.free.fr/qhsuite/GillierPantoneDe2004a2010/SystemeGillierPantoneReflexionJS.htm>
- Tapia, D. (2012). Evaluación energética del sistema Pantone en motores de combustión interna de potencias entre 0.5 y 5 KW. Tesis en opción al grado magister en planificación y gestión energéticas. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Cuenca – España. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2623/1/tm4669.pdf>
- Vasallo, J. (2018). Regulación ambiental del transporte automotor pesado. II Jornadas Iberoamericanas de Motores Térmicos y Lubricantes. UNL-CONICET-CIMET y UTN FRFSF. Santa Fe [En línea] Agosto de 2018. https://www.frsf.utn.edu.ar/uploads/mtl2018_d/Presentaci%C3%B3n_Vasallo_-_M_A_Naci%C3%B3n.pdf

Anexos

Anexo 1. Planos y materiales del dispositivo G-P¹¹

SPAD© POUR MOTEURS DIESEL DE 30 A 80 CH

Le **SPAD© «Optimiseur compact de performances des moteurs essence et diesel»** est un kit fonctionnant à l'eau et facilement adaptable sur tracteurs, groupes électrogènes, motopompe, engin TP..., pour moteurs atmosphériques ou turbo et à refroidissement à air ou liquide.

L'ordre de grandeur de l'économie de carburant, constatée par les utilisateurs, est de 30 à 60%, variable suivant les installations et les conditions de fonctionnement (température, temps d'utilisation, variation de régime, charge du moteur...).

Cette notice vous propose les détails d'un exemple de SPAD© simplifié pour moteurs diesel d'une puissance comprise entre 30 et 80ch ou pour moteurs diesel multicylindres d'une cylindrée maxi de 4000 cm³ au régime maxi de 2500 trs/min. La contenance du bulleur est d'environ 8 litres d'eau et permet une autonomie de 4 à 8h suivant les conditions de fonctionnement.

NOMENCLATURE

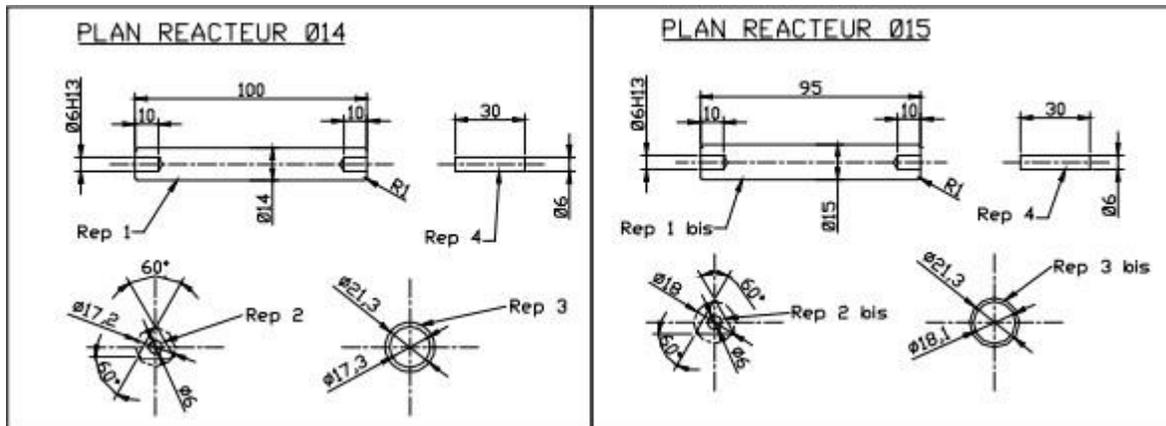
Rep	quantité	désignation	dimensions	matière
1	1	réacteur Ø14	Ø14x100	inox 316L (ou 304L)
2	2	centreur Ø17	Ø17e p3	acier
3	1	tube 1/2"	Ø21,3 ép 2 lg:270	inox 316L (ou 304L)
1 bis	1	réacteur Ø15	Ø15x100	inox 316L (ou 304L)
2 bis	2	centreur Ø18	Ø18 ep3	acier
3 bis	1	tube 1/2"	Ø21,3 ép 1,6 lg:270	inox 316L (ou 304L)
4	2	tige	Ø6x30	acier stub
5	1	tôle de fond	200x200x2	tôle acier ep2
6	1	tôle de dessus	200x200x2	tôle acier ep2
7	1	chicane	100x50x2	tôle acier ep2
8	1	flanc gauche	300x200x2	tôle acier ep2
9	1	tôle arrière	300x200x2	tôle acier ep2
10	2	tôle avant et flanc droit	300x200x2	tôle acier ep2
11	1	U d'échappement	300x (150) x2	tôle acier ep2
12	1	tube de remplissage	3/4"x150	tube acier
13	1	tube de bullage	3/4"x150	tube acier
14	1	coude 3/4"	3/4"-90-3D	tube acier
15	2	coude 1/2"	1/2"-90-3D	tube acier
16	2	demi-mamelon 1/2"	1/2"x30	tube acier

¹¹ Fuente: <https://quanthommesuite.pagesperso-orange.fr/imagesreal05/fichespadapte.pdf>

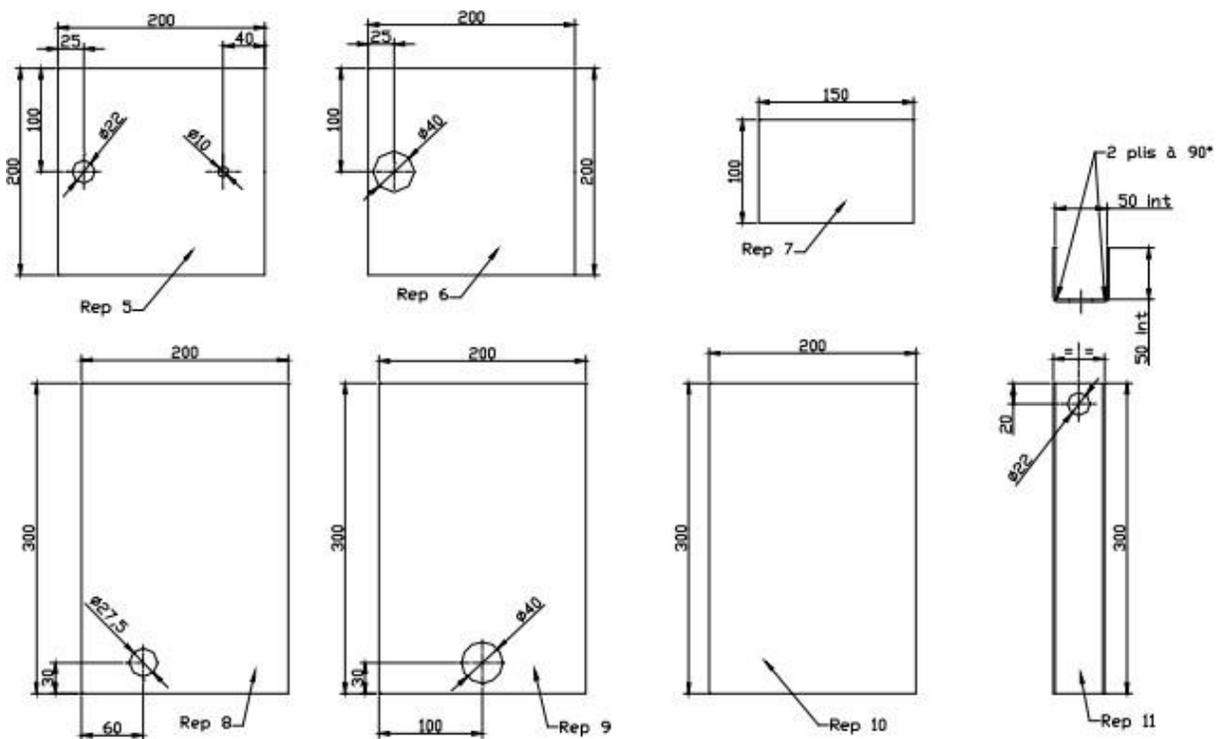
PLAN DE DETAILS POUR FABRICATION:

