



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA
TRATAR LAS EMISIONES DEL MOTOR DE
UN VEHÍCULO DE PASAJEROS MODELO
E-NT710 CON DESTINO A NORTEAMÉRICA
EN LA EMPRESA ENCAVA, C.A.**

Autor: Esteves, Antony

C.I: 25.892.738

Urb. Yuma II, calle N° 3, San Diego, Edo Carabobo
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE MECÁNICA
CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA TRATAR LAS EMISIONES
DEL MOTOR DE UN VEHÍCULO DE PASAJEROS MODELO E-NT710 CON
DESTINO A NORTEAMÉRICA EN LA EMPRESA ENCAVA, C.A.**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

Empresa: ENCAVA, C.A.

Autor: Esteves, Antony

Tutor: Ing. Donato Romanello

SAN DIEGO, AGOSTO DE 2018

https://drive.google.com/file/d/1Y8Us3htEJS9_s2gulusjpMv3kNgNQq_M/view?usp=sharing



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE MECÁNICA
CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA TRATAR LAS EMISIONES
DEL MOTOR DE UN VEHÍCULO DE PASAJEROS MODELO E-NT710 CON
DESTINO A NORTEAMÉRICA EN LA EMPRESA ENCAVA, C.A.

CONSTANCIA DE ACEPTACIÓN

Tutor académico: MSc. Ing. Donato Romanello. C.I: 4.131.877

Tutor empresarial Sr. Alexis Navarro. C.I: 4.134.886

AUTOR: ESTEVES, ANTONY

C. I: 25.892.738

SAN DIEGO, AGOSTO DE 2018

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada, agradezco a Dios sobre todas las cosas, por haberme dado el don de la vida y gracias a eso poder redactar este trabajo de grado. Por haberme protegido durante toda mi carrera. También agradezco a la virgen María, al santísimo señor Jesucristo, al espíritu santo, a todos los ángeles y arcángeles y a todos los amigos y familiares que están en el cielo y que de alguna u otra forma hicieron posible alcanzar este logro.

Agradezco profundamente a mis padres por su apoyo incondicional durante mi carrera y toda mi vida, crucial para alcanzar este nuevo éxito en mi vida.

Agradezco a todos mis familiares por el apoyo dado durante toda mi carrera y ser ejemplo para alcanzar el éxito y demostrar de que si es posible.

Agradezco a todos los profesores de la Universidad José Antonio Páez porque, a pesar de las precarias situaciones que vive el país, siguieron dando su apoyo y esfuerzo a las generaciones de relevo, transmitiendo sus conocimientos y preparando buenos profesionales.

DEDICATORIAS

Este trabajo va especialmente dedicado a mi difunto abuelo, Manuel de Jesús Boada, que, a pesar de nunca haberlo conocido físicamente, ha sido mi fuente de inspiración siempre por todos los logros alcanzados en su vida.

A mi madre, Marhibi Boada Urbaneja, por ser una persona incondicional con su amor y su apoyo durante toda mi vida y mi carrera.

A mi padre, Antonio Miguel Esteves Dos Santos, por haberme apoyado siempre y ser inspiración para querer siempre alcanzar el éxito y ser el mejor en todo lo que me proponga hacer.

A mis padres Marhibi y Antonio, porque sin ellos este logro no hubiese sido posible.

A mis hermanos Miguel Antonio y Manuel Antonio, por servirles como ejemplo en todas las acciones que hagan.

A mis abuelos, que siempre me han apoyado y deseando lo mejor para mí.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Pp.
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE ABREVIACIONES	xxi
RESUMEN.....	xxii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
LA EMPRESA.....	3
1.1 Descripción de la empresa.....	3
1.3 Reseña histórica.....	4
1.4 Procesos básicos, productos elaborados y mercado	5
1.5 Seguridad y cumplimiento de las normativas.....	7
1.6 Capacidad instalada.....	7
1.7 Cifras de la empresa	8
1.8 Misión.....	9
1.9 Visión	9
1.10 Valores.....	9
1.11 Actividades realizadas durante el período de pasantías	10
CAPÍTULO II	11
EL PROBLEMA	11
2.1 Identificación del problema.....	11
2.2 Planteamiento del problema	11
2.3 Formulación del problema.....	12
2.4 Objetivos de la investigación.....	12
2.4.1 Objetivo General.....	12

2.4.2	Objetivos específicos	13
2.5	Justificación y alcance	13
2.6	Limitaciones	14
CAPÍTULO III.....		15
MARCO REFERENCIAL CONCEPTUAL		15
3.1	Antecedentes.....	15
3.2	Bases teóricas	16
3.2.1	Emisión (contaminación).....	16
3.2.1.1	Emisiones de la tubería de escape	17
3.2.1.2	Hidrocarburos (HC)	17
3.2.1.3	Óxidos de nitrógeno (NO _x)	17
3.2.1.4	Monóxido de carbono (CO)	18
3.2.1.5	Dióxido de carbono (CO ₂)	18
3.2.1.6	Emisiones evaporadas	19
3.2.1.7	Ventilación del tanque de gasolina	19
3.2.1.8	Pérdidas y fugas	19
3.2.1.9	Pérdidas de recargas	19
3.2.1.10	Emisiones del ciclo de vida.....	19
3.2.2	Control de emisiones	20
3.2.2.1	Incremento en la eficiencia del motor	20
3.2.2.2	Incremento en la eficiencia del vehículo.....	21
3.2.2.3	Incremento en la eficiencia de manejo.....	21
3.2.2.4	Limpieza de las emisiones producidas	21
3.2.2.4.1	Inyección de aire	21
3.2.2.4.2	Reciclaje y recirculación de los gases de escape (EGR)	22
3.2.2.4.3	Convertidor Catalítico (Sistema de Postratamiento)	23
3.2.2.4.3.1	Funcionamiento	23
3.2.2.4.3.2	Funcionamiento en ciclo cerrado	25

3.2.2.4.3.3 Composición y estructura	26
3.2.2.4.3.4 Tipos de convertidores catalíticos	27
3.2.2.4.3.5 Convertidores catalíticos en motores diésel.....	28
3.2.2.4.3.6 Convertidor catalítico de módulo individual	32
3.2.2.4.3.7 Reacciones químicas en los convertidores catalíticos	34
3.2.2.4.3.8 Arquitectura de un sistema de postratamiento.....	34
3.2.3 Boletines de Ingeniería de Cummins	36
3.2.4 Agencias reguladoras de emisiones de vehículos	37
3.2.5 E-NT710 USA	38
3.2.6 Cálculos asociados a los elementos del sistema de postratamiento.....	39
3.2.6.1 Corrosión.....	39
3.2.6.2 Velocidad de corrosión	40
3.2.6.3 Momento de flexión en vigas.....	41
3.2.6.3.1 Fuerza o carga G.....	42
3.3 Definición de términos básicos	42
CAPÍTULO IV	44
FASES METODOLÓGICAS.....	44
4.1 Fases de la investigación	44
CAPÍTULO V.....	47
RESULTADOS.....	47
5.1 Análisis De Los Boletines De Ingeniería Basados En Los Estándares De La Agencia De Protección Ambiental.	47
5.2 Determinación De Los Criterios Y Elementos Necesarios Para La Conformación Del Sistema De Tratamiento.	54
5.3 Desarrollo De La Estructura Del Sistema De Tratamiento De Emisiones.....	67
5.3.1 Selección del convertidor catalítico.....	67
5.3.2 Arquitectura y conformación del sistema de postratamiento.....	74

5.3.2.1 Sistema de dosificación.....	75
5.3.3 Requerimientos y recomendaciones de instalación	77
5.3.3.1 General.....	77
5.3.3.1.1 Consideraciones del agua	77
5.3.3.1.2 Cumplimiento de emisiones	80
5.3.3.1.3 Consideraciones de temperatura.....	83
5.3.3.1.4 Limpieza.....	87
5.3.3.2 Montaje	83
5.3.3.2.1 Ubicaciones y soportes.....	83
5.3.3.2.2 Abrazaderas, correas y conexiones.....	90
5.3.3.3 Plomería, tubos y tuberías	91
5.3.3.3.1 Propiedades físicas	91
5.3.3.3.2 Materiales y componentes	94
5.3.3.3.3 Dimensiones de tubos y tuberías.....	99
5.3.3.4 Fluido de Escape Diésel (DEF).....	100
5.3.3.4.1 Tanque	100
5.3.3.4.2 Líneas / mangueras del fluido de escape diésel (DEF).....	104
5.3.3.4.3 Propiedades del fluido / material.....	106
5.3.3.4.4 Componentes	108
5.3.3.6 Enfriamiento del postratamiento	110
5.3.3.6.1 Diseño y posiciones.....	110
5.3.3.6.2 Propiedades de las líneas / mangueras.....	111
5.3.3.6.3 Puertos y accesorios	113
5.3.3.7 Arnés de cableado	114
5.3.3.7.1 Montaje.....	114
5.4 Evaluación Del Comportamiento Del Sistema De Acuerdo A Lo Establecido En Los Boletines De Ingeniería.....	115
5.4.1 Medición de la caída de temperatura desde el punto de conexión del motor a la entrada del tratamiento posterior.....	116

5.4.1.1 Preparación de la instrumentación	117
5.4.1.2 Preparación del vehículo	118
5.4.1.3 Condiciones de la prueba	118
5.4.1.4 Procedimiento de prueba.....	119
5.4.1.5 Resultados	119
5.4.2 Método de prueba para medir la tasa de fuga del bajante. Salida del turbo a entrada de postratamiento	120
5.4.2.1 Equipamiento	120
5.4.2.2 Procedimiento	121
5.4.3 Cálculo del momento de flexión bajo una carga de 1G.....	124
5.4.3.1 Instalaciones y casos de carga.....	124
5.4.3.2 Tipos de apoyos	124
5.4.4 Procedimiento para la prueba de entrada de agua.....	126
5.4.4.1 Directrices	127
5.4.4.2 Equipamiento	128
5.4.4.3 Procedimiento de prueba.....	128
5.4.5 Temperatura del tanque de DEF.....	131
CONCLUSIONES.....	133
RECOMENDACIONES.....	135
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136
LINKOGRAFÍA.....	138
ANEXO A	141
ANEXO B.....	143
ANEXO C	144
ANEXO D	146
ANEXO E.....	148
ANEXO F.....	149
ANEXO G	150

ANEXO H	153
ANEXO I	154
ANEXO J	155
ANEXO K	156
ANEXO L	157
ANEXO M	158
ANEXO N	159
ANEXO Ñ	160
ANEXO O	161
ANEXO P	162
ANEXO Q	163
ANEXO R	164
ANEXO S	165
ANEXO T	166
ANEXO U	168
ANEXO V	169
APÉNDICE A	171

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	Pp.
Figura 1. Logotipo de la empresa.....	3
Figura 2. Vista aérea de la empresa y sus alrededores.....	4
Figura 3. Modelos de autobuses diseñados y producidos por ENCAVA. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: ENT-610, ENT-900, ENT-3300, ENT-6100	7
Figura 4. Composición de las emisiones de un motor de gasolina (izquierda) y un motor diésel (derecha).....	18
Figura 5. Representación de un convertidor catalítico de tres vías en funcionamiento	24
Figura 6. Emisiones en g/Km de un vehículo a diésel sin convertidor catalítico (gris) y con convertidor catalítico (verde) una velocidad de 50 Km/h.	25
Figura 7. Rangos y caídas de temperaturas en cada uno de los componentes del sistema de escape de un vehículo con un convertidor catalítico implementado.	25
Figura 8. Figura 3-6. Funcionamiento del ciclo cerrado: Medidor de caudal de aire (1) / Catalizador (2 y 3) / Inyectores (4) / Sonda Lambda delantera (5) / Sonda Lambda trasera (6) / Llegada de gasolina (7) / Entrada de aire desde el filtro (8) / Escape (9).....	26
Figura 9. Esquema interno de un convertidor catalítico de 3 vías.	27
Figura 10. Esquema de los procesos químicos que se producen en un catalizador de 3 vías.	29
Figura 11. Sección de un convertidor catalítico de 3 vías.	29
Figura 12. Representación de la sección transversal de un módulo individual. Se pueden observar los distintos sistemas que conforman al convertidor catalítico de 3 vías.	31
Figura 13. Representación gráfica de las reacciones que ocurren dentro de la estructura del sistema SCR.....	32
Figura 14. Valores normales de emisiones en un convertidor catalítico de 3 vías.	33

Figura 15. Arquitectura de un sistema de postratamiento con un catalizador de 3 vías.	36
Figura 16. Evolución de los sistemas anticontaminantes Diésel, según las normas EURO. Con el pasar de los años las exigencias de las agencias reguladoras son mayores, por lo que se requiere innovación en estos sistemas.	38
Figura 17. Diseño por computadora del prototipo del E-NT710 USA.	39
Figura 18. Matriz de los AEB/CEB para los sistemas de postratamiento.....	49
Figura 19. Ejemplo de los requerimientos de un boletín de ingeniería.....	52
Figura 20. Ejemplo de los requerimientos de un boletín de ingeniería (continuación).	53
Figura 21. Lista de componentes del postratamiento responsabilidad de Cummins y OEM.....	53
Figura 22. Dispositivo de módulo único y módulo de dosificación, por parte de Cummins.	54
Figura 23. Designación para los dispositivos de módulo único de postratamiento Cummins.	67
Figura 24. Tabla con los diferentes modelos de dispositivos de módulos únicos para las diferentes aplicaciones de los motores Cummins.	68
Figura 25. Desglose de los tamaños de convertidores catalíticos con certificación EPA 2017 para cada aplicación según modelo y potencia del motor.	69
Figura 26. Vista isométrica de la zona y del espacio disponible para el montaje del dispositivo de módulo único.	70
Figura 27. Vista inferior de la zona y del espacio disponible para el montaje del dispositivo de módulo único.	71
Figura 28. Configuraciones de las diferentes entradas y salidas existentes para un dispositivo de módulo único horizontal. 1) EIEO: End In – End Out. 2) SISO: Side In – Side Out. 3) EISO: End In – Side Out. 4) SIEO: Side In – End Out.	71
Figura 29. Sistema de referencia de coordenadas para el dimensionamiento y el montaje del dispositivo de módulo único seleccionado.....	72

Figura 30. Cuadro con las características físicas de los diferentes modelos de dispositivos de módulo únicos disponibles para cada aplicación. En rojo, el dispositivo seleccionado.	73
Figura 31. Arquitectura de sistemas de postratamiento de módulo único para aplicaciones automotrices y de buses de la EPA.	75
Figura 32. Dispositivo de módulo único Cummins modelo 10SS. Mejor conocido como convertidor catalítico, se trata del modelo que será implementado en el sistema de postratamiento en estudio.	75
Figura 33. Arquitectura del sistema de dosificación para dispositivos de módulo único.	76
Figura 34. Esquema simple de las líneas de dosificación de urea del sistema de postratamiento para dispositivos de módulo único.	77
Figura 35. Tolerancias máximas de orientación permitidas para el dispositivo de módulo único con respecto al eje vertical.	77
Figura 36. Inclinación del dispositivo de módulo único en posición de montaje, con respecto al eje vertical. Diseño realizado en Pro/ENGINEER.	78
Figura 37. Inclinación del dispositivo de módulo único en posición de montaje, con respecto al eje vertical, donde se puede observar el montaje en físico.	79
Figura 38. Tolerancias máximas de orientación permitidas para el dispositivo de módulo único con respecto al eje horizontal.	79
Figura 39. Inclinación del dispositivo de módulo único en posición de montaje, con respecto al eje horizontal. Diseño realizado en Pro/ENGINEER.	80
Figura 40. Sólido del bajante de escape realizado en Pro/ENGINEER.	81
Figura 41. Diseño en Pro/ENGINEER del chasis del ENT-710 resaltando en rojo el motor, bajante de escape y convertidor catalítico.	81
Figura 42. Vista lateral derecha del chasis del ENT-710 diseñado en Pro/ENGINEER, con enfoque al motor y sistema de postratamiento.	81
Figura 43. Vista superior del chasis del ENT-710 diseñado en Pro/ENGINEER, con enfoque al motor y sistema de postratamiento.	82

Figura 44. Vista inferior del chasis del ENT-710 diseñado en Pro/ENGINEER, con enfoque al motor y sistema de postratamiento.....	82
Figura 45. Temperaturas máximas de la superficie del convertidor catalítico durante la regeneración activa (pleno funcionamiento).	84
Figura 46. Temperaturas máximas superficiales que se pueden registrar durante el mal funcionamiento del dispositivo de módulo único.	85
Figura 47. Detalle de componentes del chasis cercanos al convertidor catalítico.	85
Figura 48. Reubicación de la ruta de la tubería de tránsito de refrigerante de la transmisión a fin de disminuir la transferencia de calor a ésta por las altas temperaturas que se pueden desarrollar en el convertidor catalítico.....	86
Figura 49. Figura en donde se puede observar el deflector diseñado para disminuir la transferencia de calor al sistema de dosificación causada por las altas temperaturas que puede llegar a alcanzar el convertidor catalítico.	86
Figura 50. Posición del convertidor catalítico y componentes del sistema de postratamiento en el conjunto del chasis y carrocería.....	87
Figura 51. Diagrama de causa-efecto sobre los riesgos que pudiesen afectar a los componentes del sistema de postratamiento.	81
Figura 52. Altura de montaje del convertidor catalítico con respecto al suelo.....	82
Figura 53. Ejemplo del ruteo de los arneses de cableado a través del conjunto del chasis, protegiéndose de las altas temperaturas del sistema de postratamiento.....	83
Figura 54. Posicionamiento del módulo de dosificación en el sistema de postratamiento con respecto a los otros componentes circundantes.	84
Figura 55. Posicionamiento del módulo de suministro en el chasis del vehículo con respecto a los otros componentes del sistema.	84
Figura 56. Tabla con los límites máximos de momentos de flexión y masa para aplicaciones automotrices de Cummins.	85
Figura 57. Tabla con las dimensiones de instalación del tubo de escape del vehículo.	85

Figura 58. Tamaños de tubería de escape típicos para diferentes tamaños de motores.	86
Figura 59. Distancias de las uniones con la forma del bajante de escape corregida..	86
Figura 60. Momentos flectores generados en las juntas o uniones de la tubería bajante del sistema de postratamiento, al ser aplicada una carga de 1G tanto horizontal como verticalmente.....	87
Figura 61. Análisis de reacciones en una viga doblemente empotrada con una carga uniformemente distribuida.	89
Figura 62. Sistema de montaje del dispositivo de módulo único.	90
Figura 63. Sistema de montaje del dispositivo de módulo único.	91
Figura 64. Montaje del dispositivo de módulo único en el bastidor del vehículo en las posiciones recomendadas y definidas en las figura 60 y en el anexo J.....	91
Figura 65. Tabla donde se especifican las caídas de temperaturas máximas permisibles en el bajante de escape según el modelo del motor.	92
Figura 66. Ejemplo de la hoja de Excel donde se puede determinar mediante cálculos la caída de temperatura en el bajante de escape y la necesidad de implementar un aislamiento.	93
Figura 67. Flexible utilizado en la estructura del bajante de escape.....	95
Figura 68. Tabla con los materiales aceptables para el bajante y la tubería de escape.	96
Figura 69. Cuadro con las especificaciones de la vida útil de los materiales de emisiones según la aplicación.	96
Figura 70. Detalle de las diferentes consideraciones a tomar para el dimensionamiento del tanque de urea.	101
Figura 71. Factores de consumo de urea tabulados para la determinación del volumen del tanque de urea según el motor.....	102
Figura 72. Tanque de urea seleccionado para la aplicación, de una capacidad de 10gal.....	103

Figura 73. Válvula de control de flujo del refrigerante del motor usado para calentar el fluido de escape diésel. Proporcionada por Shaw Development.	104
Figura 74. Características para las mangueras de circulación de la urea del sistema de dosificación del postratamiento.....	105
Figura 75. Mangueras de circulación del fluido de escape diésel con calefacción por resistencia eléctrica y conexiones rápidas SAE J2044. Proporcionada por Shaw Development.	106
Figura 76. Puertos designados para las conexiones de las mangueras del circuito del refrigerante para la calefacción del sistema de dosificación. A la izquierda, la salida o toma del refrigerante del motor. A la derecha, el retorno del refrigerante al motor.	107
Figura 77. Posición y características de montaje del módulo de suministro de DEF.	109
Figura 78. Montaje vertical del módulo de suministro en el bastidor del vehículo.	109
Figura 79. Layout del circuito de circulación del refrigerante del motor para la calefacción del sistema de dosificación.	110
Figura 80. Montaje en desarrollo del sistema de dosificación con sus líneas de DEF.	111
Figura 81. Detalle de la manguera utilizada en el circuito de tránsito del refrigerante del motor para la calefacción del sistema de dosificación, clasificación SAE 100r6 J517.	112
Figura 82. Descripción de las mangueras utilizadas en el circuito de calefacción. .	112
Figura 83. Conexiones de interfaz entre el módulo de suministro y las mangueras de DEF (izquierda) rectas, y las mangueras de refrigerante (derecha) a 90°.....	114
Figura 84. Localización de los arneses con respecto al sistema de postratamiento.	114
Figura 85. Ejemplo de la hoja de cálculo de la caída de temperatura para motores B6.7 y L9 de Cummins.	117
Figura 86. Modelo de la hoja de cálculo sin llenar para la determinación de la caída de temperatura en el bajante de escape.	120
Figura 87. Resultados obtenidos por la hoja de cálculo con los datos de la tabla 6.	120

Figura 88. Kit de prueba de fugas para ser usado en las tuberías del postratamiento.	122
Figura 89. Calculadora de fugas en el bajante de escape del postratamiento.	123
Figura 90. Esquema y leyenda referencial para la determinación de las fugas en el bajante de escape.....	123
Figura 91. Esquema del dimensionamiento de las tuberías del sistema de postratamiento.	125
Figura 92. Esquema del dimensionamiento de las tuberías con codos del sistema de postratamiento.	125
Figura 93. Calculadora de los momentos de flexión en las juntas de la tubería de entrada al sistema de postratamiento.....	126
Figura 94. Tabla con las tasas de ingreso de agua máximas permisibles según el tipo de abrazadera y/o junta utilizada.....	127
Figura 95. Esquema del proceso a realizar para la prueba de ingreso de agua.....	129
Figura 96. Introducción de la calculadora del ingreso de agua de las juntas de los tubos donde se seleccionan los tipos de abrazaderas o uniones usadas en el sistema.	130
Figura 97. Resultado directo de la calculadora de ingreso de agua donde indica el ingreso de agua teórico por el tipo de uniones utilizadas.....	130
Figura 98. Resultado de la prueba de temperatura del tanque de DEF con datos empíricos.	131

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	Pp.
Tabla 1. Boletines de ingeniería y documentos informativos relacionados al sistema de postratamiento en estudio.Cummins ISB 6.7 EPA 2017.	50
Tabla 2. Requerimientos de instalación del sistema de postratamiento. Cummins ISB 6.7 EPA 2017.FR: 94747.	54
Tabla 3. Recomendaciones de instalación del sistema de postratamiento. Cummins ISB 6.7 EPA 2017, FR: 94747.	61
Tabla 4. Causas posibles de vulnerabilidad de los equipos del postratamiento.	87
Tabla 5. Listado de pruebas y evaluaciones del desempeño del sistema de postratamiento.	115
Tabla 6. Datos obtenidos para ser ingresados en la hoja de cálculo de la caída de temperatura, referidos de la sección 5.3.3.3.1.	119
Tabla 7. Resumen de las pruebas realizadas en el sistema de postratamiento.	132

LISTA DE ABREVIACIONES

AEB	: ApplicationEngineeringBulletin (Boletín de Ingeniería de Aplicación)
ASC	: Ammonia Slip Catalyst (Catalizador de Desplazamiento de Amoníaco)
CEB	: CustomerEngineeringBulletin (Boletín de Ingeniería del cliente)
CES	:CumminsEmissionsStardards
CO	:Monóxido de Carbono
CO₂	:Dióxido de Carbono
DEF	:DieselExhaust Fluid (Fluido de Escape Diesel)
DOC	: DieselOxidationCatalyst (Catalizador de Oxidación Diesel)
DPF	: DieselParticulateFilter (Filtro de Partículas Diesel)
ECM	:Electronic Control Module (Módulo de Control Electrónico)
EGR	:Exhaust Gases Recirculation
EPA	:Environmental Protection Agency
H₂	:Hidrógeno
H₂O	:Agua
N₂	:Nitrógeno
NH₃	: Amoníaco
NO_x	:Óxidos de nitrógeno
O₂	:Oxígeno
OEM	: Original EquipmentManufacturer (Fabricante de Equipos Originales)
PM	:ParticulateMatter (Materia Particulada)
PPM	:Parts Per Million (Partes Por Millón)
PSI	:Pounds-force per SquareInch (Libras-fuerza por pulgada cuadrada)
RPM	:Revolutions Per Minute (Revoluciones Por Minuto)
SCR	: SelectiveCatalyticReduction (Reducción Catalítica Selectiva)
SO_x	: Óxidos de Azufre



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE MECÁNICA
CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA TRATAR LAS EMISIONES
DEL MOTOR DE UN VEHÍCULO DE PASAJEROS MODELO E-NT710 CON
DESTINO A NORTEAMÉRICA EN LA EMPRESA ENCAVA, C.A.**

Autor: Esteves, Antony.