DETAILS DU REACTEUR:

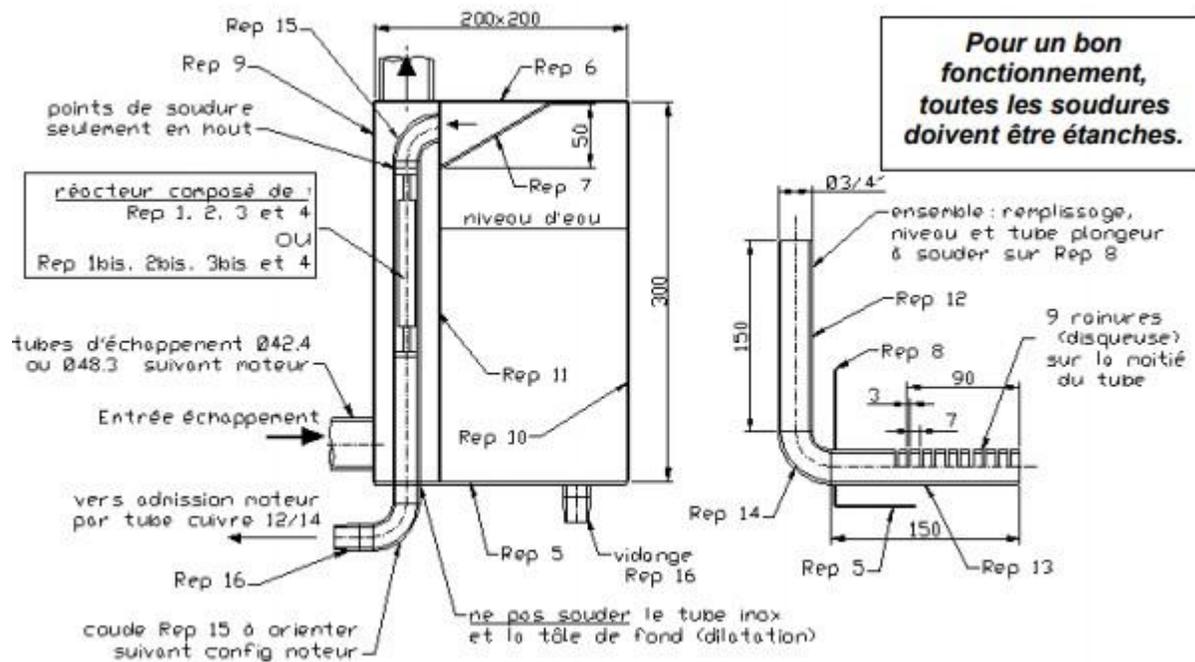
Voici plusieurs possibilités de réacteurs suivant les matériaux (inox 304L ou 316L) et les dimensions ($\varnothing 14$ ou $\varnothing 15$) disponibles.



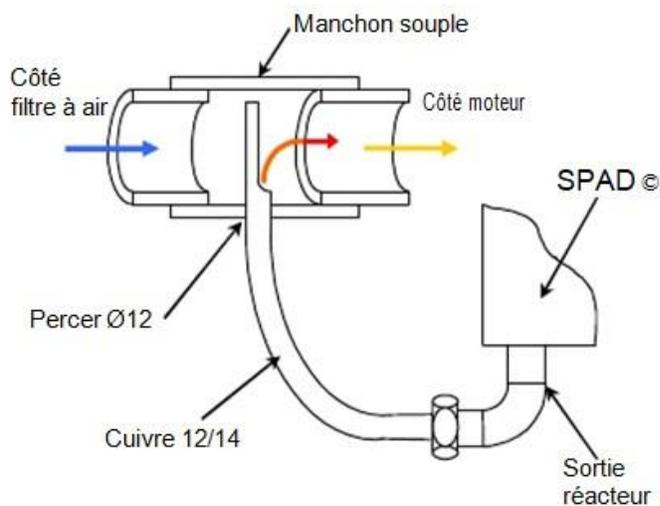
DETAILS DES TOLES:



VUES 2D EN COUPE



LIAISON REACTEUR / ADMISSION :



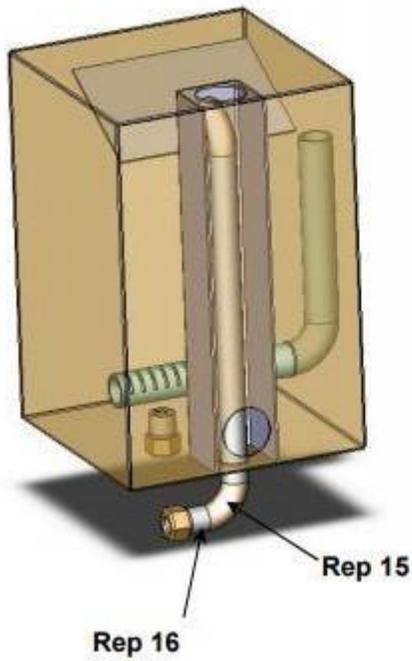
PRECAUTIONS LORS DU MONTAGE SUR L'ADMISSION :

- L'arrivée du reniflard ne doit pas se situer entre la sortie du réacteur et la culasse, mais côté filtre à air.
- S'il faut brider l'admission pour un meilleur bullage aux bas régimes, placer la bride ou le volet de bridage entre l'arrivée du reniflard et la sortie du réacteur.
- Tous les raccords doivent être étanches.
- Ne pas mettre de joint entre la sortie du réacteur et le raccord cuivre (haute T°C).

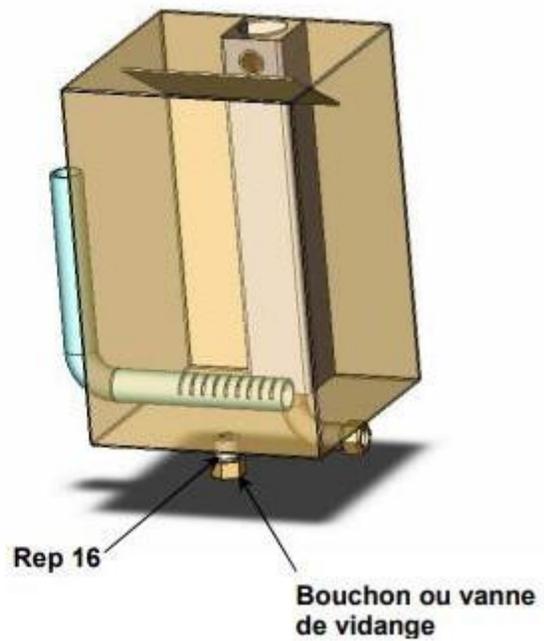
PRECAUTIONS LORS DU MONTAGE SUR L'ECHAPPEMENT :