Tutor académico: MSc. Ing. Donato Romanello.

Fecha: Agosto, 2018.

RESUMEN

En el presente trabajo, se detalla todo lo relacionado a la implementación de un sistema de postratamiento de emisiones en un vehículo de pasajeros con capacidad para 32 pasajeros, que tiene como destino el territorio norteamericano, entiéndase Estados Unidos de América y Canadá, por lo que requiere la aprobación por parte de autoridades gubernamentales en tema del cumplimiento de normas de emisiones establecidas en esos países.

Descriptor: Emisiones, Normas, Sistema de Postratamiento, Implementación

INTRODUCCIÓN

La contaminación es una de las mayores preocupaciones de la sociedad contemporánea. El desarrollo de la tecnología es una de las causas, pero también puede ayudar a solucionar parte del problema. Las emisiones contaminantes de los motores de combustión interna alternativos; en concreto, el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos sin quemar y las partículas son una parte importante de la contaminación total liberada a la atmósfera. Las emisiones de los vehículos están limitadas por la normativa en la mayoría de los países del mundo. Son muchos los procedimientos y sistemas usados para cumplir esta normativa, que afectan desde la composición del combustible hasta el conducto de escape de los vehículos, pasando por los sistemas de formación de la mezcla. A las medidas orientadas a minimizar la formación de contaminantes se les denomina soluciones activas, y a aquellas destinadas a contener las emisiones de dichos contaminantes una vez formados, soluciones pasivas.

La viabilidad de las soluciones activas depende sobre todo del tipo de combustible y del ciclo descrito por el motor. Por otra parte, el empleo de una u otra solución pasiva suele depender, entre otros factores, del contaminante en concreto cuyas emisiones se desean reducir y de la composición y temperatura de los gases de escape. En el presente trabajo se detalla la implementación de un sistema de postratamiento. Se tiene la necesidad de controlar y reducir el impacto ambiental de las emisiones de los gases de escape del motor de un vehículo de pasajeros, con el fin de cumplir con estándares de emisiones establecidos por las diferentes autoridades encargadas de la regulación de las emisiones. En total, se desarrollaron 5 capítulos donde se refleja toda la metodología a seguir para dejar registro escrito del proyecto de investigación realizado.

En el **Capítulo I**, se describe la información relacionada a la empresa en donde llevó a cabo el proyecto de investigación, en este caso, ENCAVA C.A.

En el **Capítulo II**, se detalla todo lo relacionado a la situación problemática y los temas a tocar, incluyendo las limitaciones, del trabajo de investigación.

En el **Capítulo III**, se encuentra toda la información teórica que abarca el proyecto de investigación, junto con información relacionada a proyectos relacionados anteriormente que guardan relación con el presente trabajo.

En el **Capítulo IV**, se describe todo el procedimiento a llevar a cabo para darle solución a la situación problemática, a través de una metodología que sigue una serie de pasos según lo que se ha establecido en los objetivos de la investigación.

En el **Capítulo V**, se muestran todos los resultados obtenidos, producto del seguimiento de la metodología mencionada anteriormente, y se presenta como la solución a la situación problemática por la cual se realizó este trabajo de investigación.

CAPÍTULO I

LA EMPRESA

1.1 Descripción de la empresa

Ensamblaje de Carrocerías Valencia, C. A. (ENCAVA) es una empresa dedicada al diseño y ensamblaje de autobuses, del cual un 70% del material es de origen nacional. La planta, ubicada en la ciudad de Valencia, está constituida por diversas instalaciones, cada una de ellas orientada a una labor en específico, que van desde el montaje del chasis hasta la fabricación y ensamblaje de la carrocería.



Figura 1. Logotipo de la empresa

Fuente: ENCAVA C.A.

1.2 Ubicación

La empresa se encuentra ubicada en la Urbanización Industrial Las Guacamayas, al final de la Avenida Lisandro Alvarado, Inmueble N° 56-E-126,59-82 Y 59-150, Parroquia Miguel Peña, Municipio Valencia, Estado Carabobo.

· **Límites:**

Norte: Final Avenida Lisandro Alvarado.

Sur: Autopista Sur; - Valencia – Campo de Carabobo.

Este: Plaza Páez. - Distribuidor la Guacamaya.

Oeste: Terreno baldío perteneciente a Productos “AMADIO”.



Figura 2. Vista aérea de la empresa y sus alrededores

Fuente: ENCAVA C.A.

1.3 Reseña histórica

La historia de ENCAVA se inicia en 1962, en la ciudad de Valencia, con un pequeño taller y una gran visión: construir una empresa nacional a la altura de las mejores del mundo. Desde el comienzo, los autobuses de ENCAVA marcaron hitos en la evolución del transporte público venezolano, y pusieron de manifiesto que la empresa nacía para ofrecer la mayor conjunción de calidad, diseño, innovación, servicio y conocimiento de las necesidades del país. Sobre la base de sus primeros logros y con una persistente orientación a la excelencia en todos los aspectos del negocio, ENCAVA tomó un camino de crecimiento sostenido que no sólo la transformaría a ella misma, sino a todo el parque vehicular dedicado al transporte colectivo en el país. Antes de culminar su primera década, ENCAVA se trasladó a un espacio a la medida de sus objetivos: 110.000m², listos para recibir las inversiones en infraestructura, capacidad humana y tecnologías necesarias para afianzar su liderazgo.

A lo largo de estos 56 años, la misma se ha considerado como prioridad esencial en el desarrollo de la empresa como organización no dependiente de las fábricas extranjeras estableciéndose las siguientes metas:

- Ü El desarrollo de sus propias carrocerías.
- Ü El desarrollo de chasis basado en las necesidades que las condiciones sociales y físicas que el país requiera.
- Ü El entrenamiento de mecánicos, chóferes y propietarios en la conservación, mantenimiento, reparación y repotenciación de las unidades Encava.
- Ü El desarrollo de la división de repuestos y accesorios.
- Ü El desarrollo de suplidores nacionales.
- Ü El desarrollo de un departamento de Ingeniería que pueda respaldar este esfuerzo industrial y tecnológico.

ENCAVA es una empresa de capital netamente nacional, dirigida y creada por venezolanos, que en más de 5 décadas ha fabricado y colocado unas 30 mil unidades en el mercado, al punto que el 80% del parque automotor de transporte de pasajeros en Venezuela, sobre todo las rutas urbanas, está cubierto por unidades ENCAVA.

1.4 Procesos básicos, productos elaborados y mercado

Cada componente de los autobuses y mini-buses de ENCAVA se escoge y adapta tras rigurosos procesos de investigación y control de calidad. Los chasis, diseñados por ENCAVA y manufacturados íntegramente en Venezuela, son la columna vertebral que ya responde a los estándares de calidad que rigen el cuerpo entero de cada autobús. La estructura y carrocería, donde se combina acero, aluminio y fibra de vidrio, ofrece las mejores prestaciones del mercado en términos de seguridad y duración. De la misma forma, los sistemas de suspensión con ballestas semi-elípticas, los amortiguadores telescópicos y los motores de alta eficiencia energética y bajo ruido, se combinan en pro del confort y la resistencia de los autobuses y mini-buses ENCAVA. Finalmente, cada detalle en materia de pintura, electricidad, climatización o tapicería contribuye a cerrar el círculo de máxima calidad que ENCAVA garantiza en sus productos. Cada año, el Departamento de

Desarrollo de Prototipos de ENCAVA ejecuta entre 27 y 30 proyectos de mejora o innovación de productos. Este equipo de vanguardia da continuidad a una tradición innovadora que comenzó, hace ya muchos años, con la decisión de desarrollar chasis propios, adaptados a las características de la viabilidad y a los diseños propios de la empresa.

ENCAVA fue el primer fabricante de autobuses que introdujo con éxito en Venezuela las transmisiones automáticas. Actualmente, la mayoría de sus autobuses funcionan con transmisiones automáticas electrónicas. Asimismo, es pionera en la incorporación de motores ecológicos, cumpliendo así con las regulaciones internacionales sobre emisiones a la atmósfera. Es, además, la única fábrica de autobuses del país en emplear carrocerías de aluminio, que gracias a su bajo peso y alta resistencia a la corrosión redundan en múltiples beneficios para el rendimiento y duración de los vehículos. Las estructuras de acero galvanizado de alta resistencia, por su parte, son más seguras que los tubos estructurales que usan otros fabricantes.

La búsqueda permanente de los mejores recursos tecnológicos se expresa, por dar un ejemplo especialmente destacado, en una cortadora láser de última tecnología, que permite obtener con rapidez y precisión toda una diversidad de piezas de acero y aluminio a partir de diseños propios. Otro tanto son las máquinas como las dobladoras de alta eficiencia, que aceleran y dan calidad al proceso productivo. Muchas innovaciones de ENCAVA se han enfocado en desarrollar cabinas cada vez mejores en términos de diseño, resistencia a impactos y funcionalidad; acordes con las normativas nacionales e internacionales. Los trabajadores, por su parte, se suman al trabajo innovador proponiendo mejoras que nuestros expertos estudian, adaptan y eventualmente incorporan.

El ingenio se aprecia, a veces, en pequeños detalles de alto impacto. Un caso emblemático es el sistema de rotulación de cables desarrollado en ENCAVA, que acabó con la engorrosa identificación por colores y facilitó extraordinariamente el armado de los sistemas eléctricos. El cableado de nuestras unidades hoy es todo blanco, y cada cable lleva impresa la función que cumple y permite así su fácil y

correcta conexión. El próximo paso es la incorporación progresiva de elementos robóticos en diversas fases productivas, relacionadas con soldaduras, fabricación de ventanas y otros aspectos.



Figura 3. Modelos de autobuses diseñados y producidos por ENCAVA. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: ENT-610, ENT-900, ENT-3300, ENT-6100

Fuente: ENCAVA C.A.

1.5 Seguridad y cumplimiento de las normativas

Cada unidad ENCAVA cumple con los estándares de calidad de la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN), homologadas por el Instituto Nacional de Tránsito Terrestre. Aplicamos estándares internacionales de seguridad en todas nuestras unidades, con especial atención al diseño y disposición de las salidas de emergencia, puertas, butacas y cabinas en general. Siempre pensando en la seguridad del usuario final, utilizamos estructuras de alta resistencia que minimizan el riesgo ante posibles impactos o volcamientos. Cada unidad que sale de nuestros talleres es previamente sometida a intensos controles de calidad y pruebas de funcionamiento. ENCAVA promueve permanentemente el uso seguro y eficiente de sus unidades a través de su propio Centro de Adiestramiento Técnico.

1.6 Capacidad instalada

Ø Planta de fabricación de chasis: 8.000 m²

- Ø Fábrica de carrocerías y componentes de chasis: 8.320 m²
- Ø Planta de tapicería y carpintería: 1.830 m²
- Ø Planta de fabricación de fibra de vidrio y similares: 3.000 m²
- Ø Planta de ensamblaje: 16.740 m²
- Ø Espacios para adiestramiento y formación: 400 m²
- Ø Atención al cliente: 1.231 m²
- Ø Control de calidad y pruebas: 308 m²
- Ø Repuestos: 1.200 m²

1.7 Cifras de la empresa

- Ø 100% de capital nacional.
- Ø Líder del mercado venezolano de autobuses con más de 30.000 unidades fabricadas.
- Ø Más de 1.200 empleos directos y más de 10.000 indirectos en la cadena de autopartistas y concesionarios autorizados.
- Ø Al contar con 70% de contenido nacional, la empresa reduce al mínimo los problemas de disponibilidad de repuestos y, en consecuencia, las pérdidas que significa una unidad fuera de funcionamiento.
- Ø Producción anual promedio de 1.100 unidades.
- Ø Capacidad instalada para producir hasta 300 unidades mensuales.
- Ø ENCAVA garantiza un mínimo de 20 años de vida útil y 800.000 km de recorrido para el motor de cada unidad.
- Ø Presencia en todas las regiones de Venezuela a través de 16 concesionarios.
- Ø Cerca de 30 proyectos anuales de mejora o innovación.
- Ø Desarrollo de chasis nacionales, con capacidad para producir 600 mensuales.
- Ø Anualmente se capacitan más de 1.000 personas en mantenimiento, reparación y mecánica general.
- Ø En el marco de la actual Política Automotriz, se han diseñado 3 chasis dedicados 100% al Gas Natural Vehicular.

- Ø Gracias a su durabilidad y relación costo/beneficio, las unidades ENCAVA conservan su valor de mercado como ninguna otra en el mercado secundario.
- Ø Cada unidad ENCAVA es una gran inversión rendimiento y calidad ofrecen la mejor tasa de retorno para el capital invertido.

1.8 Misión

Satisfacer integralmente las necesidades del mercado del transporte masivo con la fabricación y comercialización de vehículos caracterizados por la excelente calidad de todos sus componentes y de su funcionamiento en general, producidos bajo rigurosos estándares de seguridad y confort, innovando siempre para ofrecer el mayor valor agregado posible a clientes, transportistas, trabajadores, proveedores, accionistas y usuarios finales de nuestras unidades.

1.9 Visión

ENCAVA tiene por norte ser una empresa líder en el mercado, reconocida nacional e internacionalmente por su excelencia en la fabricación de autobuses y mini-buses gracias a la sistemática búsqueda de la calidad en todos sus productos y servicios, y al aporte fundamental de un personal altamente calificado y comprometido con la satisfacción de nuestros clientes.

1.10 Valores

- Ø **Ética Profesional:** Es la voluntad indeclinable de trabajar responsablemente, aplicando las mejores técnicas disponibles que garanticen un resultado eficiente y efectivo, respetando siempre la legislación vigente en cada materia.
- Ø **Responsabilidad:** Es comprometerse y cooperar: requiere justicia, humanidad y respeto por los derechos de todos los seres humanos. Ello conlleva asegurar el beneficio de todos sin discriminación.
- Ø **Trabajo en Equipo:** Es la capacidad que tiene un grupo de lograr un objetivo con el esfuerzo organizado de todos los integrantes.
- Ø **Honestidad:** Consiste en comportarse y expresarse con coherencia, sinceridad y de acuerdo con los valores de verdad y justicia.

- Ø **El Cliente Primero:** Es mantener una relación estrecha con nuestros clientes para lograr conocer sus necesidades y expectativas, proporcionándoles productos y servicios de alta calidad que consigan su satisfacción total.
- Ø **Orgullo ENCAVA:** Es la satisfacción personal que se experimenta al pertenecer a la organización ENCAVA.
- Ø **Eficiencia:** Es realizar los trabajos y las actividades al menor costo y tiempo posible, sin desperdiciar recursos económicos, materiales, humanos, y sin sacrificar la calidad y la satisfacción de los empleados, accionistas y clientes.

1.11 Actividades realizadas durante el período de pasantías

Durante el período de pasantías realizado en la empresa ENCAVA, C.A. se destacan inicialmente labores de adiestramiento acerca de la seguridad y salud laboral de la empresa, con respecto al cumplimiento de normas internas y las establecidas por la LOPCYMAT. En conjunto, se acompañaron de recorridos de familiarización de las distintas áreas de trabajo de la planta, y asignación del puesto de trabajo.

En el área de trabajo, se puede describir labores de seguimiento y estudio a los proyectos en proceso de la empresa, específicamente en el desarrollo de un nuevo modelo de vehículo para ser exportado, por lo que, se requería de aplicación de tecnologías modernas y sistemas que se exigen en esas regiones, como el sistema de postratamiento, del cual se hablará más adelante.

También, se puede agregar el servicio de apoyo prestado a los departamentos de ingeniería, prototipo, mantenimiento y manufactura, en diferentes labores asignadas según se diera la oportunidad o necesidad en el momento.

CAPÍTULO II

EL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema

En el desarrollo de un nuevo vehículo de pasajeros diseñado por la empresa ENCAVA, C.A. para ser exportado, se tiene la necesidad de controlar y reducir el impacto ambiental de las emisiones de los gases de escape del motor de dicho vehículo, con el fin de cumplir con estándares de emisiones establecidos por las autoridades en los países de destino del vehículo.

2.2 Planteamiento del problema

Desde su fundación, ENCAVA, C.A. ha sido una empresa comprometida y dedicada exclusivamente al diseño y ensamblaje de autobuses en el territorio venezolano, incluyendo el servicio técnico y suministro de repuestos para sus unidades. Durante décadas ha introducido al mercado diversos diseños siguiendo y cumpliendo con los diferentes requerimientos y exigencias de los clientes y usuarios, incluyendo siempre la tendencia a mejorar éstos, fomentando el crecimiento de la marca y la misma empresa. Como si fuera poco, ENCAVA no solo se ha limitado a acaparar al mercado venezolano, sino que, incluso, ha hecho llegar sus productos al mercado internacional, arribando a países como Colombia, Ecuador, Puerto Rico, República Dominicana, Costa Rica y Jamaica.

Así mismo, la empresa, con ansias de querer expandirse a otros territorios y hacer llegar su nombre a lo más alto, lleva acabo un desafío que pone práctica las grandes capacidades que viene trayendo la empresa en todos sus años de experiencia y trayectoria: Introducir un vehículo diseñado por ENCAVA en el mercado norteamericano. Es decir, esto es, ni más ni menos, diseñar, fabricar y ensamblar un vehículo de transporte de pasajeros con la tecnología más moderna, que cumpla las necesidades de la región y también con las exigencias de las organizaciones y

agencias locales en asunto de vialidad, seguridad, estructura, manejo y transporte, y, por supuesto, el impacto medioambiental del vehículo.

Esto último es, de carácter sustancial actualmente, en cuanto al tema de reducir drásticamente la contaminación ambiental que generan las emisiones de los motores de los vehículos producto de la quema de los combustibles fósiles que utilizan éstos, y que, sumados a otros factores contaminantes, dan origen al calentamiento global que es uno de los grandes problemas de la humanidad hoy en día. Es allí entonces, donde se desea atacar esta problemática y donde se centra esta investigación, que es la de introducir e implementar diseños de soluciones más eficientes en los vehículos para la disminución de los gases de efecto invernadero emanados, la disolución de los compuestos contaminantes, la desintegración o la misma transformación de estos productos de combustión a sustancias poco o nada contaminantes para el ambiente.

Así pues, se implementará un sistema para el tratamiento de las emisiones, o de los gases de escape, de un vehículo diseñado por la empresa ENCAVA para ser exportado, a fin de dar cumplimiento a las exigencias de las autoridades norteamericanas, entiéndase Estados Unidos y Canadá como países de destino, en tema de la contaminación ocasionada por las emisiones y su debido control y seguimiento con las tecnologías desarrolladas para tal fin.

2.3 Formulación del problema

Entre las diversas interrogantes que pueden derivarse de la idea original planteada, surge una en común:

¿Cómo la empresa podría resolver el problema de las emisiones de los gases de escape en su vehículo de pasajeros a fin de que sea aprobado para su exportación a Norteamérica por las autoridades regionales?

2.4 Objetivos de la investigación

2.4.1 Objetivo General

Implementar un sistema para tratar las emisiones del motor de un vehículo de pasajeros modelo E-NT710 con destino a Norteamérica en la empresa ENCAVA, C.A.

2.4.2 Objetivos específicos

- Ø Analizar los boletines de ingeniería basados en los estándares de la agencia de protección ambiental.
- Ø Determinar los criterios y elementos necesarios para la conformación del sistema de tratamiento.
- Ø Desarrollar la estructura del sistema de tratamiento de emisiones.
- Ø Evaluar el comportamiento del sistema de acuerdo a lo establecido en los boletines de ingeniería.

2.5 Justificación y alcance

En vista de la situación vivida actualmente con respecto al creciente calentamiento global, que afecta principalmente al clima, se ha visto la necesidad de generar soluciones para disminuir y hasta contrarrestar el efecto de la contaminación ambiental producida por el ser humano, y por eso es de útil importancia llevar esto a la práctica e implicar estas soluciones en la vida diaria para así orar por la buena preservación del planeta y por un ambiente seguro para las próximas generaciones. Dicho esto, se aclara que se requiere la implementación de equipos o dispositivos en las fuentes de contaminación, que contribuyan a disminuir el impacto de éstas en el ambiente, como por ejemplo se pudiese observar en los vehículos impulsados por motores de combustión interna, donde se incluyen a los autobuses, vehículos en donde se centrará este trabajo.