- Monter le SPAD® au plus près du collecteur d'échappement

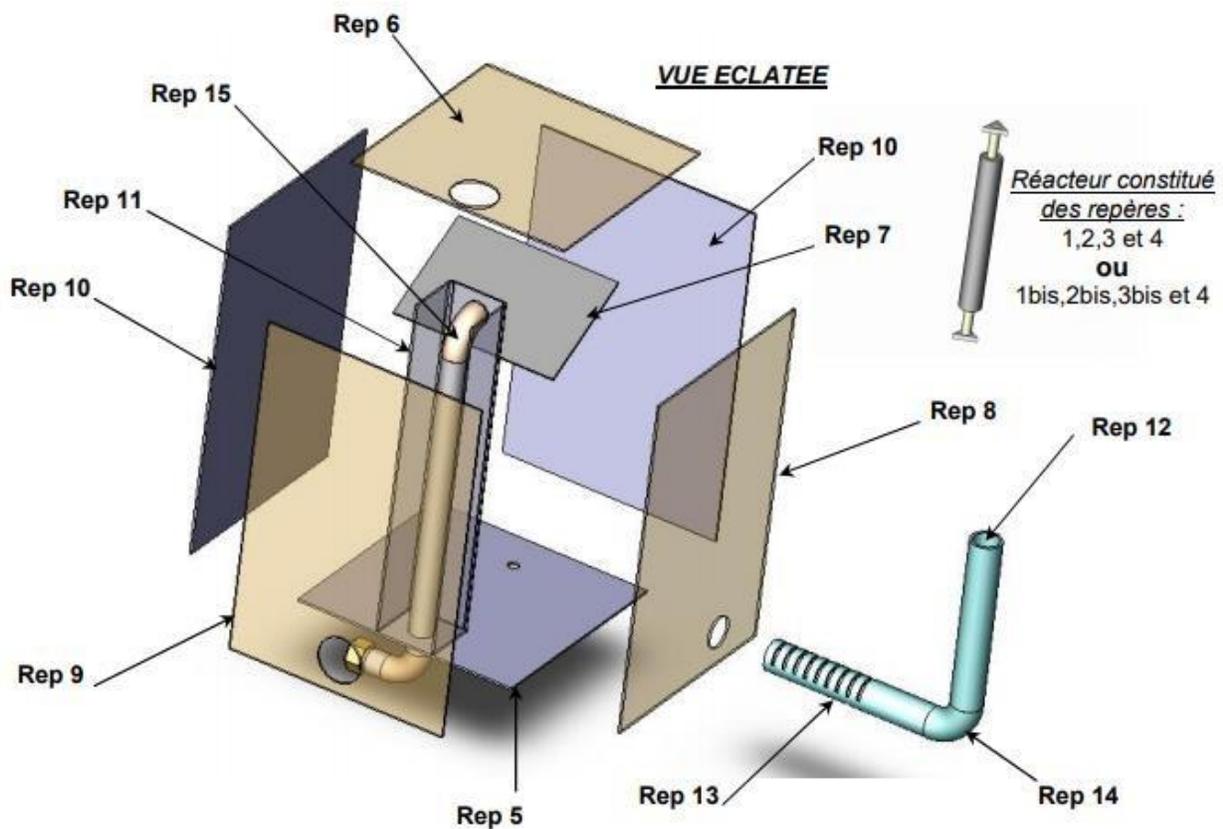
VUE ARRIERE



VUE AVANT



VUE ECLATEE



CONSEILS D'UTILISATIONS:

- **ATTENTION: REMPLIR LE SPAD© MOTEUR ARRETE.**
- Ne pas boucher le tube de remplissage Repère 12 mais il est possible d'y mettre un filtre (tissu) lors d'un travail très poussiéreux (par exemple: tracteur labourant un champ).
- Utiliser de préférence de l'eau non potable, si l'eau est très calcaire alors nettoyer le bulleur régulièrement avec de l'eau vinaigrée.

MODIFICATIONS POUR LES MOTEURS DIESEL D'UNE PUISSANCE INFÉRIEURE A 30CH:

- Garder le même réacteur mais diminuer la taille du bulleur, seulement 3 à 6 litres suivant la rapidité de chauffe de l'échappement.
- Pour les dimensions, respecter les mêmes proportions que l'exemple ci-dessus.
- Concernant les moteurs monocylindres, ils doivent tourner assez vite (environ 3000 trs/min) afin d'avoir une aspiration constante dans l'admission.

MODIFICATIONS POUR LES MOTEURS DIESEL D'UNE PUISSANCE SUPÉRIEURE A 80CH:

- Augmenter le nombre de réacteurs par tranches de 40ch environs, les valeurs du tableau cidessous ne sont qu'une estimation et peuvent être modifiées suivant les conditions de fonctionnement du moteur, d'encombrement et d'alimentation d'eau:

Puissance	Nbre de réacteurs	Volume du bulleur	Volume d'eau maxi
10 à 80 ch	1	3 à 12 litres	2 à 8 litres
80 à 120 ch	2	12 à 18 litres	8 à 12 litres
120 à 160 ch	3	18 à 24 litres	12 à 16 litres
160 à 200 ch	4	18 à 30 litres	12 à 20 litres

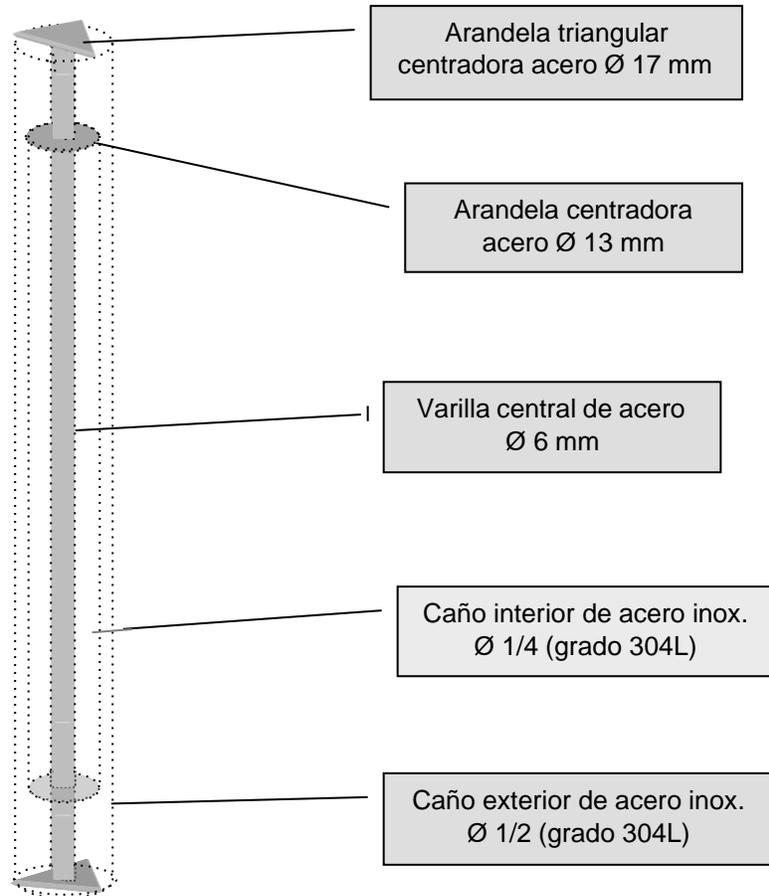
- Pour les dimensions, respecter les mêmes proportions que l'exemple ci-dessus et éviter de dépasser 300mm de hauteur d'eau.
- Pour augmenter l'autonomie, il est possible d'adapter un niveau constant à l'extérieur du bulleur.

REMARQUES:

Le SPAD© est adaptable sur tous moteurs diesel fonctionnant aux huiles végétales (tournesol, colza...). Il permet un fonctionnement plus silencieux et réduit de beaucoup la pollution des gaz d'échappement.

En vous souhaitant de bonnes réalisations, des économies d'énergie et un air plus sain, toute l'équipe d'APTE.

Anexo 2. Detalle del reactor



Anexo 3. Resultados de medición de gases - equipo Bacharach (Sin dispositivo G-P)

<p style="text-align: center;">BACHARACH</p> <p style="text-align: center;">BACHARACH, INC. PCA 2 SN: PZ1140</p> <p>=====</p> <p>TRACTOR..1. CT</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>Hora: 11:25:41 Fecha: 22/12/20</p> <p style="text-align: center;">Combustible ACE2</p> <p>O₂ 20.9 % CO 221 ppm Eff --- % CO₂ --- % T-STK 286 °C T-AIR 30.6 °C EA --- % CO (0) --- ppm NO 1779 ppm NO₂ **:~: ppm NOx **:~: ppm SO₂ **:~: ppm NO (0) --- ppm NO₂ (0) **:~: ppm NOx (0) **:~: ppm SO₂ (0) **:~: ppm</p> <p style="text-align: center;">Lectura del Tiro 5.58 inwc</p> <p>-----</p> <p>Comentarios:</p>	<p style="text-align: center;">BACHARACH</p> <p style="text-align: center;">BACHARACH, INC. PCA 2 SN: PZ1140</p> <p>=====</p> <p>TRACTOR..1. DL</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>Hora: 11:31:32 Fecha: 22/12/20</p> <p style="text-align: center;">Combustible ACE2</p> <p>O₂ 20.9 % CO 216 ppm Eff --- % CO₂ --- % T-STK 276 °C T-AIR 30.7 °C EA --- % CO (0) --- ppm NO 1794 ppm NO₂ **:~: ppm NOx **:~: ppm SO₂ **:~: ppm NO (0) --- ppm NO₂ (0) **:~: ppm NOx (0) **:~: ppm SO₂ (0) **:~: ppm</p> <p style="text-align: center;">Lectura del Tiro 5.37 inwc</p> <p>-----</p> <p>Comentarios:</p>	<p style="text-align: center;">BACHARACH</p> <p style="text-align: center;">BACHARACH, INC. PCA 2 SN: PZ1140</p> <p>=====</p> <p>TRACTOR..1. DL.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>Hora: 11:36:10 Fecha: 22/12/20</p> <p style="text-align: center;">Combustible ACE2</p> <p>O₂ 20.9 % CO 217 ppm Eff --- % CO₂ --- % T-STK 285 °C T-AIR 34.3 °C EA --- % CO (0) --- ppm NO 1720 ppm NO₂ **:~: ppm NOx **:~: ppm SO₂ **:~: ppm NO (0) --- ppm NO₂ (0) **:~: ppm NOx (0) **:~: ppm SO₂ (0) --- ppm</p> <p style="text-align: center;">Lectura del Tiro 5.52 inwc</p> <p>-----</p> <p>Comentarios:</p>	<p style="text-align: center;">BACHARACH</p> <p style="text-align: center;">BACHARACH, INC. PCA 2 SN: PZ1140</p> <p>=====</p> <p>TRACTOR..1. CT.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>Hora: 11:42:29 Fecha: 22/12/20</p> <p style="text-align: center;">Combustible ACE2</p> <p>O₂ 20.9 % CO 253 ppm Eff --- % CO₂ --- % T-STK 263 °C T-AIR 34.3 °C EA --- % CO (0) --- ppm NO 1790 ppm NO₂ **:~: ppm NOx **:~: ppm SO₂ **:~: ppm NO (0) --- ppm NO₂ (0) **:~: ppm NOx (0) **:~: ppm SO₂ (0) --- ppm</p> <p style="text-align: center;">Lectura del Tiro 5.30 inwc</p> <p>-----</p> <p>Comentarios:</p>
--	--	---	---