En cuanto a los ámbitos a los que tiende a impactar este cometido, se involucra principalmente la empresa (ENCAVA) como oportunidad de mejorar la ingeniería de su producción y concientización acerca de la fabricación de vehículos con soluciones cada vez más ecológicas, y que forma parte del trabajo de todos los sectores industriales que pudiesen existir. Se involucra también al sector automotriz y de transporte en general, ya sea regional, nacional e internacional a nivel de Latinoamérica, el continente americano y europeo, hasta el asiático y oceánico.

2.6 Limitaciones

Dentro de lo que se puede resaltar en asunto de las limitaciones que pueda poseer la investigación, se puede hablar del tiempo disponible para invertir en la investigación y el proyecto en general, que es relativamente corto para lo amplio que puede llegar a ser el exhaustivo tema, y también las capacidades tecnológicas disponibles de todas las partes para llevar a cabo el proyecto. Cabe resaltar, que el proyecto se basará en una implementación, o entiéndase mejor, de una instalación o montaje de un sistema y no de su diseño en concreto y fabricación, el cual ya ha sido previamente estudiado, diseñado y desarrollado por otras partes ajenas a la empresa y a los investigadores presentes en este proyecto. Esto, el proyecto, incluye por supuesto la aplicación de ingeniería, cálculos y estudios necesarios, para su correcto desempeño y funcionamiento del mismo.

CAPÍTULO III

MARCO REFERENCIAL CONCEPTUAL

A continuación, se presenta el basamento que sirve de ayuda para la determinación de las líneas de investigación, enfocado a la revisión de teorías, leyes, principios u otros, que contribuyan a resolver la situación problemática. Así pues, se refiere a que se ha escrito o investigado sobre el tema en cuestión, se analiza y explica el problema, naturaleza e interrelaciones, y deja, claramente y definidos, los términos relevantes o especializados de la materia y del tema en discusión.

3.1 Antecedentes

En referencia a investigaciones semejantes realizadas en el pasado con relación a ésta, se pueden resaltar las siguientes:

Arroba y Jiménez (2012) en su trabajo de grado titulado “**Implementación de un sistema de tratamiento de gases de escape mediante inyección de aire en un vehículo a gasolina**” indicaron que tenía el objetivo contribuir al mejoramiento de la calidad del aire, debido a los excesivos niveles de contaminación emitidos por automotores que no poseen control de emisiones. Se puede agregar también que la finalidad de este proyecto fue implementar un sistema de tratamiento de gases de escape mediante la inyección de aire en un motor ciclo Otto, lo que permite presentar una solución práctica de control ambiental, provocando con esto reacciones de oxidación y reducción en los gases de escape expulsados al ambiente por estos vehículos. En conclusión, el sistema de tratamiento de gases implementado fue capaz de reducir considerablemente los niveles de gases nocivos producidos.

Gallego F. (2015) realizó un trabajo de fin de grado, titulado “**Estudio bibliográfico del tratamiento de gases de escape en motores de combustión interna alternativos**”, en donde resalta que en este documento se recopilan la mayoría de mecanismos destinados a minimizar las emisiones de gases

contaminantes, y se clasifican según el tipo de motores con los que operan. Se detalló el efecto de los motores de combustión interna alternativos (MCIA) en el medio ambiente, concretamente en cuanto a emisiones de gases contaminantes y partículas. El objetivo final fue hacer una recopilación de los métodos aplicables para reducir las emisiones de los MCIA. También se hizo una descripción de los mecanismos usados para minimizar las emisiones una vez se han formado los contaminantes, también diferenciando según el tipo de motor empleado. Dichos mecanismos se denominan frecuentemente sistemas pos-tratamiento. También se pretendió dar una visión de futuro acerca de las tendencias previstas en los dispositivos que se usan para el control de emisiones.

Amaya O. (2012), realizó un trabajo titulado “**Generación y seguimiento de estrategias de operación para el ahorro de combustible y disminución de contaminantes en motores fuel injection**”, en el cual destaca que se presentan técnicas de control no lineal para el control de la velocidad aplicadas al modelo de un motor de combustión interna, con el fin de generar estrategias que nos puedan ayudar a la disminución de contaminantes emitidos a la atmósfera. El estudio del problema toma ventaja de la propiedad de planitud del sistema para generar una ley de control no lineal que nos pueda ayudar a generar trayectorias de seguimiento de velocidad de referencia de manera rápida y sencilla. Al incluir la dinámica de la temperatura se puede tener un control más preciso sobre las emisiones ya que se utiliza además la técnica de recirculación de gases de escape (EGR).

3.2 Bases teóricas

A continuación, se detalla todo lo relacionado al ámbito teórico del proyecto, donde se especifican las líneas de investigación a alcanzar en el proyecto, desde el concepto principal hasta la idea generalizada de la investigación.

3.2.1 Emisión (contaminación)

Se denomina emisión contaminante, a los residuos que son emanados por la actividad humana, ya sea industrial o doméstica, y que afectan al medio ambiente. La emisión de gases tóxicos por parte de los coches se conoce con el nombre de emisión

vehicular, y contribuye considerablemente con la formación de smog en las ciudades, lo cual dificulta la respiración, así como la recuperación y el cuidado de quienes sufren enfermedades tales como el asma. Las emisiones atmosféricas están formadas por el conjunto de sustancias que se vierten a la atmósfera, como hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono, así como otras partículas. Esto implica que la contaminación producida por los coches forma parte tanto de las emisiones vehiculares como de las emisiones atmosféricas. Las emisiones producidas por un vehículo se clasifican en tres categorías diferentes:

3.2.1.1 Emisiones de la tubería de escape

Los desechos de la quema de combustibles fósiles en el motor de un vehículo son emitidos a través del sistema de escape. Entre los mayores elementos contaminantes están:

3.2.1.2 Hidrocarburos (HC)

Son compuestos químicos que sólo contienen carbono (C) e hidrógeno (H). Éstas son partículas que no reaccionaron en la combustión o lo hicieron parcialmente, y son el mayor contribuyente de lo que se conoce como el smog de las ciudades, reconocido como altamente tóxico para la salud. Pueden causar daños y problemas en el hígado, así como cáncer si se está continuamente expuesto a éste. Bajo la influencia de la luz solar, los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno reaccionan para producir ozono. El ozono está considerado una sustancia cancerígena y, una concentración elevada de ozono puede producir daños en la vegetación.

3.2.1.3 Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Son óxidos gaseosos de nitrógeno (N). Se abrevian como NO_x porque existen muchos compuestos posibles con diferente número de átomos: N₂O, NO, N₂O₃, NO₂, entre otros. Son generados cuando el nitrógeno reacciona con el oxígeno del aire bajo las condiciones de alta temperatura y presión que se presentan dentro del motor. Las emisiones de estos NO_x contribuyen también a la creación del smog, así como a la formación de la lluvia ácida. Si se mezclan con agua dan lugar a ácidos, que irritan las mucosas y pueden producir daños en los pulmones. La única excepción es el N₂O,

también conocido como gas de la risa o hilarante, que es un gas de efecto invernadero que daña la capa de ozono en las capas altas de la atmósfera.

3.2.1.4 Monóxido de carbono (CO)

También denominado anhídrido carbonoso es un gas inodoro, incoloro e insípido. La combinación de carbono y oxígeno se genera debido a la combustión incompleta de sustancias carbonosas y es altamente tóxico. Uno de los efectos es que disminuye la capacidad natural de la sangre para cargar oxígeno en las células.

3.2.1.5 Dióxido de carbono (CO₂)

Es el producto inmediato y común de la quema de combustibles fósiles. Las emisiones de CO₂ son un aspecto de gran preocupación en el marco del calentamiento global puesto que es un gas que produce efecto invernadero, cada vez más común. Entonces, vale aclarar que sustancias nocivas como los HC, el CO y los NO_x representan sólo una parte mínima de todas las emisiones de un motor moderno: sólo el 1,1 % en los motores de gasolina y el 0,2 % en los motores diésel. En su mayor parte, los gases de escape están compuestos por N₂, H₂O y CO₂, sin embargo, se intenta reducir siempre a lo mínimo posible estas sustancias y partículas contaminantes, y con ello su impacto en el medio y el entorno.

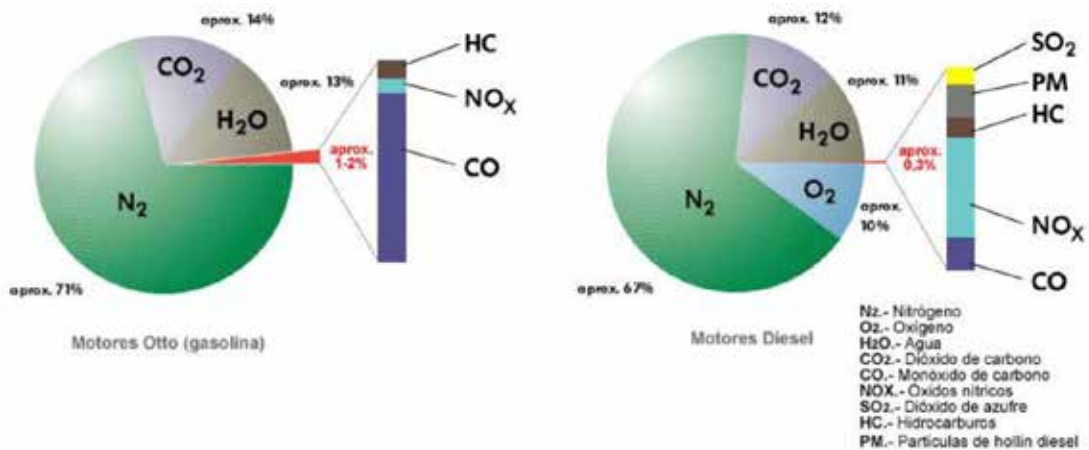


Figura 4. Composición de las emisiones de un motor de gasolina (izquierda) y un motor diésel (derecha)

Fuente: Gallego F. (2015).

3.2.1.6 Emisiones evaporadas

Son producidas por la evaporación del combustible y constituyen también otro gran factor para la creación del smog urbano, puesto que sus moléculas son de un peso molecular alto y tienden a estar más cerca del nivel del suelo. La gasolina tiende a evaporarse en algunas de estas formas:

3.2.1.7 Ventilación del tanque de gasolina

El proceso de calentamiento del vehículo y el aumento de temperatura que se produce naturalmente entre las bajas temperaturas de la noche y las más altas durante el día, hacen que la gasolina contenida en el tanque se evapore, aumentando la presión dentro del mismo para igualar la presión atmosférica. Esta presión debe ser liberada; antes de los controles de emisión de gases, estos gases eran simplemente liberados a la atmósfera.

3.2.1.8 Pérdidas y fugas

Se trata del escape de los vapores de la gasolina desde el motor caliente.

3.2.1.9 Pérdidas de recargas

Este aspecto causa especialmente una gran cantidad de emisiones de vapores de hidrocarburo. El espacio desocupado dentro del tanque del vehículo es ocupado por los gases de hidrocarburo; por lo tanto, a medida que el tanque se va llenando de gasolina, estos gases son desplazados y forzados a salir a la atmósfera. Asimismo, hay pérdidas por evaporaciones posteriores.

3.2.1.10 Emisiones del ciclo de vida

Son producidos por todas las actividades asociadas con la manufactura, el mantenimiento y el desecho de un vehículo e incluye objetos como:

- § Los recursos energéticos usados para la fabricación del vehículo.
- § Solventes volátiles utilizados en su fabricación (acabados de la pintura del automóvil).
- § Descomposición de materiales sintéticos utilizados para reducir el peso y simplificar la manufactura.

§ Requerimientos de mantenimiento tales como cambio de aceite o filtros, reemplazo de batería, etc.

§ Requerimientos de desecho, que incluyen lubricantes contaminantes, llantas, metales pesados (plomo, cromo) y basureros.

3.2.2 Control de emisiones

El control de emisiones son todas aquellas tecnologías implementadas para disminuir el impacto ambiental que ocasionan las emisiones de los vehículos, ya sea implementando leyes o normas que regulen los factores contaminantes, o ingeniería para reducir en lo posible el impacto que éstos generen. Los controles sobre las emisiones han reducido exitosamente las emisiones producidas por automóviles en términos de cantidad de contaminantes por distancia recorrida. Sin embargo, el aumento sustancial en las distancias recorridas por cada vehículo, así como el aumento del número de vehículos en circulación tiene como consecuencia que la disminución total de las emisiones sea cada vez menor. El control de las emisiones del sistema de escape se clasifica en cuatro partes:

§ Incremento de la eficiencia del motor

§ Incremento en la eficiencia del vehículo

§ Incremento en la eficiencia de manejo

§ Limpieza de las emisiones

3.2.2.1 Incremento en la eficiencia del motor

La eficiencia del motor ha mejorado a medida que han aumentado los progresos en las siguientes tecnologías:

- Ignición electrónica
- Sistemas de inyección de gasolina
- Unidad electrónica de control
- Sistema de escape

3.2.2.2 Incremento en la eficiencia del vehículo

Las contribuciones al objetivo común de la reducción en el consumo y uso de gasolina y las emisiones del mismo tipo provienen de:

- Menor peso en los diseños de vehículos
- Menor resistencia al aire
- Reducción en la fricción de los rodamientos
- Mejora de la transmisión
- Incremento del *spark to sparkplug* (Se trata con el sistema de ignición)
- Frenos regenerativos

3.2.2.3 Incremento en la eficiencia de manejo

Disminuciones significativas de las emisiones han provenido de:

- Técnicas de conducción (reducción de entre 10% y 30%)
- Condiciones de tráfico sin obstrucciones
- Viajar a una velocidad continua que contribuye a la eficiencia del vehículo
- Reducción del número de inicios en condiciones frías

3.2.2.4 Limpieza de las emisiones producidas

Los avances en la tecnología de los vehículos y del motor reducen continuamente la cantidad de poluciones generadas; no obstante, esto es considerado insuficiente para cumplir en lo más mínimo con las emisiones establecidas. Por lo tanto, las tecnologías de limpieza todavía tienen gran importancia y han sido esenciales por bastante tiempo como parte del control de emisiones.

3.2.2.4.1 Inyección de aire

Un sistema temprano en el control de emisiones, el reactor de inyección de aire, reduce los productos incompletos de la combustión (hidrocarburos y monóxido de carbono) por medio de la inyección de aire fresco dentro del múltiple de escape del motor. Con esto se pretende que la combustión ocurra también en la tubería de escape, para lo cual el aire es llevado a través de un "smog pump" manejado por el motor y dirigido hacia los colectores.

3.2.2.4.2 Reciclaje y recirculación de los gases de escape (EGR)

Muchos motores tienen una válvula de recirculación de los gases entre el escape y el múltiple de admisión; su propósito es la reducción de las emisiones de NO_x introduciendo los gases del escape dentro de la mezcla de gasolina y gas, disminuyendo los picos de temperatura de combustión. El sistema EGR funciona recirculando una parte de los gases de escape a la cámara de combustión, esto permite que gases inertes ingresen reemplazando el exceso de oxígeno en la pre-mezcla de la combustión. Como el NO_x se forma a partir de una mezcla de nitrógeno (N_2) y oxígeno (O_2) que se somete a alta temperatura y presión en la cámara de combustión, la disminución de oxígeno creada por el sistema EGR disminuye la eficiencia de la combustión y por ende, la creación de NO_x .

Este tratamiento en la pre-combustión del motor tiene 3 efectos secundarios: la ya mencionada disminución de la eficiencia del motor, el aumento de los hidrocarburos (HC) y del material particulado (PM); éstos últimos tienen que ser “intervenidos” posteriormente en los sistemas postratamiento en el ducto de escape. Existen 3 clasificaciones de sistemas EGR que están determinadas por el porcentaje (%) de gases de escape que recirculan:

- Light EGR: 10 – 20 %
- Heavy EGR: 20 – 35 %
- Massive EGR: 35 – 50 %

Entre mayor sea el porcentaje a recircular existe, primero, la necesidad de refrigerar el sistema EGR, y segundo, la consecuente y ya mencionada elevación de HC y PM en la emisión de los gases de escape. Razón por la cual los fabricantes se han visto en la obligación de incorporar sistemas de postratamiento directamente en el ducto de escape para “procesar químicamente” estos gases nocivos emitidos y lograr la disminución de los niveles de tal forma que cumplan con los estándares más estrictos de las normas de emisiones y poder así garantizar un aire más limpio.

En resumen, los sistemas que permiten el control de los gases de escape o emisiones en los motores diésel se dividen en dos tipos: los que se implementan directamente en el motor y los sistemas postratamiento, que se encuentran ubicados directamente en el sistema de escape. El primer tipo corresponde al sistema de circulación parcial de gases de escape (EGR). Al segundo tipo corresponden los siguientes componentes y/o sistemas: catalizador de oxidación diésel (DOC), filtro de partículas diésel (DPF), fluido de escape diésel (DEF) y también conocido como AdBlue o ARLA y la reducción catalítica selectiva (SCR).

3.2.2.4.3 Convertidor Catalítico (Sistema de Postratamiento)

El convertidor catalítico o catalizador es un dispositivo que tiene como función disminuir los elementos contaminantes contenidos en los gases de escape de un vehículo mediante la técnica de la catálisis. Éste se monta en el tubo de escape, inmediatamente después del colector de escape, ya que en este punto los gases se mantienen a una temperatura elevada. Esta energía calorífica pasa al convertidor catalítico y eleva su propia temperatura, circunstancia indispensable para que este dispositivo tenga un óptimo rendimiento, que se alcanza entre los 400°C y 700°C. El convertidor catalítico se ha convertido en un elemento primordial a la hora de tratar los gases perjudiciales que salen por el tubo de escape de los automóviles.

3.2.2.4.3.1 Funcionamiento

Los hidrocarburos (HC) y el monóxido de carbono (CO) antes de ser expulsados por el escape, son convertidos en dióxido de carbono (CO₂) y vapor de agua (H₂O). Los óxidos de nitrógeno (NO_x) son disociados en Nitrógeno molecular (N₂), principal constituyente de aire atmosférico, y oxígeno (O₂). Para que estas reacciones de disociación se produzcan, el catalizador debe estar a una temperatura aproximada de 500°C. En la combustión que se produce en un motor se generan gases, algunos nocivos y otros no. El nitrógeno, el dióxido de carbono y el vapor de agua no son perjudiciales directamente para las personas, como se puede detallar a continuación:

§ El nitrógeno (N₂), forma un 78% del aire que respiramos constantemente.

§ El vapor de agua (H_2O), igualmente forma una parte del aire que respiramos.

§ El dióxido de carbono (CO_2), no es nocivo directamente para las personas.

Figura 5. Representación de un convertidor catalítico de tres vías en funcionamiento

Fuente: <https://diccionario.motorgiga.com/catalizador>.

Los gases nocivos dependen de la composición de la mezcla, de un factor llamado lambda (

existe el convertidor catalítico. Por último, la depuración catalítica se basa en dos reacciones químicas:

- § Reducción: extracción de oxígeno de los componentes de los gases de escape.
- § Oxidación: adición de oxígeno a los componentes de los gases de escape.

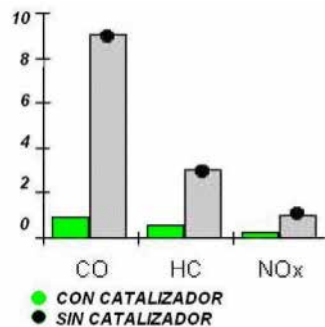


Figura 6. Emisiones en g/Km de un vehículo a diésel sin convertidor catalítico (gris) y con convertidor catalítico (verde) una velocidad de 50 Km/h.

Fuente: <https://es.slideshare.net/IramAbif/catalizador-y-sonda>.

Un convertidor catalítico para poder trabajar correctamente, necesita una temperatura interior mínima de 250°C. Debido a la posición que ocupa el convertidor catalítico en la línea de escape, esta temperatura se alcanza entre los 3 y 5 minutos de la puesta en marcha del motor. El proceso de oxidación que se realiza en el convertidor, al ser una combustión hace que la temperatura interior del convertidor catalítico aumente unos 50°C aproximadamente. El proceso de reducción no genera aumento en la temperatura. El monolito comienza a perder consistencia a los 1000°C.



Figura 7. Rangos y caídas de temperaturas en cada uno de los componentes del sistema de escape de un vehículo con un convertidor catalítico implementado.

Fuente: <https://es.slideshare.net/IramAbif/catalizador-y-sonda>.

3.2.2.4.3.2 Funcionamiento en ciclo cerrado

La eficiencia del convertidor catalítico depende de que la relación combustible/aire sea lo más próxima a la estequiométrica y es por eso que la

eficiencia del catalizador depende del correcto funcionamiento de la sonda lambda, y de esto se encarga el ECM. En resumen, se produce la combustión en el cilindro y se generan gases que salen por el colector de escape. Estos gases están en contacto con la sonda lambda, la cual detecta el contenido de oxígeno residual, emitiendo una señal alta o baja según el factor lambda sea mayor o menor de 1. Esta información es usada por el calculador del sistema de inyección de combustible para corregir el tiempo de inyección básico almacenado en la cartografía de la gestión del motor.

De este modo el factor lambda se mantiene siempre en valores muy cercanos a 1, lo que se llama la "ventana lambda" y en la que el catalizador muestra su máxima eficiencia. Esto es lo que se llama ciclo cerrado. Luego de este proceso los gases pasan por el silenciador.

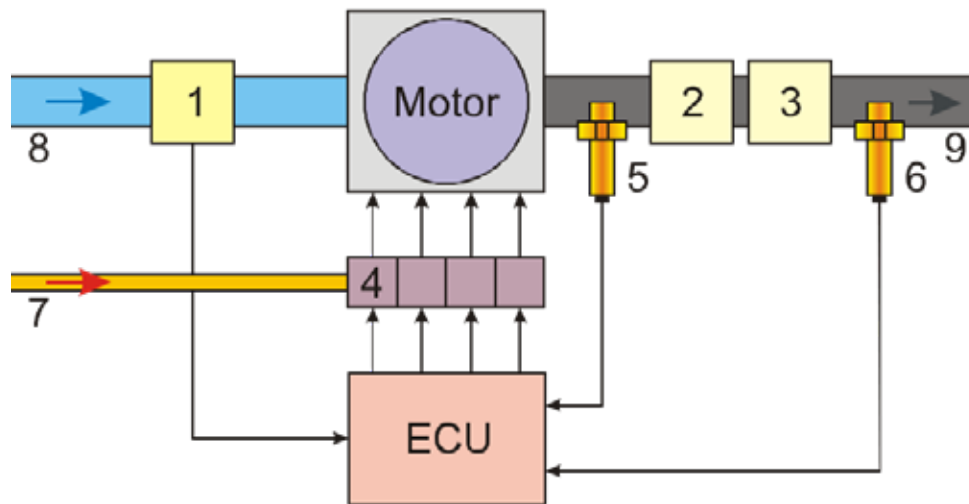


Figura 8. Figura 3-6. Funcionamiento del ciclo cerrado: Medidor de caudal de aire (1) / Catalizador (2 y 3) / Inyectores (4) / Sonda Lambda delantera (5) / Sonda Lambda trasera (6) / Llegada de gasolina (7) / Entrada de aire desde el filtro (8) / Escape (9).