TFI – Especialización en Management Tecnológico - UNRN

 BACHARACH, INC. PCA 2 SN: PZ1140	 BACHARACH, INC. PCA 2 SN: PZ1140	 BACHARACH, INC. PCA 2 SN: PZ1140	 BACHARACH, INC. PCA 2 SN: PZ1140																																																																																																																																
TRACTOR..1. CT	TRACTOR..1. DL	TRACTOR..1. CT	TRACTOR..1. DL																																																																																																																																
Hora: 10:20:22 Fecha: 22/12/20	Hora: 10:15:12 Fecha: 22/12/20	Hora: 10:30:15 Fecha: 22/12/20	Hora: 10:40:15 Fecha: 22/12/20																																																																																																																																
Combustible ACE2	Combustible ACE2	Combustible ACE2	Combustible ACE2																																																																																																																																
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr><td>O₂</td><td style="text-align: right;">20.9 %</td></tr> <tr><td>CO</td><td style="text-align: right;">223 ppm</td></tr> <tr><td>Eff</td><td style="text-align: right;">--- %</td></tr> <tr><td>CO₂</td><td style="text-align: right;">--- %</td></tr> <tr><td>T-STK</td><td style="text-align: right;">277 °C</td></tr> <tr><td>T-AIR</td><td style="text-align: right;">30.8 °C</td></tr> <tr><td>EA</td><td style="text-align: right;">--- %</td></tr> <tr><td>CO (0)</td><td style="text-align: right;">--- ppm</td></tr> <tr><td>NO</td><td style="text-align: right;">1782 ppm</td></tr> <tr><td>NO₂</td><td style="text-align: right;">*** ppm</td></tr> <tr><td>NO_x</td><td style="text-align: right;">*** ppm</td></tr> <tr><td>SO₂</td><td style="text-align: right;">*** ppm</td></tr> <tr><td>NO (0)</td><td style="text-align: right;">--- ppm</td></tr> <tr><td>NO₂ (0)</td><td style="text-align: right;">*** ppm</td></tr> <tr><td>NO_x (0)</td><td style="text-align: right;">*** ppm</td></tr> <tr><td>SO₂ (0)</td><td style="text-align: right;">*** ppm</td></tr> </table>	O ₂	20.9 %	CO	223 ppm	Eff	--- %	CO ₂	--- %	T-STK	277 °C	T-AIR	30.8 °C	EA	--- %	CO (0)	--- ppm	NO	1782 ppm	NO ₂	*** ppm	NO _x	*** ppm	SO ₂	*** ppm	NO (0)	--- ppm	NO ₂ (0)	*** ppm	NO _x (0)	*** ppm	SO ₂ (0)	*** ppm	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr><td>O₂</td><td style="text-align: right;">20.9 %</td></tr> <tr><td>CO</td><td style="text-align: right;">198 ppm</td></tr> <tr><td>Eff</td><td style="text-align: right;">--- %</td></tr> <tr><td>CO₂</td><td style="text-align: right;">--- %</td></tr> <tr><td>T-STK</td><td style="text-align: right;">252 °C</td></tr> <tr><td>T-AIR</td><td style="text-align: right;">30.6 °C</td></tr> <tr><td>EA</td><td style="text-align: right;">--- %</td></tr> <tr><td>CO (0)</td><td style="text-align: right;">--- ppm</td></tr> <tr><td>NO</td><td style="text-align: right;">1693 ppm</td></tr> <tr><td>NO₂</td><td style="text-align: right;">*** ppm</td></tr> <tr><td>NO_x</td><td style="text-align: right;">*** ppm</td></tr> <tr><td>SO₂</td><td style="text-align: right;">*** ppm</td></tr> <tr><td>NO (0)</td><td style="text-align: right;">--- ppm</td></tr> <tr><td>NO₂ (0)</td><td style="text-align: right;">*** ppm</td></tr> <tr><td>NO_x (0)</td><td style="text-align: right;">*** ppm</td></tr> <tr><td>SO₂ (0)</td><td style="text-align: right;">*** ppm</td></tr> </table>	O ₂	20.9 %	CO	198 ppm	Eff	--- %	CO ₂	--- %	T-STK	252 °C	T-AIR	30.6 °C	EA	--- %	CO (0)	--- ppm	NO	1693 ppm	NO ₂	*** ppm	NO _x	*** ppm	SO ₂	*** ppm	NO (0)	--- ppm	NO ₂ (0)	*** ppm	NO _x (0)	*** ppm	SO ₂ (0)	*** ppm	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr><td>O₂</td><td style="text-align: right;">20.9 %</td></tr> <tr><td>CO</td><td style="text-align: right;">255 ppm</td></tr> <tr><td>Eff</td><td style="text-align: right;">--- %</td></tr> <tr><td>CO₂</td><td style="text-align: right;">--- %</td></tr> <tr><td>T-STK</td><td style="text-align: right;">288 °C</td></tr> <tr><td>T-AIR</td><td style="text-align: right;">32.5 °C</td></tr> <tr><td>EA</td><td style="text-align: right;">--- %</td></tr> <tr><td>CO (0)</td><td style="text-align: right;">--- ppm</td></tr> <tr><td>NO</td><td style="text-align: right;">1853 ppm</td></tr> <tr><td>NO₂</td><td style="text-align: right;">*** ppm</td></tr> <tr><td>NO_x</td><td style="text-align: right;">*** ppm</td></tr> <tr><td>SO₂</td><td style="text-align: right;">*** ppm</td></tr> <tr><td>NO (0)</td><td style="text-align: right;">--- ppm</td></tr> <tr><td>NO₂ (0)</td><td style="text-align: right;">*** ppm</td></tr> <tr><td>NO_x (0)</td><td style="text-align: right;">*** ppm</td></tr> <tr><td>SO₂ (0)</td><td style="text-align: right;">--- ppm</td></tr> </table>	O ₂	20.9 %	CO	255 ppm	Eff	--- %	CO ₂	--- %	T-STK	288 °C	T-AIR	32.5 °C	EA	--- %	CO (0)	--- ppm	NO	1853 ppm	NO ₂	*** ppm	NO _x	*** ppm	SO ₂	*** ppm	NO (0)	--- ppm	NO ₂ (0)	*** ppm	NO _x (0)	*** ppm	SO ₂ (0)	--- ppm	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr><td>O₂</td><td style="text-align: right;">20.9 %</td></tr> <tr><td>CO</td><td style="text-align: right;">238 ppm</td></tr> <tr><td>Eff</td><td style="text-align: right;">--- %</td></tr> <tr><td>CO₂</td><td style="text-align: right;">--- %</td></tr> <tr><td>T-STK</td><td style="text-align: right;">255 °C</td></tr> <tr><td>T-AIR</td><td style="text-align: right;">32.3 °C</td></tr> <tr><td>EA</td><td style="text-align: right;">--- %</td></tr> <tr><td>CO (0)</td><td style="text-align: right;">--- ppm</td></tr> <tr><td>NO</td><td style="text-align: right;">1745 ppm</td></tr> <tr><td>NO₂</td><td style="text-align: right;">*** ppm</td></tr> <tr><td>NO_x</td><td style="text-align: right;">*** ppm</td></tr> <tr><td>SO₂</td><td style="text-align: right;">*** ppm</td></tr> <tr><td>NO (0)</td><td style="text-align: right;">--- ppm</td></tr> <tr><td>NO₂ (0)</td><td style="text-align: right;">*** ppm</td></tr> <tr><td>NO_x (0)</td><td style="text-align: right;">*** ppm</td></tr> <tr><td>SO₂ (0)</td><td style="text-align: right;">--- ppm</td></tr> </table>	O ₂	20.9 %	CO	238 ppm	Eff	--- %	CO ₂	--- %	T-STK	255 °C	T-AIR	32.3 °C	EA	--- %	CO (0)	--- ppm	NO	1745 ppm	NO ₂	*** ppm	NO _x	*** ppm	SO ₂	*** ppm	NO (0)	--- ppm	NO ₂ (0)	*** ppm	NO _x (0)	*** ppm	SO ₂ (0)	--- ppm
O ₂	20.9 %																																																																																																																																		
CO	223 ppm																																																																																																																																		
Eff	--- %																																																																																																																																		
CO ₂	--- %																																																																																																																																		
T-STK	277 °C																																																																																																																																		
T-AIR	30.8 °C																																																																																																																																		
EA	--- %																																																																																																																																		
CO (0)	--- ppm																																																																																																																																		
NO	1782 ppm																																																																																																																																		
NO ₂	*** ppm																																																																																																																																		
NO _x	*** ppm																																																																																																																																		
SO ₂	*** ppm																																																																																																																																		
NO (0)	--- ppm																																																																																																																																		
NO ₂ (0)	*** ppm																																																																																																																																		
NO _x (0)	*** ppm																																																																																																																																		
SO ₂ (0)	*** ppm																																																																																																																																		
O ₂	20.9 %																																																																																																																																		
CO	198 ppm																																																																																																																																		
Eff	--- %																																																																																																																																		
CO ₂	--- %																																																																																																																																		
T-STK	252 °C																																																																																																																																		
T-AIR	30.6 °C																																																																																																																																		
EA	--- %																																																																																																																																		
CO (0)	--- ppm																																																																																																																																		
NO	1693 ppm																																																																																																																																		
NO ₂	*** ppm																																																																																																																																		
NO _x	*** ppm																																																																																																																																		
SO ₂	*** ppm																																																																																																																																		
NO (0)	--- ppm																																																																																																																																		
NO ₂ (0)	*** ppm																																																																																																																																		
NO _x (0)	*** ppm																																																																																																																																		
SO ₂ (0)	*** ppm																																																																																																																																		
O ₂	20.9 %																																																																																																																																		
CO	255 ppm																																																																																																																																		
Eff	--- %																																																																																																																																		
CO ₂	--- %																																																																																																																																		
T-STK	288 °C																																																																																																																																		
T-AIR	32.5 °C																																																																																																																																		
EA	--- %																																																																																																																																		
CO (0)	--- ppm																																																																																																																																		
NO	1853 ppm																																																																																																																																		
NO ₂	*** ppm																																																																																																																																		
NO _x	*** ppm																																																																																																																																		
SO ₂	*** ppm																																																																																																																																		
NO (0)	--- ppm																																																																																																																																		
NO ₂ (0)	*** ppm																																																																																																																																		
NO _x (0)	*** ppm																																																																																																																																		
SO ₂ (0)	--- ppm																																																																																																																																		
O ₂	20.9 %																																																																																																																																		
CO	238 ppm																																																																																																																																		
Eff	--- %																																																																																																																																		
CO ₂	--- %																																																																																																																																		
T-STK	255 °C																																																																																																																																		
T-AIR	32.3 °C																																																																																																																																		
EA	--- %																																																																																																																																		
CO (0)	--- ppm																																																																																																																																		
NO	1745 ppm																																																																																																																																		
NO ₂	*** ppm																																																																																																																																		
NO _x	*** ppm																																																																																																																																		
SO ₂	*** ppm																																																																																																																																		
NO (0)	--- ppm																																																																																																																																		
NO ₂ (0)	*** ppm																																																																																																																																		
NO _x (0)	*** ppm																																																																																																																																		
SO ₂ (0)	--- ppm																																																																																																																																		
Lectura del Tiro 5.44 inwc	Lectura del Tiro 5.48 inwc	Lectura del Tiro 5.32 inwc	Lectura del Tiro 5.55 inwc																																																																																																																																
Comentarios:	Comentarios:	Comentarios:	Comentarios:																																																																																																																																