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Convertidor_catalítico.

3.2.2.4.3.3 Composición y estructura

El convertidor catalítico está constituido por una carcasa de acero inoxidable, frecuentemente provisto de una carcasa metálica antitérmica, igualmente inoxidable, que protege a los vehículos de las temperaturas altas que alcanza el convertidor.

Contiene en su interior las sustancias catalizadoras, sustancias químicamente activas, soportadas por un monolito (colmena cerámica) recubierta por una capa amortiguadora que la protege de golpes. Esta colmena está formada por millares de minúsculos canales (celdas) por donde pasan los gases de escape. Las paredes de estos canales generan una superficie de contacto equivalente a tres campos de fútbol. La capa soporte del catalizador incluye una serie de sustancias activas como óxidos de aluminio, metales nobles (catalíticamente activos), y promotores o retardadores específicos, que aumentan o retardan la acción catalítica de los anteriores, sobre determinadas reacciones. Estos metales catalíticamente activos, se encuentran impregnados con una resina en las paredes de la colmena. Los componentes activos del convertidor son: Rodio (Rh), Platino (Pt) y Paladio (Pd). El Platino y el Paladio catalizan la oxidación del CO y de los HC, y el Rodio actúa como catalizador de reducción para convertir en elementos libres el Nitrógeno. Los gases de escape contaminantes generados por el motor, al entrar en contacto con la superficie activa del catalizador, son transformados parcialmente en elementos menos perjudiciales a la salud y el medio ambiente.

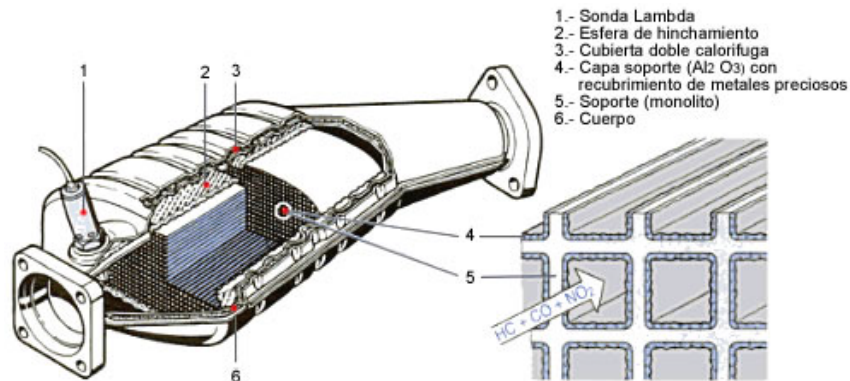


Figura 9. Esquema interno de un convertidor catalítico de 3 vías.

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/catalizadores.htm>.

3.2.2.4.3.4 Tipos de convertidores catalíticos

Según el sistema de funcionamiento, pueden ser de tres tipos:

- a) **Convertidor catalítico oxidante (o de dos vías):** se le denomina de "dos vías" porque solo trata dos gases. Es el convertidor más sencillo y barato, y solo

controla el monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos (HC). Dispone de un solo soporte cerámico que permite la oxidación de los ya mencionados CO y HC. Utilizado en vehículos antes de 1998.

- b) **Convertidor catalítico de tres vías con insuflación de aire:** También llamados de "doble efecto", o de "doble cuerpo", son en realidad un doble convertidor con toma intermedia de aire. El primer cuerpo actúa sobre los gases ricos de escape, reduciendo el óxido de nitrógeno (NO_x), mientras el segundo lo hace sobre los gases empobrecidos gracias a la toma intermedia de aire, reduciendo el monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos (HC).
- c) **Catalizador de tres vías:** son los más complejos, sofisticados y caros (siendo en la actualidad los más usados), y su evolución tecnológica ha desbancado a los catalizadores llamados de doble cuerpo en los que la oxidación de los gases contaminantes era incompleta. Los catalizadores de este tipo se llaman de "tres vías", porque en ellos se reducen simultáneamente los tres elementos nocivos más importantes: monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Trabaja a la par con la sonda lambda. Ésta mantiene al motor dentro de los parámetros adecuados para que el convertidor catalítico tenga un máximo rendimiento y durabilidad. Éste es el que realmente interesa y en el que va enfocado el trabajo.

3.2.2.4.3.5 Convertidores catalíticos en motores diésel

En los vehículos a Diésel, el convertidor catalítico de tres vías se divide en varias secciones o módulos, en el cual cada uno de éstos realiza una función en específico en el proceso de depuración o limpieza de emisiones. Anteriormente estaba compuesto de varios sistemas por separado, en el cual cada uno de ellos realizaba una única función en específico, ahora, se le puede hallar todo implementado en un mismo sistema o ensamble, con mejores resultados y menos ocupación de volumen.

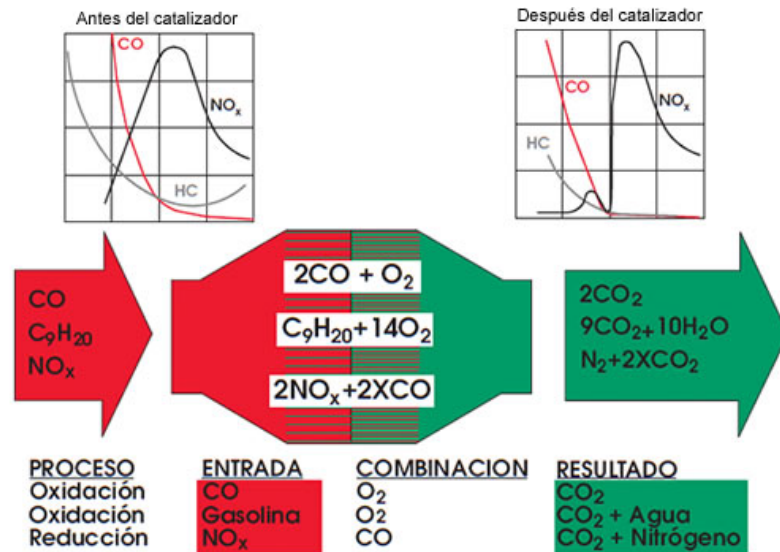


Figura 10. Esquema de los procesos químicos que se producen en un catalizador de 3 vías.

Fuente: Gallego F. (2015).

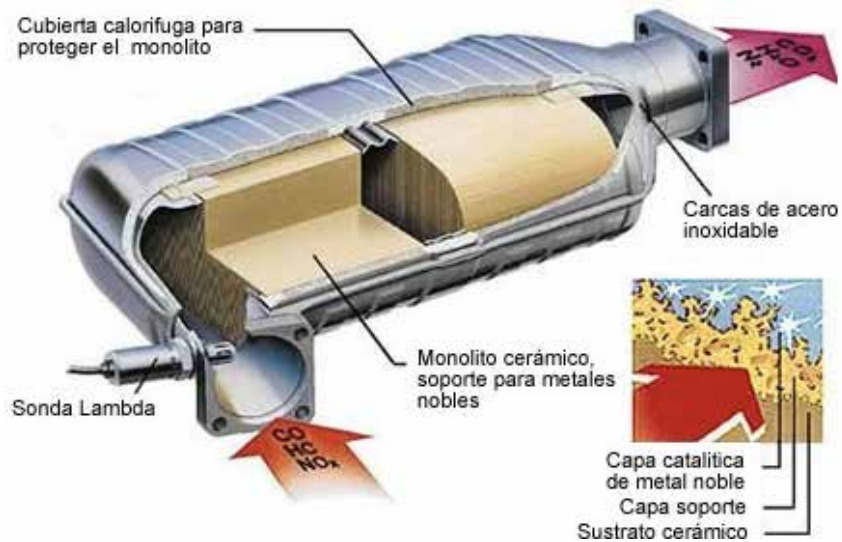


Figura 11. Sección de un convertidor catalítico de 3 vías.

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/catalizadores.htm>.

A continuación, se presenta un detalle y definición de cada uno de los componentes o sistemas del convertidor catalítico de 3 vías:

§ **DOC:** los catalizadores de oxidación diésel reducen la materia particulada (PM) a través de una reacción química que no requiere limpieza o mantenimiento. Un DOC consta de un recubrimiento catalítico sobre una cordierita o sustrato

metálico para oxidar la materia particulada del escape. Funciona en modo pasivo que no requiere regeneración activa ni requisitos especiales del ciclo de trabajo.

- § **DPF**: los filtros de partículas diésel son una tecnología de reducción de emisiones comprobada y confiable. Son efectivos para eliminar más del 90% de materia particulada (PM). El uso de regeneración pasiva y activa también permite un mayor control en la oxidación y limpieza del filtro. Los DPF, combinados con los DOC, usan sustratos de pared hechos típicamente de medios cerámicos porosos que capturan los gases de escape y eliminan las partículas de partículas finas o de hollín. Un filtro típico consiste en una serie de pequeños canales para que el escape fluya. Los canales adyacentes están enchufados en extremos opuestos, forzando a los gases de escape a fluir a través de la pared porosa, capturando las partículas de hollín en la superficie y poros interiores de los medios. A medida que se acumula hollín en el filtro, un evento de regeneración proporcionará suficiente calor para oxidar y capturar el hollín.
- § **SCR**: los sistemas SCR son una tecnología efectiva y confiable que reduce las emisiones de óxidos de nitrógeno y permite economía de combustible. Los sistemas SCR son virtualmente libres de mantenimiento con mantenimiento de filtro de sistema de dosificación ocasional dependiendo de la aplicación. Un sistema SCR se compone de tres elementos principales: catalizador SCR, sistema de dosificación de urea y sistema de control de postratamiento. El sistema usa un reductor químico, en este caso urea, que se llama fluido de escape diésel (DEF) en América del Norte o AdBlue en Europa. El DEF o AdBlue se convierte en amoníaco en la corriente de escape y reacciona con los NO_x sobre el catalizador para formar nitrógeno gaseoso y agua inocuos.
- § **ASC**: un sistema de escape que funciona con un catalizador SCR generalmente también está equipado con un catalizador especial que proporciona una función de oxidación selectiva de amoníaco (NH_3). Debido al ciclo dinámico de manejo, cantidades reconocibles de NH_3 dejan el SCR. Por lo tanto, la conversión del exceso de amoníaco que sale del catalizador SCR es obligatoria, ya que el

amoníaco también es un gas regulado por la emisión. La oxidación del amoníaco conduce a la formación de NO_x como producto principal, lo que en consecuencia contribuiría negativamente a la conversión total de NO_x de todo el sistema de escape. Un ASC sigue como un diseño de catalizador inteligente para mitigar la emisión de NO_x adicional. El catalizador combina la función clave de oxidación de NH_3 con una función SCR. El amoníaco que ingresa al ASC está parcialmente oxidado a NO_x . El NO y el NH_3 recién oxidados dentro del ASC, aún no oxidados, pueden reaccionar consecuentemente al N_2 siguiendo los esquemas de reacción de SCR habituales. Mediante un sistema inteligente y un diseño de catalizador, combinado con una estrategia de operación adaptada, el ASC es capaz de eliminar los rastros de NH_3 y convertir en paralelo los NO_x y N_2 recién formados y existentes, lo que finalmente ayuda a reducir las emisiones de NO_x .

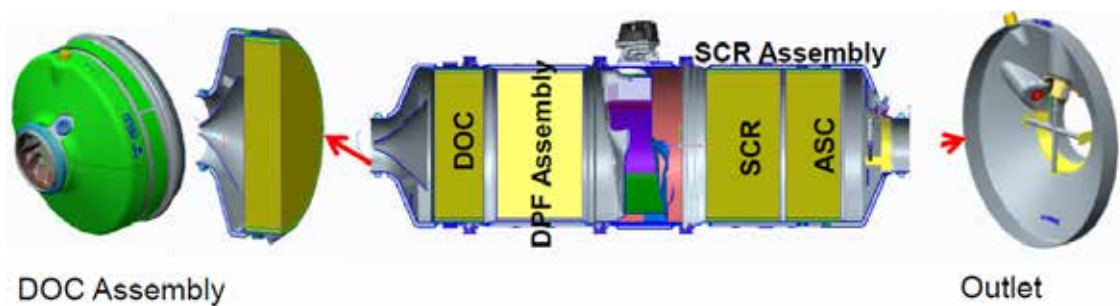


Figura 12. Representación de la sección transversal de un módulo individual. Se pueden observar los distintos sistemas que conforman al convertidor catalítico de 3 vías.

Fuente: Cummins EPA 2017 aftertreatment systems (2016).

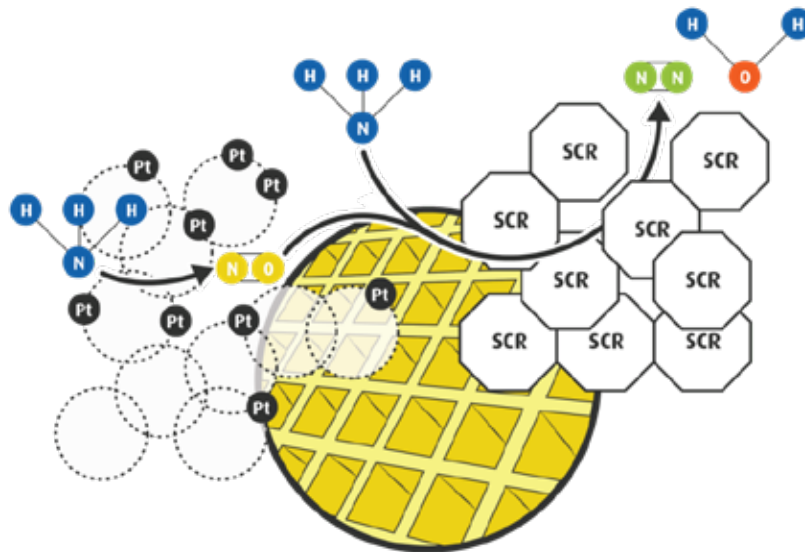


Figura 13. Representación gráfica de las reacciones que ocurren dentro de la estructura del sistema SCR.

Fuente: <http://ac.umicore.com/en/technologies/ammonia-slip-catalyst/>.

3.2.2.4.3.6 Convertidor catalítico de módulo individual

El Single Module o dispositivo de módulo único, como también se le conoce al convertidor catalítico utilizado actualmente en los motores modernos, es un sistema de tratamiento posterior de alta eficacia. Anteriormente, los sistemas de postratamiento se diseñaron simplemente para cumplir con los requisitos de emisiones. Este sistema, sin embargo, fue desarrollado específicamente para satisfacer las necesidades del cliente primero, al tiempo que cumple con los estándares de emisiones. Los beneficios de la implementación de este tipo de convertidores son los siguientes:

- § El Módulo único está diseñado para ser hasta un 60% más pequeño y un 40% más liviano que los sistemas de postratamiento anteriores, a la vez que mejora el rendimiento de reducción de emisiones.
- § El tamaño compacto permite una mejor administración y retención del calor para una economía de combustible mejorada.
- § El diseño de flujo de escape de paso único ofrece baja contrapresión.

- § El empaquetado simple permite menos variaciones. Esto permite mejoras en la integración del sistema y un sistema más robusto y confiable para el usuario final.
- § El sistema logra una atomización más eficiente de la urea y minimiza los depósitos de urea, por lo que requiere menos eventos de regeneración mientras se experimenta el uso óptimo de urea en todo el sistema.
- § Los avances en las tecnologías de catalizador han permitido que el filtro de partículas diésel tenga una mayor capacidad de cenizas, lo que permite un mayor tiempo entre los mantenimientos y la intervención del operador.
- § Otra característica bien importante es que el sistema viene integrado con el sistema de dosificación de urea UL2 para ofrecer mejoras en las capacidades de reducción de NO_x.

Entonces, se puede resumir que el catalizador de oxidación diésel (DOC) disminuye las emisiones de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) no quemados. El filtro de partículas diésel (DPF) disminuye el material particulado (PM), conocido comúnmente como hollín o humo. El sistema del fluido de escape diésel (DEF) dosifica una solución de urea inyectada antes del SCR que permite el funcionamiento de éste último. La reducción catalítica selectiva (SCR) disminuye las emisiones de NO_x y se realiza el desplazamiento y disociación del Amoníaco dosado (ASC) junto con los productos de NO_x que se obtienen con la reacción de la urea.

CO	<	0.2%
HC	<	50 ppm
CO ₂	>	13%
O ₂	<	0.2%
0.99	< LAMBDA <	1.01

Figura 14. Valores normales de emisiones en un convertidor catalítico de 3 vías.

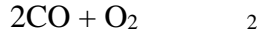
Fuente: <https://es.slideshare.net/IramAbif/catalizador-y-sonda>.

3.2.2.4.3.7 Reacciones químicas en los convertidores catalíticos

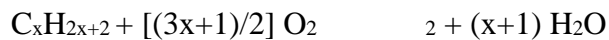
- **Doble vía**

En un convertidor de doble vía, ocurren dos reacciones simultáneas:

Oxidación de monóxido de carbono a dióxido de carbono:



Oxidación de hidrocarburos no quemados o parcialmente quemados a dióxido de carbono y agua:



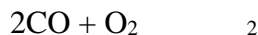
- **Triple vía**

En un catalizador de triple vía ocurren tres reacciones simultáneas:

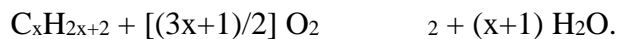
Reducción de óxidos de nitrógeno a nitrógeno y oxígeno:



Oxidación de monóxido de carbono a dióxido de carbono:



Oxidación de hidrocarburos no o parcialmente quemados a dióxido de carbono y agua:



La oxidación de los inquemados se da en presencia de platino, mientras que el proceso de oxidación del monóxido de carbono y la reducción de N_2 se da en presencia de Rodio, u otros catalizadores como Circonio o Paladio, más baratos que el Rodio, pero menos eficientes. En esta segunda fase la reacción real es:



3.2.2.4.3.8 Arquitectura de un sistema de postratamiento

El sistema de postratamiento moderno de un vehículo se compone de los siguientes dispositivos o elementos:

- a) **Convertidor catalítico de 3 vías (de modulo individual):** es el dispositivo que se encarga de reducir los diferentes productos de la combustión del motor.

- b) Bajante de escape:** tubería por la cual circulan los gases de escape del motor desde la salida de la turbina turbocompresor del motor hacia la entrada del convertidor catalítico. Posee una conexión flexible o fuelle simplemente llamado “flexible” que sirve para contrarrestar los efectos de la expansión y contracción térmica, además de absorber los impactos, movimientos y vibraciones en la tubería cuando el vehículo se encuentra en movimiento.
- c) Sistema de dosificación de urea:** es el sistema encargado de suministrar las dosis de urea acuosa en el SCR del convertidor catalítico. Éste a su vez se compone de los siguientes elementos:
- § **Tanque de almacenamiento:** también llamado reservorio, es en donde se almacena la urea acuosa.
 - § **Módulo de dosificación:** es el dispositivo que bombea la urea desde el tanque de almacenamiento hacia el convertidor catalítico a través de las redes de suministro del fluido.
 - § **Líneas de calentamiento de la urea:** son vías por donde circula agua caliente proveniente del motor, y cuya función es la de elevar la temperatura de la urea acuosa dentro del tanque de almacenamiento, con la finalidad de que se haga más fácil la evaporación y consecuente transformación del fluido a amoníaco al entrar en contacto con los gases de escape en el interior del convertidor.
 - § **Líneas de presión y retorno:** son las vías por donde circula la urea acuosa, impulsada por el módulo de dosificación.
- d) Tubería de escape:** es la vía por donde circulan los gases de escape ya tratados provenientes del convertidor catalítico y que van a ser expulsados hacia la atmósfera.
- e) Sensores y accesorios:** son los añadidos del sistema de postratamiento. Entre ellos se pueden hallar los responsables del control y monitoreo del proceso de catálisis y limpieza de las emisiones dentro del convertidor catalítico. También se pueden encontrar las piezas de sujeción como abrazaderas,

apoyos, bujes y otros. Cabe destacar que para los sistemas modernos de postratamiento, los fabricantes sugieren que no se aplique ningún tipo de aislante térmico alrededor de los elementos del sistema.

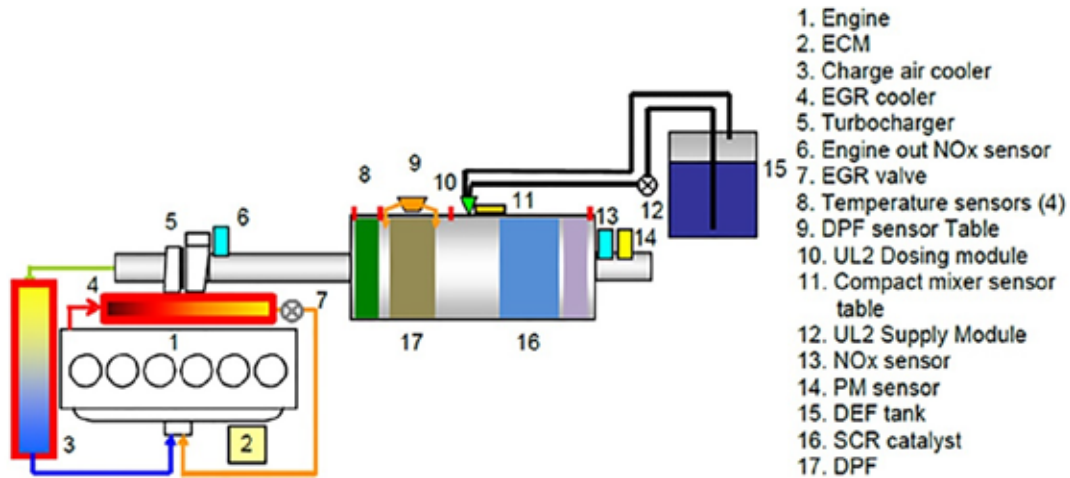


Figura 15. Arquitectura de un sistema de postratamiento con un catalizador de 3 vías.

Fuente: Cummins, Inc.