Anexo 4. Resultados de medición de gases - equipo Bacharach (Con dispositivo G-P)

<p style="text-align: center;">BACHARACH</p> <p style="text-align: center;">BACHARACH, INC. PCA 2 SN: PZ1140</p> <hr/> <p>TRACTOR..2. CT.....</p> <hr/> <p>Hora: 15:21:53 Fecha: 22/12/20</p> <p style="text-align: center;">Combustible ACE2</p> <table style="width: 100%;"> <tr><td>O₂</td><td>20.9 %</td></tr> <tr><td>CO</td><td>158 ppm</td></tr> <tr><td>Eff</td><td>--- %</td></tr> <tr><td>CO₂</td><td>--- %</td></tr> <tr><td>T-STK</td><td>275 °C</td></tr> <tr><td>T-AIR</td><td>33.2 °C</td></tr> <tr><td>EA</td><td>--- %</td></tr> <tr><td>CO (0)</td><td>--- ppm</td></tr> <tr><td>NO</td><td>1707 ppm</td></tr> <tr><td>NO₂</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>NOx</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>SO₂</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>NO (0)</td><td>--- ppm</td></tr> <tr><td>NO₂ (0)</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>NOx (0)</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>SO₂ (0)</td><td>--- ppm</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">Lectura del Tiro 4.65 inwc</p> <hr/> <p>Comentarios:</p>	O ₂	20.9 %	CO	158 ppm	Eff	--- %	CO ₂	--- %	T-STK	275 °C	T-AIR	33.2 °C	EA	--- %	CO (0)	--- ppm	NO	1707 ppm	NO ₂	*** ppm	NOx	*** ppm	SO ₂	*** ppm	NO (0)	--- ppm	NO ₂ (0)	*** ppm	NOx (0)	*** ppm	SO ₂ (0)	--- ppm	<p style="text-align: center;">BACHARACH</p> <p style="text-align: center;">BACHARACH, INC. PCA 2 SN: PZ1140</p> <hr/> <p>TRACTOR..2. DL.....</p> <hr/> <p>Hora: 15:28:19 Fecha: 22/12/20</p> <p style="text-align: center;">Combustible ACE2</p> <table style="width: 100%;"> <tr><td>O₂</td><td>20.9 %</td></tr> <tr><td>CO</td><td>188 ppm</td></tr> <tr><td>Eff</td><td>--- %</td></tr> <tr><td>CO₂</td><td>--- %</td></tr> <tr><td>T-STK</td><td>245 °C</td></tr> <tr><td>T-AIR</td><td>35.4 °C</td></tr> <tr><td>EA</td><td>--- %</td></tr> <tr><td>CO (0)</td><td>--- ppm</td></tr> <tr><td>NO</td><td>1262 ppm</td></tr> <tr><td>NO₂</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>NOx</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>SO₂</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>NO (0)</td><td>--- ppm</td></tr> <tr><td>NO₂ (0)</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>NOx (0)</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>SO₂ (0)</td><td>--- ppm</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">Lectura del Tiro 4.19 inwc</p> <hr/> <p>Comentarios:</p>	O ₂	20.9 %	CO	188 ppm	Eff	--- %	CO ₂	--- %	T-STK	245 °C	T-AIR	35.4 °C	EA	--- %	CO (0)	--- ppm	NO	1262 ppm	NO ₂	*** ppm	NOx	*** ppm	SO ₂	*** ppm	NO (0)	--- ppm	NO ₂ (0)	*** ppm	NOx (0)	*** ppm	SO ₂ (0)	--- ppm	<p style="text-align: center;">BACHARACH</p> <p style="text-align: center;">BACHARACH, INC. PCA 2 SN: PZ1140</p> <hr/> <p>TRACTOR..2. CT.....</p> <hr/> <p>Hora: 15:44:49 Fecha: 22/12/20</p> <p style="text-align: center;">Combustible ACE2</p> <table style="width: 100%;"> <tr><td>O₂</td><td>20.9 %</td></tr> <tr><td>CO</td><td>195 ppm</td></tr> <tr><td>Eff</td><td>--- %</td></tr> <tr><td>CO₂</td><td>--- %</td></tr> <tr><td>T-STK</td><td>254 °C</td></tr> <tr><td>T-AIR</td><td>35.7 °C</td></tr> <tr><td>EA</td><td>--- %</td></tr> <tr><td>CO (0)</td><td>--- ppm</td></tr> <tr><td>NO</td><td>1633 ppm</td></tr> <tr><td>NO₂</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>NOx</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>SO₂</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>NO (0)</td><td>--- ppm</td></tr> <tr><td>NO₂ (0)</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>NOx (0)</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>SO₂ (0)</td><td>--- ppm</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">Lectura del Tiro 3.88 inwc</p> <hr/> <p>Comentarios:</p>	O ₂	20.9 %	CO	195 ppm	Eff	--- %	CO ₂	--- %	T-STK	254 °C	T-AIR	35.7 °C	EA	--- %	CO (0)	--- ppm	NO	1633 ppm	NO ₂	*** ppm	NOx	*** ppm	SO ₂	*** ppm	NO (0)	--- ppm	NO ₂ (0)	*** ppm	NOx (0)	*** ppm	SO ₂ (0)	--- ppm	<p style="text-align: center;">BACHARACH</p> <p style="text-align: center;">BACHARACH, INC. PCA 2 SN: PZ1140</p> <hr/> <p>TRACTOR..2. DL.....</p> <hr/> <p>Hora: 15:52:29 Fecha: 22/12/20</p> <p style="text-align: center;">Combustible ACE2</p> <table style="width: 100%;"> <tr><td>O₂</td><td>20.9 %</td></tr> <tr><td>CO</td><td>179 ppm</td></tr> <tr><td>Eff</td><td>--- %</td></tr> <tr><td>CO₂</td><td>--- %</td></tr> <tr><td>T-STK</td><td>232 °C</td></tr> <tr><td>T-AIR</td><td>34.4 °C</td></tr> <tr><td>EA</td><td>--- %</td></tr> <tr><td>CO (0)</td><td>--- ppm</td></tr> <tr><td>NO</td><td>1362 ppm</td></tr> <tr><td>NO₂</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>NOx</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>SO₂</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>NO (0)</td><td>--- ppm</td></tr> <tr><td>NO₂ (0)</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>NOx (0)</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>SO₂ (0)</td><td>--- ppm</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">Lectura del Tiro 3.92 inwc</p> <hr/> <p>Comentarios:</p>	O ₂	20.9 %	CO	179 ppm	Eff	--- %	CO ₂	--- %	T-STK	232 °C	T-AIR	34.4 °C	EA	--- %	CO (0)	--- ppm	NO	1362 ppm	NO ₂	*** ppm	NOx	*** ppm	SO ₂	*** ppm	NO (0)	--- ppm	NO ₂ (0)	*** ppm	NOx (0)	*** ppm	SO ₂ (0)	--- ppm
O ₂	20.9 %																																																																																																																																		
CO	158 ppm																																																																																																																																		
Eff	--- %																																																																																																																																		
CO ₂	--- %																																																																																																																																		
T-STK	275 °C																																																																																																																																		
T-AIR	33.2 °C																																																																																																																																		
EA	--- %																																																																																																																																		
CO (0)	--- ppm																																																																																																																																		
NO	1707 ppm																																																																																																																																		
NO ₂	*** ppm																																																																																																																																		
NOx	*** ppm																																																																																																																																		
SO ₂	*** ppm																																																																																																																																		
NO (0)	--- ppm																																																																																																																																		
NO ₂ (0)	*** ppm																																																																																																																																		
NOx (0)	*** ppm																																																																																																																																		
SO ₂ (0)	--- ppm																																																																																																																																		
O ₂	20.9 %																																																																																																																																		
CO	188 ppm																																																																																																																																		
Eff	--- %																																																																																																																																		
CO ₂	--- %																																																																																																																																		
T-STK	245 °C																																																																																																																																		
T-AIR	35.4 °C																																																																																																																																		
EA	--- %																																																																																																																																		
CO (0)	--- ppm																																																																																																																																		
NO	1262 ppm																																																																																																																																		
NO ₂	*** ppm																																																																																																																																		
NOx	*** ppm																																																																																																																																		
SO ₂	*** ppm																																																																																																																																		
NO (0)	--- ppm																																																																																																																																		
NO ₂ (0)	*** ppm																																																																																																																																		
NOx (0)	*** ppm																																																																																																																																		
SO ₂ (0)	--- ppm																																																																																																																																		
O ₂	20.9 %																																																																																																																																		
CO	195 ppm																																																																																																																																		
Eff	--- %																																																																																																																																		
CO ₂	--- %																																																																																																																																		
T-STK	254 °C																																																																																																																																		
T-AIR	35.7 °C																																																																																																																																		
EA	--- %																																																																																																																																		
CO (0)	--- ppm																																																																																																																																		
NO	1633 ppm																																																																																																																																		
NO ₂	*** ppm																																																																																																																																		
NOx	*** ppm																																																																																																																																		
SO ₂	*** ppm																																																																																																																																		
NO (0)	--- ppm																																																																																																																																		
NO ₂ (0)	*** ppm																																																																																																																																		
NOx (0)	*** ppm																																																																																																																																		
SO ₂ (0)	--- ppm																																																																																																																																		
O ₂	20.9 %																																																																																																																																		
CO	179 ppm																																																																																																																																		
Eff	--- %																																																																																																																																		
CO ₂	--- %																																																																																																																																		
T-STK	232 °C																																																																																																																																		
T-AIR	34.4 °C																																																																																																																																		
EA	--- %																																																																																																																																		
CO (0)	--- ppm																																																																																																																																		
NO	1362 ppm																																																																																																																																		
NO ₂	*** ppm																																																																																																																																		
NOx	*** ppm																																																																																																																																		
SO ₂	*** ppm																																																																																																																																		
NO (0)	--- ppm																																																																																																																																		
NO ₂ (0)	*** ppm																																																																																																																																		
NOx (0)	*** ppm																																																																																																																																		
SO ₂ (0)	--- ppm																																																																																																																																		

<p style="text-align: center;">BACHARACH</p> <p style="text-align: center;">BACHARACH, INC. PCA 2 SN: PZ1140</p> <p>=====</p> <p>TRACTOR..2. CT.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>Hora: 16:01:15 Fecha: 22/12/20</p> <p style="text-align: center;">Combustible ACE2</p> <table border="0"> <tr><td>O₂</td><td>20.9 %</td></tr> <tr><td>CO</td><td>175 ppm</td></tr> <tr><td>Eff</td><td>--- %</td></tr> <tr><td>CO₂</td><td>--- %</td></tr> <tr><td>T-STK</td><td>258 °C</td></tr> <tr><td>T-AIR</td><td>34.9 °C</td></tr> <tr><td>EA</td><td>--- %</td></tr> <tr><td>CO (0)</td><td>--- ppm</td></tr> <tr><td>NO</td><td>1643 ppm</td></tr> <tr><td>NO₂</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>NO_x</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>SO₂</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>NO (0)</td><td>--- ppm</td></tr> <tr><td>NO₂ (0)</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>NO_x (0)</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>SO₂ (0)</td><td>--- ppm</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">Lectura del Tiro 4.17 inwc</p> <p>-----</p> <p>Comentarios:</p>	O ₂	20.9 %	CO	175 ppm	Eff	--- %	CO ₂	--- %	T-STK	258 °C	T-AIR	34.9 °C	EA	--- %	CO (0)	--- ppm	NO	1643 ppm	NO ₂	*** ppm	NO _x	*** ppm	SO ₂	*** ppm	NO (0)	--- ppm	NO ₂ (0)	*** ppm	NO _x (0)	*** ppm	SO ₂ (0)	--- ppm	<p style="text-align: center;">BACHARACH</p> <p style="text-align: center;">BACHARACH, INC. PCA 2 SN: PZ1140</p> <p>=====</p> <p>TRACTOR..2. DL.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>Hora: 16:11:10 Fecha: 22/12/20</p> <p style="text-align: center;">Combustible ACE2</p> <table border="0"> <tr><td>O₂</td><td>20.9 %</td></tr> <tr><td>CO</td><td>197 ppm</td></tr> <tr><td>Eff</td><td>--- %</td></tr> <tr><td>CO₂</td><td>--- %</td></tr> <tr><td>T-STK</td><td>252 °C</td></tr> <tr><td>T-AIR</td><td>35.1 °C</td></tr> <tr><td>EA</td><td>--- %</td></tr> <tr><td>CO (0)</td><td>--- ppm</td></tr> <tr><td>NO</td><td>1298 ppm</td></tr> <tr><td>NO₂</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>NO_x</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>SO₂</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>NO (0)</td><td>--- ppm</td></tr> <tr><td>NO₂ (0)</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>NO_x (0)</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>SO₂ (0)</td><td>--- ppm</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">Lectura del Tiro 4.23 inwc</p> <p>-----</p> <p>Comentarios:</p>	O ₂	20.9 %	CO	197 ppm	Eff	--- %	CO ₂	--- %	T-STK	252 °C	T-AIR	35.1 °C	EA	--- %	CO (0)	--- ppm	NO	1298 ppm	NO ₂	*** ppm	NO _x	*** ppm	SO ₂	*** ppm	NO (0)	--- ppm	NO ₂ (0)	*** ppm	NO _x (0)	*** ppm	SO ₂ (0)	--- ppm	<p style="text-align: center;">BACHARACH</p> <p style="text-align: center;">BACHARACH, INC. PCA 2 SN: PZ1140</p> <p>=====</p> <p>TRACTOR..2. CT.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>Hora: 16:29:07 Fecha: 22/12/20</p> <p style="text-align: center;">Combustible ACE2</p> <table border="0"> <tr><td>O₂</td><td>20.9 %</td></tr> <tr><td>CO</td><td>182 ppm</td></tr> <tr><td>Eff</td><td>--- %</td></tr> <tr><td>CO₂</td><td>--- %</td></tr> <tr><td>T-STK</td><td>272 °C</td></tr> <tr><td>T-AIR</td><td>33.9 °C</td></tr> <tr><td>EA</td><td>--- %</td></tr> <tr><td>CO (0)</td><td>--- ppm</td></tr> <tr><td>NO</td><td>1698 ppm</td></tr> <tr><td>NO₂</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>NO_x</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>SO₂</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>NO (0)</td><td>--- ppm</td></tr> <tr><td>NO₂ (0)</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>NO_x (0)</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>SO₂ (0)</td><td>--- ppm</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">Lectura del Tiro 4.18 inwc</p> <p>-----</p> <p>Comentarios:</p>	O ₂	20.9 %	CO	182 ppm	Eff	--- %	CO ₂	--- %	T-STK	272 °C	T-AIR	33.9 °C	EA	--- %	CO (0)	--- ppm	NO	1698 ppm	NO ₂	*** ppm	NO _x	*** ppm	SO ₂	*** ppm	NO (0)	--- ppm	NO ₂ (0)	*** ppm	NO _x (0)	*** ppm	SO ₂ (0)	--- ppm	<p style="text-align: center;">BACHARACH</p> <p style="text-align: center;">BACHARACH, INC. PCA 2 SN: PZ1140</p> <p>=====</p> <p>TRACTOR..2. DL.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>Hora: 16:18:21 Fecha: 22/12/20</p> <p style="text-align: center;">Combustible ACE2</p> <table border="0"> <tr><td>O₂</td><td>20.9 %</td></tr> <tr><td>CO</td><td>186 ppm</td></tr> <tr><td>Eff</td><td>--- %</td></tr> <tr><td>CO₂</td><td>--- %</td></tr> <tr><td>T-STK</td><td>253 °C</td></tr> <tr><td>T-AIR</td><td>34.4 °C</td></tr> <tr><td>EA</td><td>--- %</td></tr> <tr><td>CO (0)</td><td>--- ppm</td></tr> <tr><td>NO</td><td>1352 ppm</td></tr> <tr><td>NO₂</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>NO_x</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>SO₂</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>NO (0)</td><td>--- ppm</td></tr> <tr><td>NO₂ (0)</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>NO_x (0)</td><td>*** ppm</td></tr> <tr><td>SO₂ (0)</td><td>--- ppm</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">Lectura del Tiro 4.25 inwc</p> <p>-----</p> <p>Comentarios:</p>	O ₂	20.9 %	CO	186 ppm	Eff	--- %	CO ₂	--- %	T-STK	253 °C	T-AIR	34.4 °C	EA	--- %	CO (0)	--- ppm	NO	1352 ppm	NO ₂	*** ppm	NO _x	*** ppm	SO ₂	*** ppm	NO (0)	--- ppm	NO ₂ (0)	*** ppm	NO _x (0)	*** ppm	SO ₂ (0)	--- ppm
O ₂	20.9 %																																																																																																																																		
CO	175 ppm																																																																																																																																		
Eff	--- %																																																																																																																																		
CO ₂	--- %																																																																																																																																		
T-STK	258 °C																																																																																																																																		
T-AIR	34.9 °C																																																																																																																																		
EA	--- %																																																																																																																																		
CO (0)	--- ppm																																																																																																																																		
NO	1643 ppm																																																																																																																																		
NO ₂	*** ppm																																																																																																																																		
NO _x	*** ppm																																																																																																																																		
SO ₂	*** ppm																																																																																																																																		
NO (0)	--- ppm																																																																																																																																		
NO ₂ (0)	*** ppm																																																																																																																																		
NO _x (0)	*** ppm																																																																																																																																		
SO ₂ (0)	--- ppm																																																																																																																																		
O ₂	20.9 %																																																																																																																																		
CO	197 ppm																																																																																																																																		
Eff	--- %																																																																																																																																		
CO ₂	--- %																																																																																																																																		
T-STK	252 °C																																																																																																																																		
T-AIR	35.1 °C																																																																																																																																		
EA	--- %																																																																																																																																		
CO (0)	--- ppm																																																																																																																																		
NO	1298 ppm																																																																																																																																		
NO ₂	*** ppm																																																																																																																																		
NO _x	*** ppm																																																																																																																																		
SO ₂	*** ppm																																																																																																																																		
NO (0)	--- ppm																																																																																																																																		
NO ₂ (0)	*** ppm																																																																																																																																		
NO _x (0)	*** ppm																																																																																																																																		
SO ₂ (0)	--- ppm																																																																																																																																		
O ₂	20.9 %																																																																																																																																		
CO	182 ppm																																																																																																																																		
Eff	--- %																																																																																																																																		
CO ₂	--- %																																																																																																																																		
T-STK	272 °C																																																																																																																																		
T-AIR	33.9 °C																																																																																																																																		
EA	--- %																																																																																																																																		
CO (0)	--- ppm																																																																																																																																		
NO	1698 ppm																																																																																																																																		
NO ₂	*** ppm																																																																																																																																		
NO _x	*** ppm																																																																																																																																		
SO ₂	*** ppm																																																																																																																																		
NO (0)	--- ppm																																																																																																																																		
NO ₂ (0)	*** ppm																																																																																																																																		
NO _x (0)	*** ppm																																																																																																																																		
SO ₂ (0)	--- ppm																																																																																																																																		
O ₂	20.9 %																																																																																																																																		
CO	186 ppm																																																																																																																																		
Eff	--- %																																																																																																																																		
CO ₂	--- %																																																																																																																																		
T-STK	253 °C																																																																																																																																		
T-AIR	34.4 °C																																																																																																																																		
EA	--- %																																																																																																																																		
CO (0)	--- ppm																																																																																																																																		
NO	1352 ppm																																																																																																																																		
NO ₂	*** ppm																																																																																																																																		
NO _x	*** ppm																																																																																																																																		
SO ₂	*** ppm																																																																																																																																		
NO (0)	--- ppm																																																																																																																																		
NO ₂ (0)	*** ppm																																																																																																																																		
NO _x (0)	*** ppm																																																																																																																																		
SO ₂ (0)	--- ppm																																																																																																																																		

Anexo 5. Fotos varias del ensayo

Medición de consumo	Medición de gases
 A close-up photograph of a wooden fuel flowmeter mounted on a tractor. The device consists of a vertical wooden frame with a clear tube in the center containing a float. Yellow hoses are connected to the top and bottom of the frame. The tractor's engine and steering wheel are visible in the background.	 A person wearing a white shirt and blue jeans is kneeling on the ground next to a tractor. They are holding a handheld electronic device, likely a gas analyzer, and looking at the screen. The background shows the rear of a tractor.
Control de presión de trabajo	
 A close-up photograph of a pressure gauge mounted on a tractor engine. The gauge has a white face with a needle and is connected to a metal pipe. A person's hand is visible near the gauge, possibly adjusting it. The engine components are visible in the background.	

Vista de pulverizadora funcionando	Vista lateral de montaje de unidad G-P
	
Vista frontal de unidad G-P montada	Unión cardánica donde se midió torque y RPM
	