3.2.3 Boletines de Ingeniería de Cummins

Los boletines de Ingeniería de Cummins, son documentos que tienen como objetivo proporcionar los conocimientos, información, requisitos de aplicación y recomendaciones para ensamblaje en las nuevas instalaciones de ciertos modelos de motores proporcionados por Cummins. Es decir, son una especie de manuales que sirven como normas para las instalaciones y ensamblaje de vehículos que tengan un motor fabricado por Cummins, y donde se incluye todos los criterios a tomar en cuenta para la correcta funcionalidad, operación y posterior evaluación para la certificación del vehículo y para chequear su correcta aplicación, en términos de seguridad, potencia, contaminación, entre otros, que se detallarán más adelante.

Entre los boletines de Ingeniería, se encuentran dos tipos: los Boletines de Ingeniería de Aplicación (AEB), y los Boletines de Ingeniería del Cliente (CEB). En los primeros, se detalla toda la información que deben tener en cuenta tanto los asesores de Cummins, como los distribuidores oficiales o con licencias de

Cummins que proporcionan el material, bien sea motores, plantas eléctricas, repuestos, partes o accesorios a las fábricas, ensambladoras o cualquier otro que requiera de productos Cummins y que se obtengan a través de éstos. En los segundos, se detalla toda la información que necesita saber el cliente, entiéndase mejor a los clientes que compran estos productos, y que les servirá de información útil para la aplicación en específico que tendrán éstos.

Los boletines de ingeniería de Cummins son extraídos de la GCE (Global CustomerEngineering), sitio web perteneciente a Cummins que se especializa en proporcionar los materiales necesarios para los empleados, distribuidores oficiales de los productos y clientes que usen éstos, con el fin de obtener los conocimientos necesarios para la aplicación, instalación o servicio de los materiales, equipos, productos y de la ingeniería de Cummins. En los anexos se encuentran ejemplos de cada uno de estos boletines de ingeniería.

3.2.4 Agencias reguladoras de emisiones de vehículos

Las políticas ambientales que regulan al autotransporte a nivel global son un auténtico desafío para los fabricantes de motores, quienes a lo largo de los últimos años han desarrollado tecnologías que permiten satisfacer los estrictos requisitos de emisiones contaminantes (óxido nítrico y partículas principalmente) provenientes de los motores a diésel, planteados tanto por la Environmental Protection Agency (EPA) y la Comisión Europea (Euro). Los motores a diésel por años fueron considerados como equipos sucios, sin embargo, en la actualidad los camiones y autobuses producen una octava parte de las emisiones que en la década de los noventa ya que los motores nuevos son más limpios. Con el fin de que las modernas tecnologías de control de contaminantes fueran más eficaces se exigía en dicho documento que el azufre en el diésel disminuyera en un 97%, es decir, que pasara de 500 ppm (Diesel de Bajo Azufre, o LSD) a 15 ppm (Diésel de Ultra Bajo Azufre o ULSD).

Los motores de los vehículos, los vehículos recreativos y los motores en general deben cumplir los estándares de emisiones de la EPA (en Estados Unidos) o de la Euro (en Europa). Estos se aplican a coches, camiones, autobuses, vehículos

recreativos, así como a motores, generadores, máquinas utilizadas en agricultura, ganadería, construcción y jardinería, motores para embarcaciones y locomotoras. Además, también se regula la composición del combustible que utilizan las fuentes móviles, tales como gasolina, diésel, etanol, biodiésel y mezclas de los combustibles. Los vehículos y motores nuevos deben tener un certificado de conformidad emitido por la EPA antes de ingresar o ser importados a los Estados Unidos. Este indica que el motor o vehículo cumple todos los requisitos necesarios sobre emisiones. También exige que los vehículos y motores certificados tengan etiquetas.

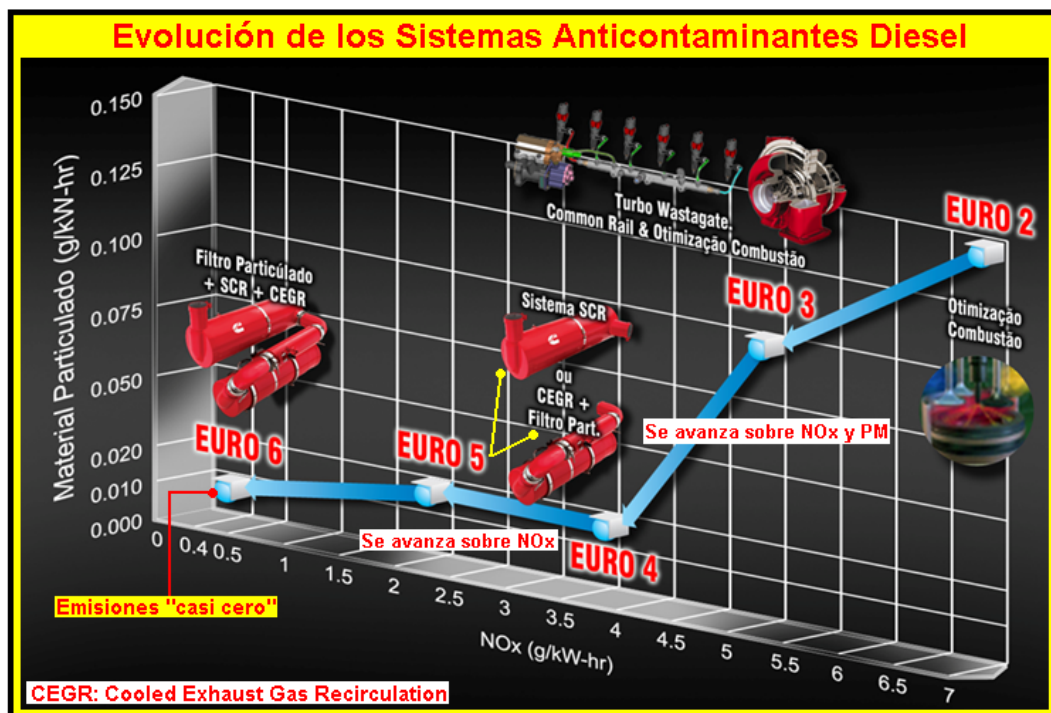


Figura 16. Evolución de los sistemas anticontaminantes Diésel, según las normas EURO. Con el pasar de los años las exigencias de las agencias reguladoras son mayores, por lo que se requiere innovación en estos sistemas.

Fuente: <http://www.autosoporte.com/blog-automotriz/item/408-control-de-emisiones-de-los-gases-de-escape-motores-diesel>.

3.2.5 E-NT710 USA

Entre los grandes proyectos que tiene planificada la empresa ENCAVA, se encuentra el que se puede decir el más ambicioso hasta el momento, que es el de la

introducción de un vehículo diseñado por la empresa en el mercado norteamericano, del cual se hizo mención anteriormente. El vehículo destinado para el proyecto fue diseñado exclusivamente por la empresa, el cual recibe el nombre de E-NT710 USA, en donde las siglas hacen mención a “E” de *ENCAVA*, “NT” de *Nueva Tecnología* y “USA” el país de destino, y también para ser diferenciado de su diseño gemelo destinado al mercado venezolano, llamado simplemente E-NT710. La aplicación del vehículo será de *Shuttle bus*, que se refiere a ciclos de trabajo mediano a ligero como se pudiese observar en vehículos de transporte de ancianos, servicio de transporte de aeropuertos, entre otros semejantes.

El vehículo tiene la capacidad para albergar a 32 pasajeros en asientos individuales, entrando en la categoría de minibús interurbano o “mini-pullman”, como bien se le conoce en la empresa. Posee un motor Cummins modelo ISB 6.7L EPA 2017, 6 cilindros en línea y a Diésel, el cual fue fabricado para cumplir con los estándares de control de emisiones que establece la EPA para entrar en vigencia en el período 2017-2019. Para más información, En los anexos C y D se puede encontrar las *Datasheets* u hojas de especificaciones de este motor.



Figura 17. Diseño por computadora del prototipo del E-NT710 USA.

Fuente: ENCAVA, C.A.

3.2.6 Cálculos asociados a los elementos del sistema de postratamiento

3.2.6.1 Corrosión

La corrosión es el deterioro que sufre un material a consecuencia de un ataque químico por su entorno. Siempre que la corrosión esté originada por reacción química, la velocidad a la que tiene lugar dependerá en alguna medida de la

temperatura y de la concentración de los reactivos y de los productos. Otros factores, como el esfuerzo mecánico y la erosión también, pueden contribuir al deterioro. Existen muchos tipos de corrosión, los cuales deterioran a los materiales de diferentes formas y en diferente según sea el medio que lo rodea. Los casos más típicos de corrosión son:

- § Corrosión uniforme: tipo de corrosión que actúa en forma uniforme o regular sobre toda la superficie del metal.
- § Corrosión localizada: corrosión en donde el ataque es muy localizado. Se concentra en zonas muy pequeñas de la superficie.
- § Corrosión galvánica: corrosión que se produce cuando dos metales diferentes están conectados eléctricamente.
- § Corrosión efecto velocidad: es un incremento en la velocidad de deterioro de un metal o aleación debido al movimiento relativo entre éstos y un fluido corrosivo.
- § Corrosión intergranular: es un ataque preferencial de los límites de grano o zonas adyacentes.
- § Corrosión-exfoliación: corrosión sub-superficial, que se esparce bajo la superficie pero de apariencia laminar. Capas completas de material son corroídas
- § Corrosión selectiva: corrosión en la que uno o más componentes de la aleación se ataca preferencialmente.
- § Corrosión Fenómeno Cracking: es el resultado del efecto combinado entre corrosión y esfuerzos de tracción (agrietamiento).
- § Corrosión Alta Temperatura: corrosión provocada por la exposición de metales a gases corrosivos a temperaturas elevadas, y que pueden corroerse por acción directa con el gas en ausencia de cualquier electrolito líquido.

3.2.6.2 Velocidad de corrosión

La velocidad de corrosión, vista también como la velocidad de eliminación de material como consecuencia de la acción química, es un parámetro de corrosión importante. Esto puede expresarse como la velocidad de penetración de la corrosión, o la pérdida de espesor de material por unidad de tiempo. Las unidades más

convencionalmente usadas a nivel internacional para la medición de la velocidad de corrosión son el mdd (miligramos por decímetro cuadrado por día) y el mpy (milésimas de pulgada por año). Para la determinación de la velocidad de corrosión y posteriormente determinar la pérdida de espesor de un material, se puede dar uso de las siguientes ecuaciones definidas:

Dónde:

V_{corr} : velocidad de corrosión (cm/s)

I: intensidad de corriente de corrosión (A)

P.E: peso equivalente del material. Es la relación entre el peso atómico y el número de electrones involucrados en la reacción electroquímica (g/mol)

d: densidad del material (g/cm³)

F: constante de Faraday (96.500 A.s/mol)

A: área expuesta al medio corrosivo (cm²)

Luego de determinarse la velocidad de corrosión, se procede a determinar el espesor de material perdido por acción de la corrosión uniforme:

(2)

Dónde:

e: espesor del material perdido (mm)

V_{corr} : velocidad de corrosión (cm/s)

t: tiempo de exposición del material al medio corrosivo (s)

3.2.6.3 Momento de flexión en vigas

Una viga es un miembro estructural que se somete a cargas transversales, es decir, cargas que actúan perpendicularmente a su eje longitudinal. Las cargas que se aplican a la viga provocan esfuerzos cortantes y le imparten su figura característica de pandeo o flexión y esto da como consecuencia a momentos de flexión o flectores. Los momentos de flexión son aquellos que hacen que la viga asuma su característica curvada o flexionada, desarrollada por la aplicación de cargas perpendiculares a ésta.

3.2.6.3.1 Fuerza o carga G

La fuerza G no es una medida de fuerza sino una medida intuitiva de aceleración. Está basada en la aceleración que produciría la gravedad terrestre en un objeto cualquiera en condiciones ideales (sin atmósfera u otro rozamiento). Una aceleración de 1G es generalmente considerado como igual a la gravedad estándar, que es de 9.80665 metros por segundo cuadrado (m/s^2). Entonces, al estar un cuerpo sometido a 1G, la carga es igual a la del peso mismo del objeto, distribuido uniformemente en todo el objeto según sea el caso.

3.3 Definición de términos básicos

- ✓ **Catálisis:** es el proceso por el cual se aumenta o disminuye la velocidad de una reacción química, debido a la participación de una sustancia llamada catalizador.
- ✓ **Catalizador:** es una sustancia que puede acelerar o retardar una reacción química sin participar en ella y sin sufrir modificaciones en su composición.
- ✓ **Contaminación:** es la alteración nociva del estado natural de un medio como consecuencia de la introducción de un agente totalmente ajeno a ese medio (contaminante), causando inestabilidad, desorden, daño o malestar en un ecosistema, en el medio físico o en un ser vivo.
- ✓ **DEF:** es el reactivo para la funcionalidad del sistema SCR. Es una solución acuosa de urea cuidadosamente mezclada con un 32.5% de urea pura y 67.5% de agua des-ionizada.
- ✓ **Emisión:** es la acción y efecto de emitir, es decir, puede ser la exhalación o expulsión de una cosa hacia afuera.
- ✓ **Emisión contaminante:** son aquellos residuos tóxicos emanados por la actividad humana, ya sea industrial o doméstica y que afectan severamente la calidad de vida y del medio ambiente. Las emisiones vehiculares son un ejemplo de éstos.
- ✓ **Gases de escape:** son los materiales de residuo en forma de gas que ya no tienen utilidad y que se genera como consecuencia de un proceso de combustión.
- ✓ **Inocuo (inocuidad):** es un término que se utiliza para hacer referencia a un objeto o persona que no es capaz de hacer daño.

- ✓ **Oxidación:** es una reacción química donde una sustancia cede electrones y como consecuencia se transforma, por la acción de oxígeno u otro oxidante.
- ✓ **Postratamiento:** es un método o dispositivo usado para reducir las emisiones nocivas de los motores de combustión interna antes de su liberación a la atmósfera, por ejemplo, un filtro o un convertidor catalítico.
- ✓ **Reducción:** es una reacción química donde una sustancia gana electrones y como consecuencia se transforma.
- ✓ **Tratamiento:** es la forma o los medios que se utilizan para llegar a la esencia de algo, bien porque ésta no se conozca o porque se encuentra alterada por otros medios de cualquier clase, y cuya finalidad es la curación o el alivio de un problema. En ingeniería ambiental, el tratamiento es el conjunto de operaciones cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o características no deseables de los residuos.
- ✓ **Urea:** la urea es un compuesto de nitrógeno que se convierte en amoníaco con el calor. Es usado en diferentes giros industriales, como la industria de fertilizantes y de agricultura.

CAPÍTULO IV

FASES METODOLÓGICAS

En este capítulo se definen las etapas a seguir para perseguir a los objetivos en estudio. Se trata de una creación personal por parte del autor, en el cual se intenta explicar detalladamente el procedimiento de cada uno de los objetivos denominados fases en este capítulo.

4.1 Fases de la investigación

Fase I: Análisis de los boletines de ingeniería basados en los estándares de la agencia de protección ambiental.

En la primera fase del proyecto, se identifica la necesidad y se busca atacar con las herramientas necesarias para ello. Con esto se hace referencia a precisamente los boletines de ingeniería, de donde se obtendrá toda la información necesaria para llevar a cabo cada uno de los procedimientos a realizar para alcanzar el objetivo general del proyecto. Para dar inicio al desarrollo de la solución del proyecto, se necesita dar a entender la amplitud del problema y todo lo que abarca, y en este caso se enfoca primeramente en identificar los temas a tratar y los materiales necesarios. Dentro de los mencionados boletines, que se obtienen a través de los proveedores de los instrumentos a utilizar en el sistema de tratamiento a implementar, se describen los criterios iniciales y en general a tomar en cuenta sirviendo como una especie de manual de instalación y estudio de la implementación del sistema.

Fase II: Determinación de los criterios y elementos necesarios para la conformación del sistema de tratamiento.

Una vez iniciada la primera fase del proyecto, se procede a determinar las directrices que establecerán progresivamente el encaminamiento del proyecto, y con esto se hace referencia a las variables, parámetros, criterios u otros, que estarán involucrados y serán las bases para el estudio del proyecto, en este caso, llámese la

implementación del sistema de tratamiento. A partir de aquí, se inician los cálculos, se toman las decisiones de los elementos a utilizar y también de los materiales de ingeniería que los conformarán, las dimensiones y la geometría de los mismos. Todo esto será extraído de los boletines de ingeniería de acuerdo se vaya abordando cada tema involucrado, y se detallará según quede establecido en éstos.

Seguidamente, se utilizarán herramientas como diagramas, esquemas de los sistemas en estudio en softwares de diseño mecánico, para tener una idea clara del aspecto final del sistema y evaluar posibles problemas que se pudiesen presentar en la estructura del mismo con anticipación y hacer las respectivas correcciones según lo vayan permitiendo los boletines de ingeniería y los asesores certificados correspondientes, en este caso de la empresa que provee los elementos a implementar para la conformación del sistema de tratamiento de emisiones.

Fase III: Desarrollo de la estructura del sistema de tratamiento de emisiones.

En la tercera fase del proyecto es en donde se concentra la mayor parte del trabajo y el tiempo invertido, ya que es en donde se ataca directamente al objetivo general de la investigación. Es aquí en donde se utilizan la mayoría de los recursos y es la etapa más determinante del proyecto, es en donde se va a poder observar físicamente el trabajo realizado hasta el momento, y es por ello el interés en usar todo lo que se encuentre al alcance de las partes involucradas. Así mismo, se utilizan como bases del desarrollo las conclusiones y resultados obtenidos de las dos primeras fases del proyecto, ya que estas dos primeras son las que establecen los procedimientos a seguir y a tomar en cuenta en el resto del mismo. Posteriormente, se podrá ir observando en una primera instancia el aspecto final del sistema implementado, a falta de realizar las respectivas comprobaciones y pruebas, que se detallan más adelante, en la última fase del proyecto.

Fase IV: Evaluación del comportamiento del sistema de acuerdo a lo establecido en los boletines de ingeniería.

Por último, como debería ser de costumbre, se realizarán las pruebas para evaluar, observar y detallar el comportamiento que debería adoptar el sistema que se

estudió y diseñó. Aquí se determina si las decisiones tomadas anteriormente en las otras fases, fueron las más correctas y necesarias para el correcto desempeño del sistema de tratamiento y permite comprobar que éste realice las debidas funciones y cumpla con los resultados esperados. Finalmente, con la superación de las debidas pruebas, exámenes y/o ensayos necesarios que solicitan los representantes de la empresa fabricante de los componentes del sistema, se viene la consecuente aprobación por parte de éstos, dando cumplimiento a lo exigido por las agencias reguladoras de emisiones.

Ya con esto se logrará el objetivo final, y se logra también el objetivo general de implementar un sistema de tratamiento de emisiones en un vehículo diseñado por ENCAVA. Con esto se logrará introducir el vehículo al territorio norteamericano, objetivo por el cual se llevó a cabo este proyecto principalmente, y también servirá para documentar todas las labores realizadas por el equipo de ingenieros de la empresa, como también el tiempo y los recursos que fueron necesarios.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

En esta sección, se detallan los procesos realizados para la obtención de los resultados del trabajo producto del seguimiento de las fases de la investigación mencionadas anteriormente, y que, según la metodología estudiada y definida, se consigue el diseño del sistema requerido para la aplicación y objetivo de este trabajo. A continuación, el desarrollo de las fases de la investigación:

5.1 Análisis De Los Boletines De Ingeniería Basados En Los Estándares De La Agencia De Protección Ambiental.

Primero que nada, se puede decir que en vista del impacto negativo de las emisiones de los motores de combustión interna con respecto al medio ambiente, y las cada vez más estrictas y crecientes normas de las agencias reguladoras de emisiones, se tiene la necesidad de reducir dicho impacto contaminante de las emisiones del motor que va a ser implementado en el vehículo ENT-710 USA. Los ingenieros del equipo de Cummins-*fabricante del motor*-diseñaron un sistema de postratamiento el cual cumple dicha función, actuando directamente en los componentes de los gases de escape del motor, filtrando y alterando a éstos químicamente, y haciéndolos menos nocivos para el medio ambiente y para los seres humanos. En conjunto con el desarrollo del sistema de postratamiento, se elaboraron una serie de documentos con el nombre de boletines de ingeniería, los cuales hacen el papel de manuales de instalación, y que poseen un conjunto de normas para cumplir y poner en práctica, con el fin de conseguir la validación del vehículo para el permiso de circulación en el territorio estadounidense. La validación se realiza por parte del equipo de Cummins y la Agencia de Protección Ambiental de E.E.U.U. (EPA).

La EPA, es la agencia estadounidense que se encarga de emitir los estándares a cumplir por parte de los fabricantes de motores y/o ensambladores de los vehículos

que serán comercializados en el país. Dicha agencia, define cuáles son los reglamentos a cumplir por todas las industrias en cuanto a todos los tipos de contaminación que pueden existir, entiéndose contaminación del aire, de la tierra, del agua, sonora, entre otras. En cuanto a la contaminación del aire respecta, se establecen los límites de emisiones(estándares) de cada uno de los componentes nocivos de los gases de escape de los motores de combustión interna, y también el período de vigencia de éstos, ya que constantemente se van modificando los límites con la finalidad de disminuir progresivamente la contaminación hasta hacerla prácticamente nula. El período de vigencia de los estándares de emisiones de la EPA en cuanto a los motores de combustión interna es de 3 a 4 años.

Para la obtención de los boletines de ingeniería, se debe ingresar al sitio web del Global Customer Engineering (GCE) de Cummins mediante un usuario, el cual es proporcionado por estos últimos a los distribuidores oficiales de los productos Cummins y a los clientes ensambladores clasificados como OEM, entrando a esta categoría la empresa Encava. Con toda la información del modelo del motor, se pueden buscar los boletines que aplican para la instalación y ensamblaje, junto con los demás equipos y dispositivos Cummins. Los requisitos de instalación del sistema de postratamiento están organizados en componentes modulares AEB / CEB. La matriz presentada a continuación sirve como guía para identificar los AEB / CEB apropiados para usar en cada sistema de postratamiento del motor.

El objetivo principal de los documentos y boletines de control de emisiones es presentar pautas de diseño, recomendaciones y requisitos para el dispositivo de postratamiento de módulo único utilizado en camiones y autobuses automotrices de la EPA para 2017 y 2018, camión y autobús automotriz para Bharat Stage VI (BS VI), camión y autobús automotriz para los modelos de norma nacional VI (NS VI) y Euro VI y equipos industriales para la regulación de emisiones de la etapa V y de la EPA Tier 4 Final (T4F) de la Unión Europea (UE).

Esta información debe ser utilizada por los OEM para ayudar en el diseño de la máquina / vehículo, pero no es un sustituto de la validación de la máquina o los

sistemas del vehículo. Los requisitos incluidos aquí son comunes a aplicaciones industriales y automotrices o específicas para aplicaciones industriales o automotrices. Los requisitos que contienen una redacción para un tipo de aplicación específico son específicos para ese tipo de aplicación indicada. Para los requisitos que no indican una aplicación específica, el requisito se aplica a las aplicaciones automotrices e industriales. La tabla de clasificación de la página principal de productos de Cummins GCE, tabla de opciones de PE, proporciona detalles sobre los números de pieza de los dispositivos de un solo módulo aprobados que corresponden al modelo del motor y la clasificación de potencia que se está instalando.

		Aftertreatment Components			Dosing System	DEF Quality	IQA Test Method		Aftertreatment Reorientation
		DOC/ SCR	DOC/ DPF/ SCR	Single Module	UL2	Urea Quality Sensor	Industrial Test Method	Automotive Test Method	
Tier 4 Final/EU Stage IV	QSG 12		X		X	X	X		X
EPA 2017/2018	B6.7			X	X	X		X	
	L9			X	X	X		X	
	X12			X	X	X		X	
	X15			X	X	X		X	
EU Stage V/Tier 4 Final	B6.7			X	X	X	X		X
	L9			X	X	X	X		X
Euro VI OBD A	X15			X	X			X	
Euro VI OBD C	X15			X	X	X		X	
		AEB 24.75		AEB 21.167	AEB 24.74	AEB 24.74	AEB 24.78	CEB00593	CEB00599

Figura 18. Matriz de los AEB/CEB para los sistemas de postratamiento.

Fuente: AEB 21.167. GCE Cummins.

En la tabla 1, se detallan todos los boletines de ingeniería y otros documentos a ser usados en el trabajo de investigación, relacionados con la aplicación en estudio, en este caso, el sistema de postratamiento.

Tabla 1. Boletines de ingeniería y documentos informativos relacionados al sistema de postratamiento en estudio. Cummins ISB 6.7 EPA 2017.

Fuente: GCE, Cummins.

Identificación del documento - GCE Cummins	Título y/o descripción del boletín o documento
AEB 21.112 Attachment 3	Tube Joint Water Ingress Calculator
AEB 21.167	Automotive and Bus (Single Module Aftertreatment Device) 2017 EPA Installation Requirements
AEB 24.40 Attachment C	CES Vibe Kits and Multi Vibe Software User Guide
24.62 Attachment A	Downpipe & Ancillary Tubing Exhaust Leakage Calculator
AEB 24.74	UL2 Dosing System Aftertreatment Installation Requirements
24.78 Attachment A	Aftertreatment System Joint Bending Moment Calculator
CEB 00508	CM2350 2017 – Electronic Subsystem Technical Package – OEM Interfaces
CEB 00509	CM2350 2017 – Electronic Subsystem Technical Package – OEM Components
CEB 00510	CM2350 2017 – Electronic Subsystem Technical Package – Serial Communications
CEB 00593	Automotive Aftertreatment Test Methods and Procedures
CEB00593 Attachment A	TemperatureDropCalculator
CEB00593	DEF TankTemperatureCalculator

AttachmentB	
2017 CustomerImpactPresentation	EPA 2017 AftertreatmentSystems
CES Datasheet 2017 EPA	AftertreatmentDatasheet
CES-S-MANF-2	70°, Spherical, and Alternate Flange Joints for Customer Communication

Dentro de los documentos presentados en la tabla 1, se resaltan aquellos que se mencionan en la figura 5-1 y los que se relacionan directamente con los requisitos o requerimientos para la conformación del sistema de postratamiento.

El sistema de postratamiento consta de un conjunto de dispositivos que realizan funciones específicas, teniendo como corazón del sistema al convertidor catalítico, lugar donde ocurren las transformaciones químicas de las emisiones del motor. Cada uno de los subsistemas que forman parte del sistema de postratamiento posee su propio boletín de ingeniería con todos los requerimientos de diseño e instalación determinados por Cummins. Por ejemplo, en el AEB 21.167, en relación al bajante de escape, que recolecta los gases de escape a la salida del turbocompresor y los lleva al convertidor catalítico, se describen los materiales recomendados para la fabricación a fin de evitar un deterioro prematuro del elemento y obtener una buena resistencia a la corrosión por las altas temperaturas desarrolladas por la combustión y por los efectos corrosivos de los compuestos de los gases de escape.

5.7 Down Pipe

Requirement 3: The down pipe inlet connection must be manufactured based on the specifications provided in CES-S-MANF-2 Outline document.

Requirement Background: Proper design of the single module connection point will ensure that excessive wear and exhaust gas leakage is minimized

Refer to the appropriate GCE product pages for CES-S-MANF-2 documentation.

5.7.1 Material

Requirement 4: The down pipe must be able to meet the useful life requirements of the emission system. The down pipe material must be made of material listed in Table 4 and be designed not to interfere with the operation of the aftertreatment system.

Requirement Background: It is necessary that downpipe material does not rust internally such that it would contaminate the single module device substrates.

The tubing in the exhaust system between the engine and the single module device (downpipe) is an integral part of the engine emission control system. The process to control particulate emissions is dependent on high exhaust gas temperatures in the single module device. The down pipe material useful life of each product category is shown in Table 3.

Table 3 Emission Material Useful Life

Application	Useful Life
Automotive Heavy Duty (X15, X12)	700,000 km (435,000 mi)
Automotive Medium Duty (B6.7, L9)	297,729 km (185,000 mi)
Industrial B6.7 and L9	EU Stage V - 8,000 hours Tier 4 Final – 8,000 hours/10 years (whichever comes first)

Figura 19. Ejemplo de los requerimientos de un boletín de ingeniería.

Fuente: AEB 21.167. GCE Cummins.

Common Name	Specification	Acceptability	
		Downpipe	Tail pipe
Ferritic Stainless Steels			
409	ASTM A240 S40910, S40920 or S40930	Yes	Yes
X2CrTi12	CEN EN 10088-2/annealed	Yes	Yes
430	ASTM A240 S43000	Yes	Yes
439	ASTM A240 S43035	Yes	Yes
441	CEN EN 10088-2 1.4509/annealed	Yes	Yes
X3CrTi17	CEN EN 10088-2/annealed	Yes	Yes
Austenitic Stainless Steels			
304	ASTM A240 S30400	Yes	Yes
304L	ASTM A240 S30403	Yes	Yes
316	ASTM A240 S31600	Yes	Yes
316L	ASTM A240 S31603	Yes	Yes
316Ti	ASTM A240 S31603	Yes	Yes
321	ASTM A240 S32100	Yes	Yes
347	ASTM A240 S34700	Yes	Yes
904L	ASTM A240 N08904	Yes	Yes
X5CrNi18-10	CEN EN 10088-2 1.4301/solution annealed	Yes	Yes
X2CrTi18-9	CEN EN 10088-2 1.4307/solution annealed	Yes	Yes
X1NiCrMoCu25-20-5	CEN EN 10088-2 1.4539/solution annealed	Yes	Yes
Aluminized Ferritic Stainless Steels			
Aluminized 439	ASTM A463 FSS Type 439 (T1-13, T1-25, T1-40 or T1-100)	Yes	Yes
Aluminized 409	ASTM A463 FSS Type 409 (T1-13, T1-25, T1-40 or T1-100)	Yes	Yes
Cast Parts	Ferrite ductile iron		
Ferrite ductile iron	ASTM A536, grade 60-40-18 with a minimum of 2.6% silicon	Yes	No
Ferrite ductile iron	SAE J434c, grade D4018 with a minimum of 2.6% silicon	Yes	No

Figura 20. Ejemplo de los requerimientos de un boletín de ingeniería (continuación).

Fuente: AEB 21.167. GCE Cummins.

En las figuras 5-2 y 5-3 se pueden observar la estructura de un boletín de ingeniería y de qué manera se plantean los requerimientos o exigencias de instalación y diseño de cada uno de los sistemas del vehículo en estudio.

Component from this AEB	Supply Responsibility
Single Module Device (includes dosing module)	Cummins Inc.
Down Pipe (Engine to single module device inlet)	OEM
Tailpipe	OEM

Figura 21. Lista de componentes del postratamiento responsabilidad de Cummins y OEM.

Fuente: AEB 21.167. GCE Cummins.

5.2 Determinación De Los Criterios Y Elementos Necesarios Para La Conformación Del Sistema De Tratamiento.

De los boletines de ingeniería y otros documentos descritos en el cuadro 1, se han extraído todos los requerimientos de diseño, instalación y montaje, donde se encuentran implícitos los parámetros de diseño, así como las recomendaciones a considerar. A través de estos requerimientos, se conocerán los elementos y/o materiales necesarios, criterios a tomar en cuenta para el diseño y se obtendrán planos layouts que servirán de guía para el diseño de los diferentes subsistemas que conforman al sistema de postratamiento. En el cuadro 2 se muestra la lista con todos los requerimientos y recomendaciones a considerar para el diseño y conformación del sistema de postratamiento a implementar. En la fase III de la implementación del sistema de postratamiento se desplegará toda la información referente a cada uno de los requerimientos y recomendaciones de instalación pautados por el equipo de Cummins y plasmados en los boletines de ingeniería respectivos.

En la figura 5-4 se muestran los componentes del sistema de postratamiento que proporciona Cummins, Inc. y los componentes que deben correr por parte integral del OEM o ensamblador, ya que estos componentes son dependientes de la aplicación a la que están orientados y de la geometría del vehículo ensamblado.

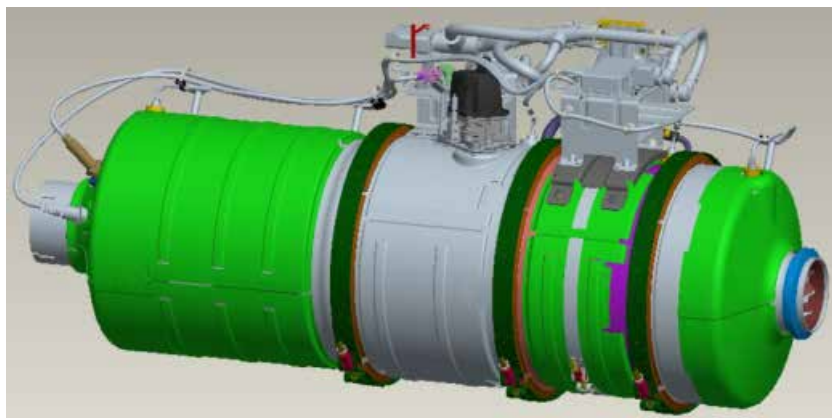


Figura 22. Dispositivo de módulo único y módulo de dosificación, por parte de Cummins.

Fuente: CumminsEmissionsSolutions.

Tabla 2. Requerimientos de instalación del sistema de postratamiento. Cummins ISB 6.7 EPA 2017.FR: 94747.

Fuente: GCE, Cummins.

CATEGORÍA	SUB-CATEGORÍA	REQUERIMIENTOS DE INSTALACIÓN
General	Consideraciones del agua	1. Los dispositivos de módulo único vertical deben instalarse dentro de +/- 10 grados de vertical. El orificio de drenaje no debe taparse o cubrirse con correas de montaje. (02989.03)
		2. El dispositivo de postratamiento horizontal debe instalarse dentro de +/- 10 grados de horizontal para que el orificio de drenaje funcione correctamente. El orificio de drenaje no debe taparse o cubrirse con correas de montaje. (No se requiere para aplicaciones de autobuses escolares automotrices de la EPA). (02982.03)
	Cumplimiento de emisiones	3. El flujo del gas de escape debe pasar del motor al dispositivo de tratamiento posterior. No se permite desviar el flujo de gases de escape antes del dispositivo de postratamiento. (02864.01)
		4. Cummins Inc. debe aprobar todas las modificaciones posteriores a la fábrica, como la reubicación o el cambio de los componentes del sistema. (02875.02)
		5. Cummins Inc. debe aprobar las configuraciones de postratamiento utilizadas para cada instalación. (02838.02)

	Consideraciones de temperatura	6. El OEM debe implementar las disposiciones de diseño del equipo para garantizar que las temperaturas del sistema de escape no tengan efectos adversos en el sistema del equipo, los espectadores u objetos en las cercanías de los componentes y la salida del sistema de escape. (02965.02)
	Limpieza	7. El OEM debe realizar una evaluación de riesgos para determinar si los componentes del dispositivo de módulo único, como sensores y módulo de dosificación, están ubicados en espacios que minimizan su vulnerabilidad a desechos del entorno, mal manejo, altas temperaturas o contacto con el suelo bajo el vehículo y operación de la máquina. (26866.02)
	Aislamiento / blindaje térmico	8. Debido al riesgo de sobrecalentamiento del módulo de dosificación, no se debe agregar aislamiento térmico a las áreas aisladas o al área cercana al módulo de dosificación en el reactor de descomposición más allá de lo que CES haya suministrado como parte integral de la carcasa. (03358.01)
Montaje	Ubicaciones y soportes	9. El conjunto de postratamiento debe montarse de manera que todas las superficies externas del sistema de escape, incluidos los cables del sensor, estén a 25 mm (1 in) como mínimo de los componentes del chasis adyacentes, excepto en situaciones donde el espacio de instalación sea limitado y las tolerancias de ensamblaje lo permitan. de 12.5 mm (0.5 in) será aceptable cuando los componentes adyacentes estén fijados al mismo

		miembro del marco y no puedan moverse independientemente del dispositivo de tratamiento posterior. El acceso al servicio no debe restringirse cuando se aplica esta excepción. (22802.02)
		10. El Módulo de dosificación debe montarse de manera que todas sus superficies externas estén al menos a 25 mm (1.0 in) de los postratamiento adyacentes y de los componentes del chasis / bastidor. (03160.01)
		11. El Módulo de suministro debe montarse de manera tal que todas las superficies externas estén a por lo menos 25 mm (1”) de los sistemas adyacentes y de los componentes del chasis / bastidor. (03171.02)
	Momentos de flexión y cargas	12. Los momentos de masa y flexión en la entrada y salida del sistema de postratamiento no deben exceder los valores. (06118.03)
		13. El dispositivo de módulo único debe montarse en un miembro de bastidor de vehículo rígido que soporte su carga estática y dinámica. (03070.01)
	Abrazaderas, correas y conexiones	14. Las correas de montaje deben ubicarse en la sección del dispositivo de módulo único designado como "área de montaje disponible". (03089.01)
Plomería, tubos y tuberías	Propiedades físicas	15. El tubo entre el punto de conexión del motor y el dispositivo de módulo único debe diseñarse de manera que la pérdida de calor se minimice y la instalación que se prueba cumpla con los requisitos de caída de temperatura permisible para el motor que se está instalando. (03320.03)

		<p>16. El tubo entre el punto de conexión del motor y el dispositivo de módulo único debe ser capaz de cumplir con los requisitos de velocidad máxima de fuga especificados. Esto se puede hacer con el sistema montado en el vehículo o en el banco. La tasa de fuga puede determinarse utilizando el "Calculador de fuga de escape" proporcionado en CEB00639 o probado de acuerdo con el procedimiento en el Método de prueba n. ° 3 en CEB00593 (Métodos y procedimientos de prueba de postratamiento) para automoción y Método de prueba n. ° 4 en AEB 24.78 para aplicaciones industriales. (03342.02)</p>
	Materiales y componentes	<p>17. Los sistemas de escape montados sólidos deben incluir una sección flexible y estar soportados de manera que la expansión térmica no imponga fuerzas excesivas en el turbocompresor del motor y el colector de escape. (03244.02)</p>
		<p>18. El diseño del tubo descendente debe ser capaz de cumplir con los requisitos de vida útil del sistema de emisión. El material del tubo descendente debe estar hecho del material enumerado en la tabla adjunta y debe estar diseñado para no interferir con el funcionamiento del sistema de postratamiento. (02996.02)</p>
		<p>19. Para aplicaciones automotrices, el diseño del tubo de escape debe poder</p>

		<p>cumplir con la vida útil del sistema de emisión. Para las aplicaciones automotrices de la EPA, el material del tubo de escape debe estar hecho del material enumerado en la Tabla de materiales aceptables y debe estar diseñado para no interferir con la operación del sistema de postratamiento. (19845.04)</p>
	Dimensiones de tubos y tuberías	<p>20. En los modelos ISX (EPA 2013), X12 (EPA 2017) y X15 (EPA 2017), el volumen máximo en la bajante no debe ser mayor que 67.5L (4119 in³). En los modelos ISL (EPA 2013), ISB (EPA 2013), B6.7 (EPA 2017) y L9 (EPA 2017), el volumen máximo en el tubo descendente no debe ser mayor a 31.3L (2000 in³) (03379.04)</p>
		<p>21. La conexión de entrada del tubo descendente debe fabricarse de acuerdo con las especificaciones proporcionadas en el documento del esquema CES-S-MANF-2 (27204.00)</p>
Fluido de escape diésel (DEF)	Tanque	<p>22. El diseño del tanque debe tener un espacio de volumen de expansión mínimo del 10% para proporcionar capacidad para el proceso de congelación / descongelación. (06130.03)</p>
		<p>23. El volumen utilizable mínimo del tanque de fluido de escape diesel DEF debe ser igual o superior al volumen mínimo del tanque DEF, calculado con la fórmula adecuada, para la aplicación que se evalúa. (03745.00)</p>

		24. El circuito de suministro de refrigerante debe incorporar una válvula de control de flujo de refrigerante controlada desde el ECM. La válvula de control de flujo de refrigerante debe cumplir los requisitos de la tabla asociada en esta información de AIR (03688.02)
	Líneas / mangueras del fluido de escape diésel (DEF)	25. La línea de succión DEF, la línea de retorno y el material, el tamaño y la capacidad de la línea de presión deben cumplir con las especificaciones enumeradas en la información AIR asociada (06125.03)
	Propiedades del fluido / material	26. El diseño del calentador del tanque debe cumplir con los requisitos de la tabla asociada para admitir el descongelamiento y la dosificación de DEF en ambientes fríos. (03599.02)
	Componentes	27. El Módulo de suministro debe montarse en el bastidor del vehículo o en un soporte rígido adecuado entre +45° y -45° en ambas direcciones. La línea central del filtro es la referencia para el montaje. (03467.02)
	Diseño	28. Circuito del sistema de dosificación: el diseño del sistema del DEF debe cumplir con los requisitos dimensionales del componente según se indica. (03589.02)
Enfriamiento del	Diseño y disposiciones	29. Configuración del circuito de refrigerante: El diseño de la línea de refrigerante, diámetros internos, la longitud de línea y el número de curvas

postratamiento		deben cumplir los requisitos indicados en las figuras asociadas. (04018.00)
	Propiedades de las líneas / mangueras	30. Línea de refrigerante El material debe cumplir con SAE J20 R3 Clase D-2. Para una instalación donde las temperaturas de la línea de refrigerante exceden los límites del material clase D2, se requiere material de clase D3, material de clase A o protección térmica. (04033.00)
	Puertos y accesorios	31. El flujo de retorno del refrigerante debe volver a la entrada de la bomba de agua. Consulte la información del motor para conocer los detalles del puerto designado. (04045.01)
		32. La línea de suministro de refrigerante debe usar el puerto correcto del motor. Consulte el dibujo de instalación del motor para conocer los detalles del puerto designado. (04049.02)
	33. Las líneas de suministro y retorno de refrigerante deben conectarse al módulo de suministro utilizando conexiones adecuadas. (04039.03)	
Arnés de cableado	Montaje	34. Ninguna parte del arnés de cableado puede llegar a menos de 25 mm (1 in) de la superficie del conjunto (postratamiento). (03880.00)

Tabla 3. Recomendaciones de instalación del sistema de postratamiento. Cummins ISB 6.7 EPA 2017, FR: 94747.

Fuente: GCE, Cummins

CATEGORÍA	SUB-CATEGORÍA	RECOMENDACIONES DE INSTALACIÓN
General	Consideraciones del agua	1. El diseño del tubo de escape debe limitar la ingestión excesiva de agua al tubo de salida del sistema SCR en cualquier momento. (03007.01)
	Limpieza	2. El módulo de suministro y el módulo de dosificación deben instalarse de manera que estén ubicados en un espacio que minimice su vulnerabilidad a los desechos del camino. (02797.01)
Montaje	Ubicaciones y soportes	3. Se recomienda que el módulo de dosificación se monte de manera tal que el flujo libre de aire ambiente enfríe la unidad. (03138.01)
		4. Se recomienda que el módulo de dosificación esté ubicado de manera que tenga un espacio radial mínimo de 41 mm (1.6 in) para permitir el acceso para reemplazo sin quitar el conjunto del chasis. (03149.00)
		5. Se recomienda que el módulo de suministro se monte en una ubicación que permita el flujo libre de aire para enfriar la unidad. (03140.01)
Plomería, tubos y tuberías	Materiales y componentes	6. Se ha observado durante la prueba de campo CES que la corrosión galvánica en las uniones de tubos entre componentes de tubos diferentes aguas abajo del dispositivo SCR puede mezclarse con condensado, llevarse a la salida de la chimenea de escape y provocar la decoloración de

		la superficie exterior de la chimenea. Para reducir esta ocurrencia, CES recomienda usar pilas de escape sin salidas con faldón. Las pruebas de CES han demostrado que al usar una chimenea de corte en ángulo, la condensación manchada de corrosión puede expulsarse del sistema sin gotear por la superficie exterior de la chimenea. Además, recomendamos utilizar un tubo de acero inoxidable austenítico de un tipo / grado consistente en todo el sistema aguas abajo del dispositivo SCR. (03281.01)
Fluido de escape diésel (DEF)	Líneas / mangueras del fluido de escape diésel (DEF)	7. Se recomienda encarecidamente que las líneas de DEF se enruten y admitan de manera que no inhiban el flujo de DEF. (27022.00)
	Componentes	8. Las fuentes de calor excesivas, como las tuberías de escape adyacentes, deben alejarse del módulo de dosificación. (03413.00)
		9. Se recomienda montar el módulo de suministro de manera que el acceso al servicio se permita fácilmente para el cambio de filtro. Cuando la holgura de 130 mm (5 in) para el servicio del filtro no se puede acomodar, se debe mantener un espacio libre mínimo de 25,4 mm (1,00 in). (03458.01)
Sensores	Utilidad	10. La colocación del dispositivo de módulo único dentro del vehículo debe ser una consideración que respalde la separación adecuada para evitar

		<p>daños al sensor y el proceso de mantenimiento del DPF. Cummins Inc. recomienda un espacio de 102 mm (4 in) entre los sensores de postratamiento y el vehículo, ya que el ensamblaje del DPF se retira e instala para la limpieza del DPF. (03960.01)</p>
--	--	---

5.3 Desarrollo De La Estructura Del Sistema De Tratamiento De Emisiones.

Cummins Inc. ha desarrollado un motor integrado y un sistema de postratamiento de gases de escape para cumplir con los requisitos de las normas de emisiones EPA / ARB, Euro VI de 2017, así como con las normas de emisiones industriales Etapa V / T4F. La gama de productos X15, L9 y B6.7 utiliza un dispositivo de módulo único (Single Module Device) que alberga un filtro de partículas diésel (DPF) y un sistema de postratamiento de escape de reducción catalítica selectiva (SCR). El dispositivo de módulo único incluye los siguientes componentes: sensor de presión diferencial, cuatro sensores de temperatura, sensor de NO_x, sensor de PM (solo para el sector automotriz de la EPA) y sobrerriendas de alambres de cableado (solo para automóviles). La tabla de clasificación de la página principal de productos de Cummins GCE, proporciona detalles sobre los números de pieza de los dispositivos de un solo módulo aprobados que corresponden al modelo del motor y la clasificación de potencia que se está instalando.

5.3.1 Selección del convertidor catalítico

Primero que nada, para el diseño del sistema de postratamiento de emisiones, se debe seleccionar el corazón del sistema de postratamiento que va a ser implementado en el vehículo en estudio, en este caso, el convertidor catalítico. Cabe destacar que a dicho convertidor catalítico se le suele conseguir en la mayoría de los documentos del GCE de Cummins como dispositivo de módulo único (Single Module Device). La designación de cada dispositivo de módulo único se basa en (1) diámetro del catalizador, (2) longitud del DOC + DPF y (3) longitud SCR.

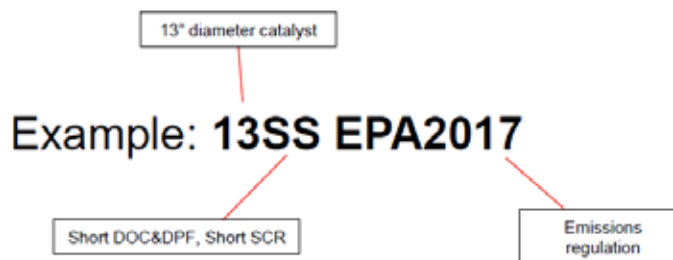


Figura 23. Designación para los dispositivos de módulo único de postratamiento Cummins.

Fuente: EPA 2017 Aftertreatment Systems. GCE Cummins.

De la figura 5-6 con relación a la designación de los dispositivos de módulo únicos, se define lo siguiente:

1. El número principal representa el diámetro del catalizador en pulgadas.
2. La primera letra (S/M/L) representa la longitud relativa del DOC y DPF.
3. La segunda letra (S/M/L) representa la longitud relativa del SCR y ASC.

La designación del tamaño del dispositivo de módulo único solo indica el tamaño relativo de los catalizadores. No es suficiente definir completamente el rendimiento de un sistema. Se requiere la regulación de las emisiones + especificar un sistema de módulo único específico; para ello, a continuación se muestran las diferentes versiones de los modelos de dispositivos de módulo únicos (Single Module Device) que son compatibles y corresponden al modelo del motor implementado en el vehículo ENT-710:


		Cummins Emissions Solutions Aftertreatment Data Sheet	
Market: On-Highway Engine model: B6.7 Configuration No: D313029BX03		PE Option (12V) 10SS:	PE9487
		PE Option (12V) 10MM:	PE9485
		PE Option (24V) 10SS:	PE9488
		PE Option (24V) 10MM:	PE9486
Market: On-Highway Engine model: L9 Configuration No: D563025BX03		PE Option (12V) 10MM:	PE9532
		PE Option (12V) 10LL:	PE9534
		PE Option (24V) 10MM:	PE9533
		PE Option (24V) 10LL:	PE9535
Market: On-Highway Engine model: X12 Configuration No: D0S3005BX03		PE Option (12V) 13SS:	PE2095
		PE Option (24V) 13SS:	PE2096
Market: On-Highway Engine model: X15 Configuration No: D103016BX03		PE Option (12V) 13SS:	PE1072
		PE Option (12V) 13MM:	PE1074
		PE Option (24V) 13SS:	PE1073
		PE Option (24V) 13MM:	PE1075
Certification level: EPA 2017		Date:	April 11, 2018
Fuel Ratings:	All	Revision no: 09	Fuel Ratings:
Data status:	Beta calculated	Datasheet Owner:	Data status:
<ul style="list-style-type: none"> • All data is based on configurations for the B6.7, L9, X12 and X15 engine • All data may change without notice 		Technical Product Leader (VPI)	Marc Greca

Figura 24. Tabla con los diferentes modelos de dispositivos de módulos únicos para las diferentes aplicaciones de los motores Cummins.

Fuente: CES Aftertreatment Datasheet. GCE Cummins.

De la figura 24, se pueden detallar los modelos de convertidores catalíticos o dispositivos de módulo únicos aplicables al diseño, donde se toma en cuenta el modelo o versión del motor (B6.7 200hp), aplicación (On-Highway), y la configuración del motor, que es estándar para cada modelo. Sin embargo, debido a las diferentes opciones que se pudiesen seleccionar para el diseño, se necesita una mayor certidumbre a la hora de la implementación de un modelo de dispositivo en específico, por lo que, en la figura 5-8, extraída del documento de los sistemas de postratamiento de Cummins 2017, se puede observar una información más detallada acerca del modelo más correcto de dispositivo de módulo único para seleccionar:

	B6.7	L9	ISX12	X15
10SS	200-260 hp 		13SS	400-500 hp
10MM	280-360 hp 	260-350 hp 	13MM	485-605 hp
10LL		370-450 hp 		
Modular		L9 Transit Bus 	Modular	All Ratings
Catalyst Diameter	267 mm (10.5 in)		330 mm (13 in)	

Figura 25. Desglose de los tamaños de convertidores catalíticos con certificación EPA 2017 para cada aplicación según modelo y potencia del motor.

Fuente: EPA 2017 Aftertreatment Systems. GCE Cummins.

Entonces, según las recomendaciones visibles en los documentos informativos de Cummins en relación al sistema de postratamiento, el modelo de dispositivo de módulo único más correcto para la aplicación es el **10SS (PE9487)**.

Otro aspecto importante, en conjunto con la selección del dispositivo de módulo único adecuado, es la selección de la configuración de la entrada y la salida del mismo, lo cual depende en gran parte de la posición de montaje y la disposición del espacio dentro del vehículo donde se implementará éste.

De las figuras 26 y 27, se observa el espacio existente en donde es posible la instalación del sistema de postratamiento y por ende el convertidor catalítico. Cercana a la posición de montaje, existen varios elementos cercanos al motor que pudiesen generar dificultades a la hora del montaje por la posible interferencia entre los diferentes elementos, por lo que es necesario el montaje del convertidor catalítico o dispositivo de módulo único a una distancia considerable de la salida de los gases de escape del motor, con la finalidad de evitar dichas interferencias con el conjunto del tren de potencia y componentes del chasis del vehículo. Por lo tanto, dada la distancia de montaje estimada, se estiman las configuraciones de entrada y salida necesarias, ya que la tubería de recolección de los gases de escape no bajaría directamente hacia el convertidor catalítico, sino que lo haría de forma progresiva y descendente.

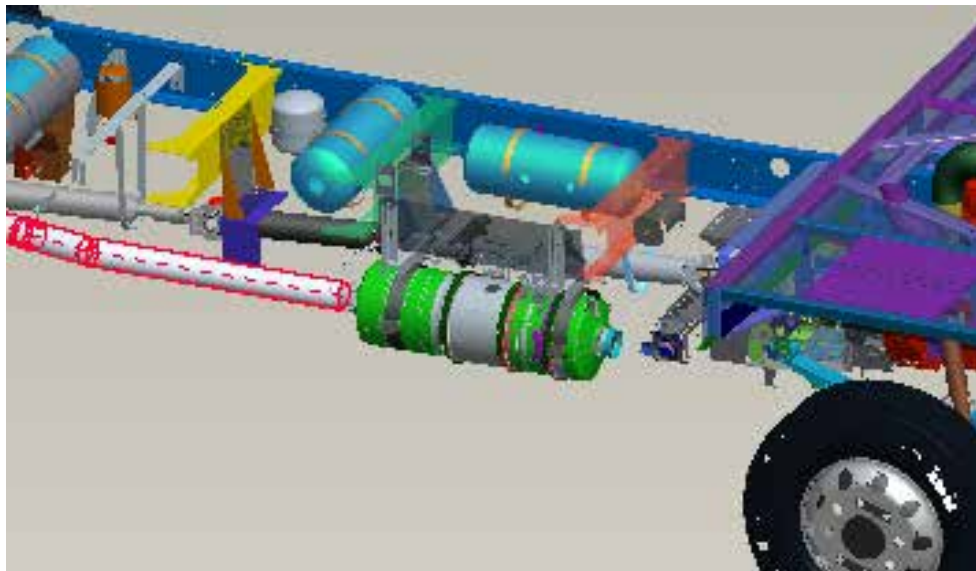


Figura 26. Vista isométrica de la zona y del espacio disponible para el montaje del dispositivo de módulo único.

Fuente: ENCAVA, C.A.

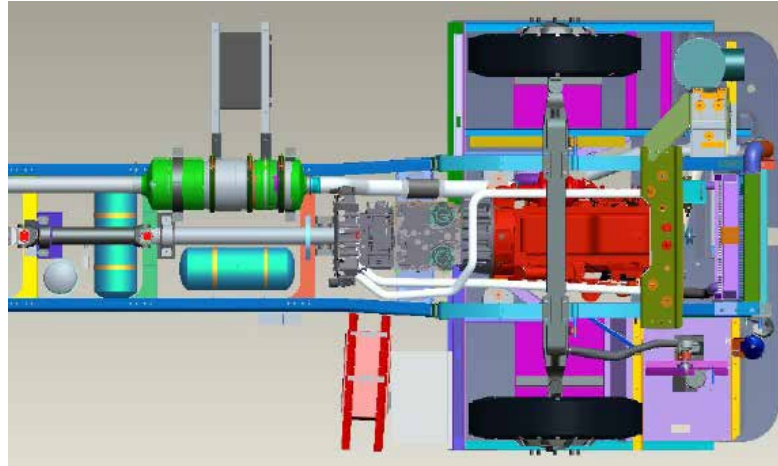


Figura 27. Vista inferior de la zona y del espacio disponible para el montaje del dispositivo de módulo único.

Fuente: ENCAVA, C.A.

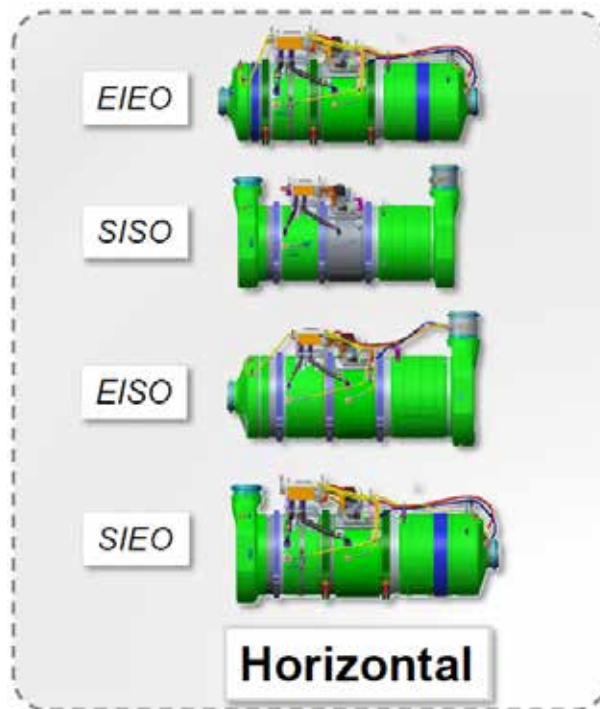


Figura 28. Configuraciones de las diferentes entradas y salidas existentes para un dispositivo de módulo único horizontal. 1) EIEO: End In – End Out. 2) SISO: Side In – Side Out. 3) EISO: End In – Side Out. 4) SIEO: Side In – End Out.

Fuente: EPA 2017 Aftertreatment Systems. GCE Cummins.

Finalmente, ya seleccionado el dispositivo de módulo único para la aplicación y su configuración de la entrada y salida, se detallan las características físicas que

posee este dispositivo para el diseño del sistema de postratamiento. De los anexos H, I, y J se puede observar toda la información proporcionada en relación al dispositivo de módulo único en mención.

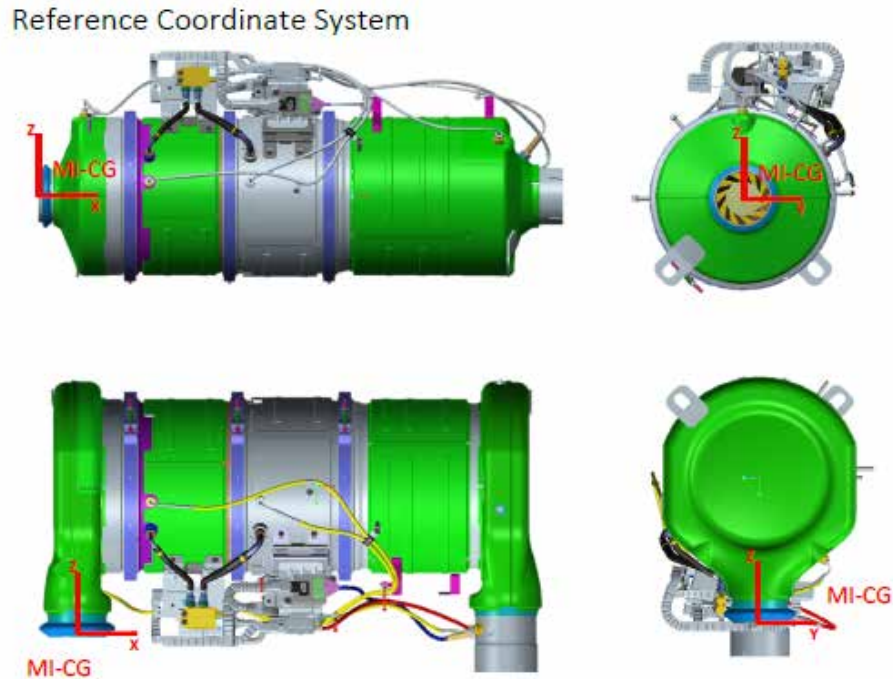
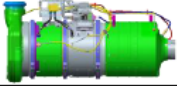
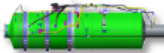
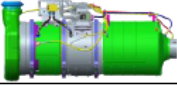
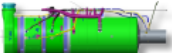
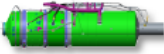
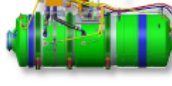

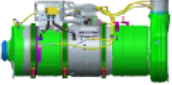

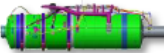


Figura 29. Sistema de referencia de coordenadas para el dimensionamiento y el montaje del dispositivo de módulo único seleccionado.

Fuente: CES Aftertreatment Datasheet. GCE Cummins.

Para más detalles respecto al dispositivo de modulo único o convertidor catalítico seleccionado para la aplicación, se pueden hacer referencia a la sección de los anexos presentes en este trabajo, los cuales abarcan las curvas de restricciones o pérdidas generadas en el sistema, tabla de restricciones en función del caudal de gases manejado, arquitectura detallada del sistema de postratamiento, la estructura externa e interna del convertidor catalítico, las posiciones de montaje recomendadas por el fabricante, en este caso, Cummins Emissions Solutions (CES) de Cummins, Inc.

B6.7, L9, X12, X15				CG (from Origin)			Principle MOI at Origin		
Config uration	Orientation	Image	Weight (± 5%) (lb)/(kg)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Ixx (kg*mm ²)	Iyy (kg*m ²)	Izz (kg*m ²)
13SS SIEO	Horizontal		201.10/ 91.22	403.20	3.40	305.10	2.24E+06	8.89E+06	9.14E+06
13SS EIEO	Vertical		215.0/ 97.52	625.36	10.32	5.77	2.39E+06	1.52E+07	1.54E+07
13MM SIEO	Horizontal		204.0/ 92.53	452.20	2.80	307.00	2.40E+06	1.09E+07	1.12E+07
13MM SIEO	Vertical		237.3/ 107.6	549.52	-305.38	4.79	2.96E+06	1.91E+07	1.94E+07
13MM EIEO	Vertical		223.0/ 101.2	685.29	9.96	5.25	2.56E+06	1.65E+07	1.67E+07
13MM EIEO	Horizontal		187.0/ 84.82	580.90	-3.10	9.30	2.06E+06	9.36E+06	9.52E+06
13MM SISO	Horizontal		219.0/ 99.34	478.20	2.60	301.80	2.76E+06	1.21E+07	1.25E+07
10SS EISO	Horizontal		136.0/ 61.70	516.7	-11.0	12.3	1.29E+06	5.37E+06	5.47E+06
10SS EIEO	Horizontal		129.0/ 58.51	485.20	-4.70	11.60	1.06E+06	4.51E+06	4.63E+06
10SS EIEO	Vertical		148.0/ 67.13	611.26	11.08	5.11	1.29E+06	9.10E+06	9.22E+06

*COG and MOI are calculated from the above coordinate system (origin)

Figura 30. Cuadro con las características físicas de los diferentes modelos de dispositivos de módulo únicos disponibles para cada aplicación. En rojo, el dispositivo seleccionado.

Fuente: CES Aftertreatment Datasheet. GCE Cummins.

De la figura 30, se pueden observar las dimensiones que posee el convertidor catalítico seleccionado, las cuales servirán de referencia para el diseño del sistema

5.3.2 Arquitectura y conformación del sistema de postratamiento

El sistema de dispositivo de módulo único es una parte integral de Cummins Inc. 2017 y 2018 EPA \ ARB, Euro VI e Industrial Stage V / T4F Emissions Engines. El sistema de control del motor supervisa el filtro de partículas para determinar su estado de funcionamiento y controla las condiciones térmicas para una regeneración óptima. Durante el funcionamiento normal, la materia particulada se recoge en el filtro y se oxida según lo permitan las temperaturas del escape. Ocasionalmente, el sistema de control del motor inyectará combustible adicional para ser utilizado por un DOC frente al filtro para aumentar la temperatura del escape a través del filtro. En raras ocasiones, cuando el filtro no alcanza una temperatura suficiente para regenerarse durante un período prolongado de operación, se necesita una regeneración no misionera para oxidar las partículas recolectadas en el filtro. Una interfaz de controlador proporciona una indicación de la necesidad de realizar la regeneración y el estado fuera de la misión de cualquier operación iniciada por el controlador. Si el filtro no se regenera y continúa acumulando partículas, el motor reducirá la velocidad como una indicación adicional para el conductor y para proteger el filtro del daño durante una regeneración posterior.

Durante una regeneración no-misión del filtro de partículas, la velocidad del motor aumentará para ayudar en el proceso de regeneración. Cualquier dispositivo auxiliar que dependa de la velocidad del motor para un funcionamiento adecuado debe desconectarse durante una regeneración o configuración fuera de la misión para activarse solo cuando el motor está en modo de funcionamiento de toma de fuerza (TDF). La ceniza acumulada necesita ser removida periódicamente del filtro. El intervalo mínimo de servicio para reemplazo o limpieza cumple o excede el mandato de la EPA \ ARB. Aunque se permite limpiar el DPF en una ubicación de reparación autorizada de Cummins Inc. usando una máquina de limpieza DPF de postratamiento aprobada por Cummins, el método preferido sería cambiar el DPF en el intervalo de mantenimiento recomendado.

La reducción catalítica selectiva es una técnica de control de NO_x para el escape del motor diésel. El proceso involucra la inyección de fluido de escape diésel (DEF) (un compuesto nitrogenado que se descompone fácilmente en amoníaco) en el escape sobre un catalizador. El amoníaco reacciona con NO_x y produce nitrógeno (N₂) y agua (H₂O) inocuos.

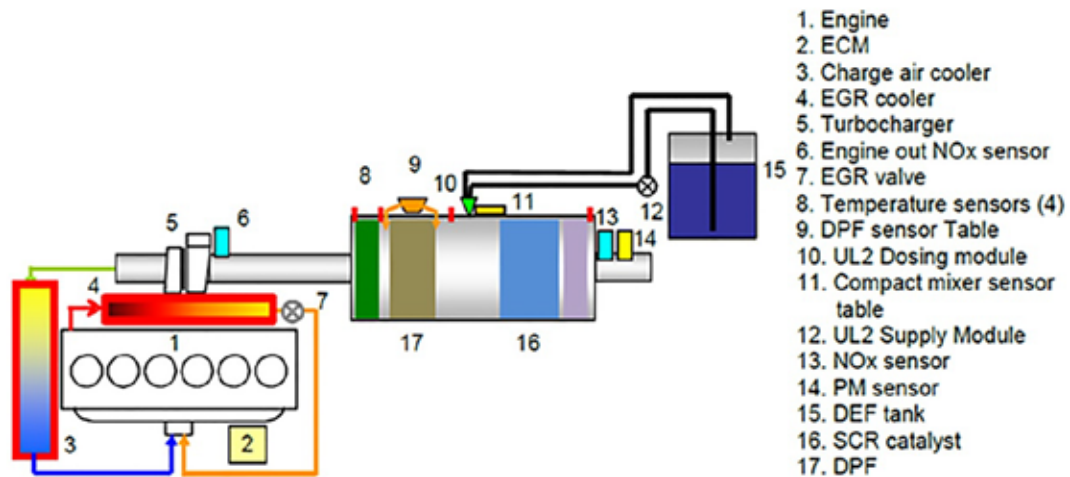


Figura 31. Arquitectura de sistemas de postratamiento de módulo único para aplicaciones automotrices y de buses de la EPA.

Fuente: AEB 21.167. GCE Cummins.



Figura 32. Dispositivo de módulo único Cummins modelo 10SS. Mejor conocido como convertidor catalítico, se trata del modelo que será implementado en el sistema de postratamiento en estudio.

Fuente: Cummins Emissions Solutions.

5.3.2.1 Sistema de dosificación

El sistema DEF es un sistema libre de aire que utiliza componentes que incluyen un tanque para almacenar el DEF, líneas, módulo de suministro y módulo de

dosificación. El DEF se almacena en un tanque montado en el chasis. El tanque suministra la solución a un módulo de suministro que también está montado en el chasis. El módulo de suministro está controlado electrónicamente por el ECM del motor. El módulo de suministro utiliza un sistema de medición y bombeo muy preciso para suministrar DEF al módulo de dosificación montado en el sistema de postratamiento. La cantidad de DEF inyectada en el escape es controlada por el ECM. El agua se evapora rápidamente y el DEF se descompone en amoníaco cuando está en contacto con los gases de escape calientes. El amoníaco reacciona con los NO_x sobre el catalizador y la emisión de escape resultante de este proceso es nitrógeno (N₂) y agua (H₂O) inofensivos.

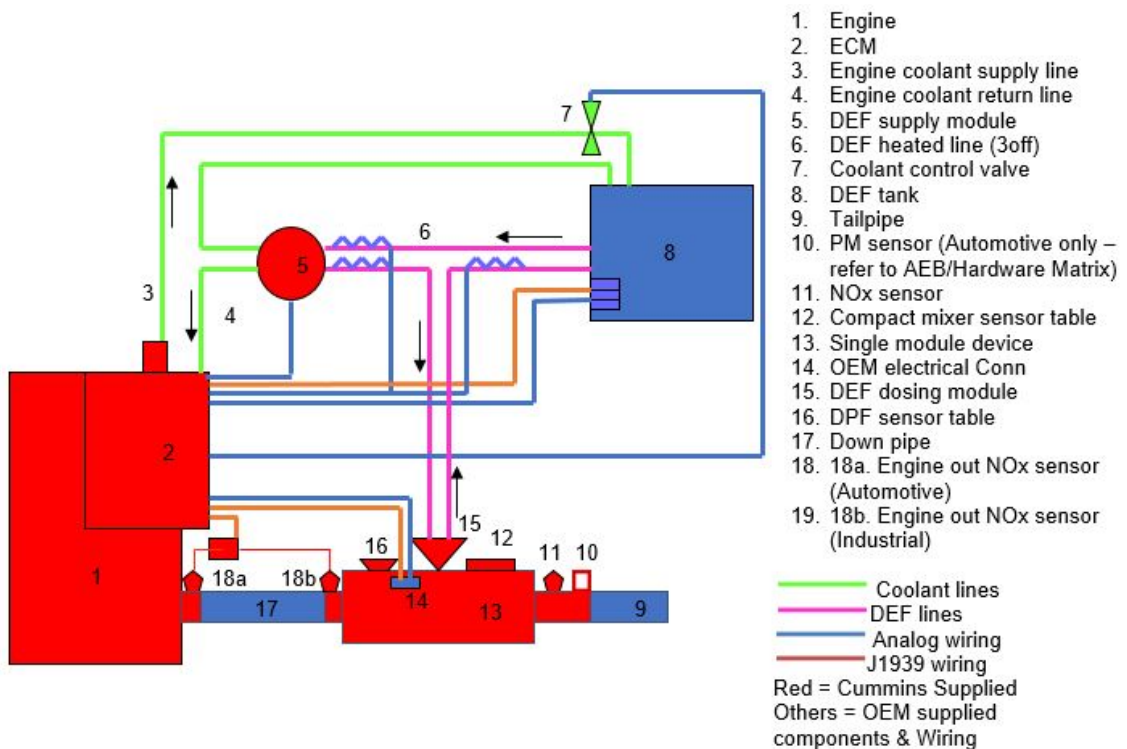


Figura 33. Arquitectura del sistema de dosificación para dispositivos de módulo único.

Fuente: AEB 21.167. GCE Cummins.

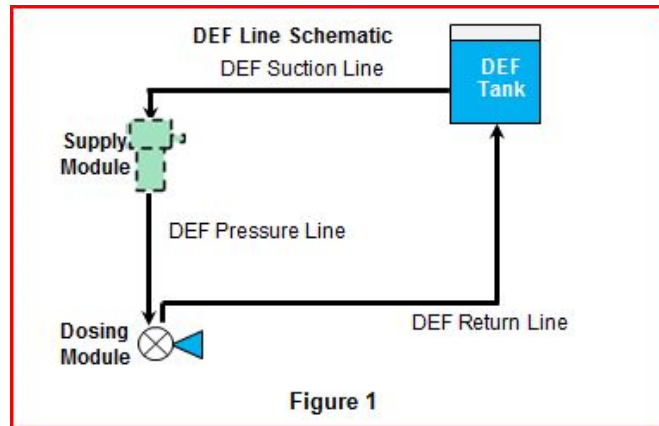


Figura 34. Esquema simple de las líneas de dosificación de urea del sistema de postratamiento para dispositivos de módulo único.

Fuente: AEB 21.167. GCE Cummins.

5.3.3 Requerimientos y recomendaciones de instalación

5.3.3.1 General

5.3.3.1.1 Consideraciones del agua

§ **(02989.03):** *Los dispositivos de módulo único vertical deben instalarse dentro del rango de +/- 10 grados con respecto al eje vertical. El orificio de drenaje no debe taparse o cubrirse con correas de montaje.*

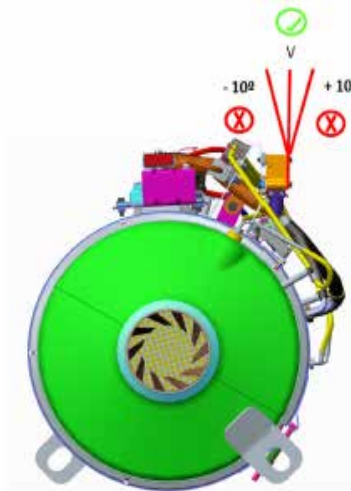


Figura 35. Tolerancias máximas de orientación permitidas para el dispositivo de módulo único con respecto al eje vertical.

Fuente: AEB 21.167. GCE Cummins.

En el montaje del dispositivo de módulo único en el chasis del vehículo, debe evitarse la entrada de agua o pueden producirse fallas posteriores al tratamiento. Por esta razón existen tolerancias de montaje en cuanto a las inclinaciones máximas permisibles del módulo para evitar el corrimiento y/o condensación del agua hacia los componentes eléctricos o electrónicos, y dentro del propio sistema. En cuanto a la inclinación vertical presente en el sistema, se tienen aproximadamente 2 grados con respecto al eje vertical, como puede verse en la figura 5-19, encontrándose dentro del rango establecido por este requerimiento.

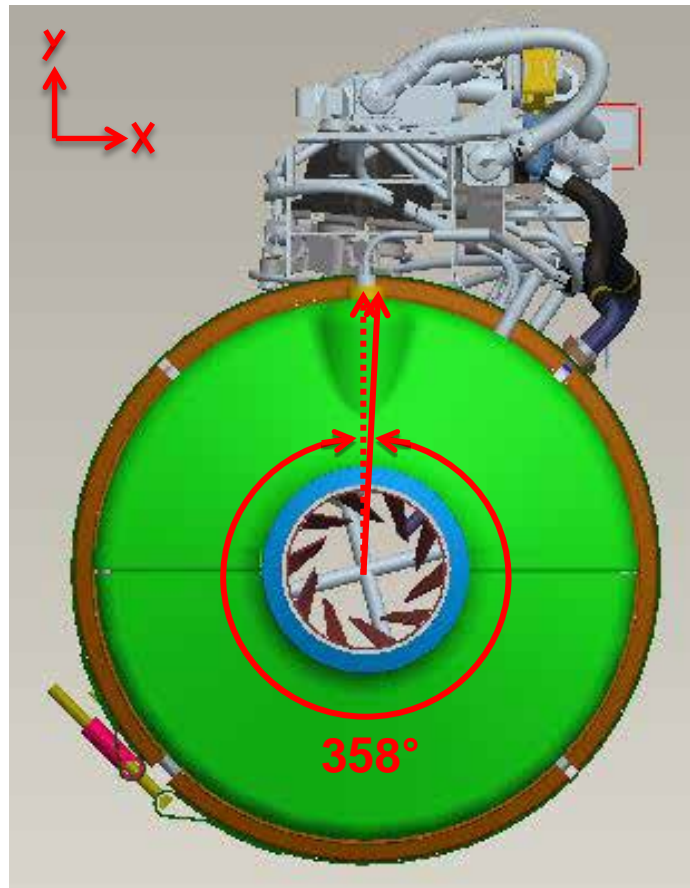


Figura 36. Inclinación del dispositivo de módulo único en posición de montaje, con respecto al eje vertical. Diseño realizado en Pro/ENGINEER.

Fuente: Esteves, A.



Figura 37. Inclinación del dispositivo de módulo único en posición de montaje, con respecto al eje vertical, donde se puede observar el montaje en físico.

Fuente: Esteves, A.

§ (02982.03): *El dispositivo de postratamiento horizontal debe instalarse dentro del rango de +/- 10 grados con respecto al eje horizontal para que el orificio de drenaje funcione correctamente. El orificio de drenaje no debe taparse o cubrirse con correas de montaje. (No se requiere para aplicaciones de autobuses escolares automotrices de la EPA).*

De igual forma, debe evitarse la acumulación de agua o condensación que pueden producir fallas en el postratamiento. En cuanto a la inclinación horizontal presente en el sistema, se tienen aproximadamente 3 grados con respecto al eje horizontal, como puede verse en la figura 5-21, estando dentro del rango establecido.

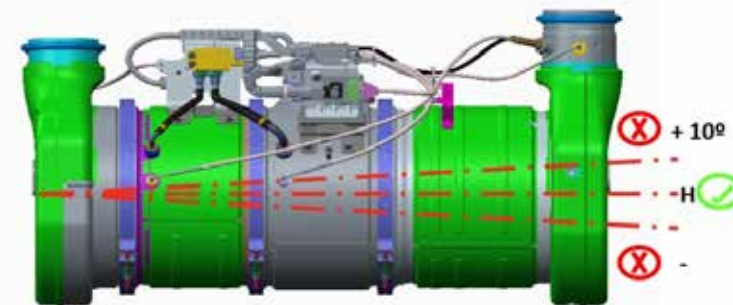


Figura 38. Tolerancias máximas de orientación permitidas para el dispositivo de módulo único con respecto al eje horizontal.

Fuente: AEB 21.167. GCE Cummins.

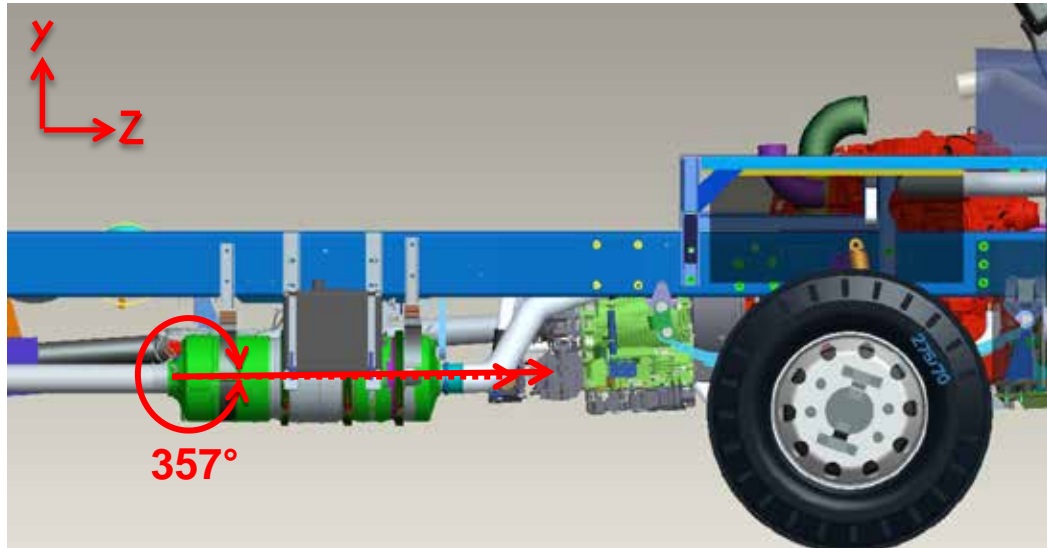


Figura 39. Inclínación del dispositivo de módulo único en posición de montaje, con respecto al eje horizontal. Diseño realizado en Pro/ENGINEER.

Fuente: Esteves, A.

5.3.3.1.2 Cumplimiento de emisiones

§ (02864.01): *El flujo del gas de escape debe pasar del motor al dispositivo de postratamiento. No se permite desviar el flujo de gases de escape antes del dispositivo de postratamiento.*

En el diseño del sistema de postratamiento a implementar en el vehículo ENT-710, es necesario implementar una tubería que recolecte los gases de escape a la salida del motor y que los lleve directamente a la entrada del convertidor catalítico. Por esta razón, se diseñó un bajante de escape que realice dicha función. Para el diseño de éste, es necesario tomar en cuenta ciertas consideraciones al respecto que se especifican en los próximos requerimientos de instalación, en cuanto al material de fabricación (02996.02), volumen y diámetro (03379.04), así como las caídas de temperatura (03320.03) y expansiones térmicas (03244.02). Con respecto a la geometría de éste, es meramente diseñado con relación a la posición de montaje, ubicación y disposición de los demás componentes del chasis del vehículo, como se puede detallar en las figuras 41, 42, 43 y 44.

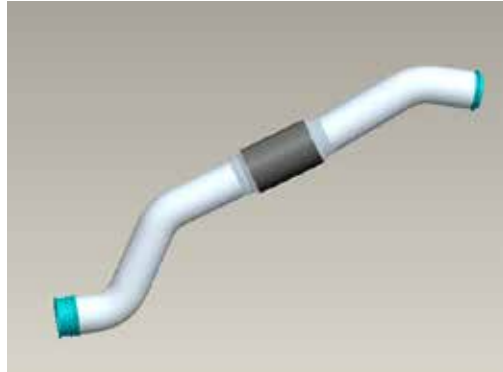


Figura 40. Sólido del bajante de escape realizado en Pro/ENGINEER.

Fuente: Esteves, A.

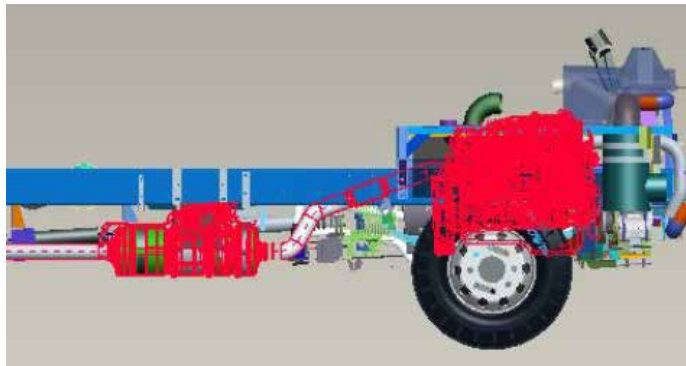


Figura 41. Diseño en Pro/ENGINEER del chasis del ENT-710 resaltando en rojo el motor, bajante de escape y convertidor catalítico.

Fuente: Esteves, A.



Figura 42. Vista lateral derecha del chasis del ENT-710 diseñado en Pro/ENGINEER, con enfoque al motor y sistema de postratamiento.

Fuente: Esteves, A.

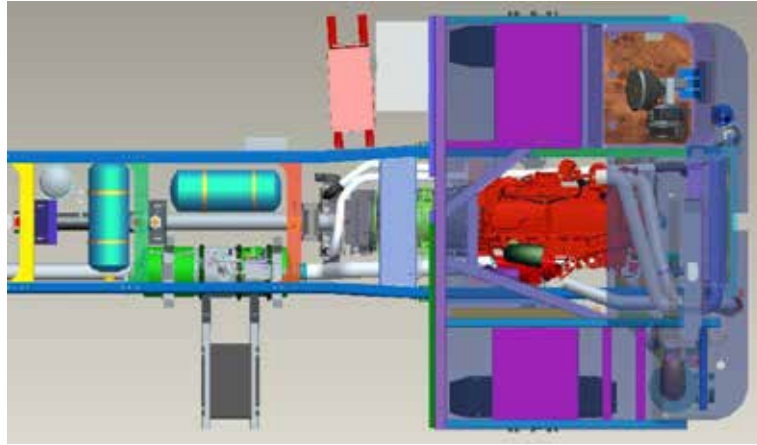


Figura 43. Vista superior del chasis del ENT-710 diseñado en Pro/ENGINEER, con enfoque al motor y sistema de postratamiento.

Fuente: Esteves, A.

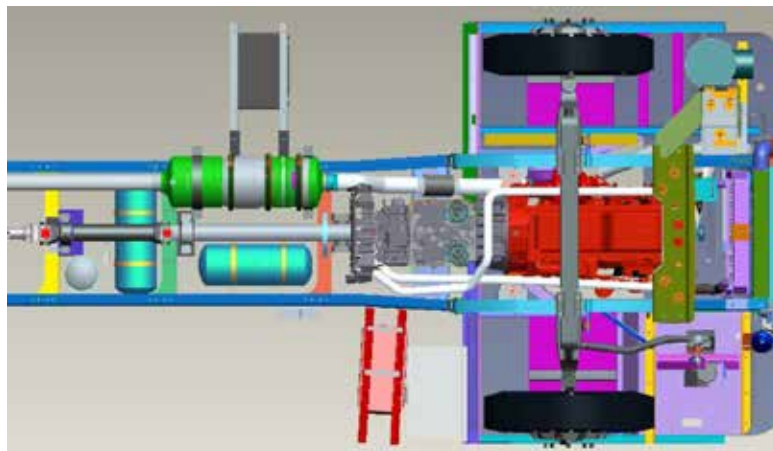


Figura 44. Vista inferior del chasis del ENT-710 diseñado en Pro/ENGINEER, con enfoque al motor y sistema de postratamiento.

Fuente: Esteves, A.

Con la intención de reducir las pérdidas dentro del bajante de escape y prevenir la corrosión por erosión, se aumentaron en lo posible los ángulos de los codos según lo permitieron los otros componentes adyacentes del vehículo, como se demuestra en las figuras 41, 42, 43 y 44, dando como resultado la geometría plasmada en la figura 40. Para más detalles, buscar en los anexos el plano de diseño del bajante de escape.

§ **(02875.02):** *Cummins, Inc. Debe aprobar todas las modificaciones posteriores a la fábrica, como la reubicación o el cambio de los componentes del sistema.*

En lo que respecta al sistema de postratamiento, no se necesitan realizar modificaciones a los componentes originales del sistema de postratamiento, por lo que no es necesaria alguna autorización adicional.

§ **(02838.02):** *Cummins, Inc. Debe aprobar las configuraciones de postratamiento utilizadas para cada instalación.*

Como se plantean en los boletines de ingeniería, específicamente en el AEB 21.167, se detalla que para una aplicación EPA 2017/2018 para buses, la arquitectura a diseñar y/o implementar es la especificada en la figura 5-19, quedando ya aprobada la instalación por parte de los ingenieros de aplicación de Cummins que colaboran y participan en el proyecto.

5.3.3.1.3 Consideraciones de temperatura

§ **(02965.02):** *El OEM debe implementar las disposiciones de diseño del equipo para garantizar que las temperaturas del sistema de escape no tengan efectos adversos en el sistema del equipo, los espectadores u objetos en las cercanías de los componentes y la salida del sistema de escape.*

Durante la operación típica, el DPF oxida la materia particulada recolectada utilizando solo la energía y el oxígeno disponible en el escape del motor. Cuando se requiere una regeneración activa, el sistema elevará artificialmente las temperaturas de escape para crear las condiciones necesarias para oxidar la materia particulada. Estas temperaturas son más altas que las que normalmente se encuentran para el ciclo de trabajo equivalente. Se requieren disposiciones de diseño del vehículo para garantizar que las temperaturas más altas no tengan efectos adversos en el sistema del vehículo, los transeúntes u objetos en las proximidades de los componentes y la salida del sistema de escape. En la figura 5-28 se muestran las temperaturas máximas de la superficie y de los gases de escape de un dispositivo de módulo individual durante las condiciones normales de regeneración activa. Estas temperaturas pueden ocurrir por períodos prolongados de tiempo de hasta 40 minutos.

Si no se permite que el sistema DPF se regenere adecuadamente bajo condiciones controladas o si ciertos componentes del motor funcionan mal, la

temperatura de la superficie y del gas de escape puede exceder las temperaturas máximas típicas que se muestran en la figura. Las temperaturas máximas de la superficie y de los gases de escape del dispositivo de módulo único bajo tales condiciones se muestran en la Figura 5-29 de temperaturas máximas de la superficie durante el mal funcionamiento. El Sistema de protección de tratamiento posterior (APS), mejora el rendimiento y minimiza el riesgo de daños en el dispositivo de módulo individual.

El OEM debe evitar ubicar materiales combustibles o sensibles al calor en las proximidades del dispositivo de módulo único. Un aislamiento térmico excesivo sobre el catalizador o las secciones del filtro puede degradar la integridad del soporte de montaje interno del dispositivo. Por esta razón, el aislamiento térmico no se debe agregar a las secciones de catalizador o filtro del dispositivo de módulo único más allá de lo que Cummins Emissions Solutions (CES) haya suministrado como parte integral de la carcasa.

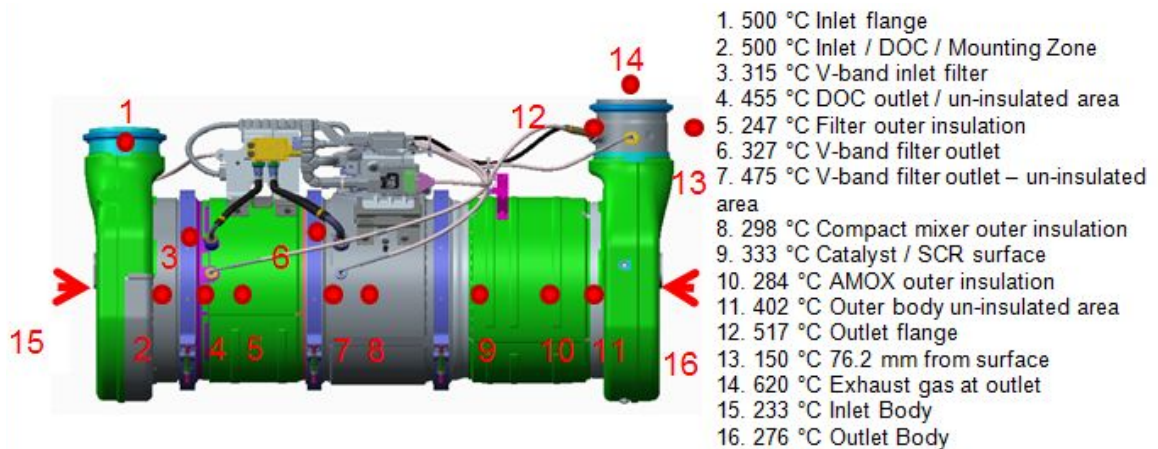


Figura 45. Temperaturas máximas de la superficie del convertidor catalítico durante la regeneración activa (pleno funcionamiento).

Fuente: AEB 21.167. GCE Cummins.

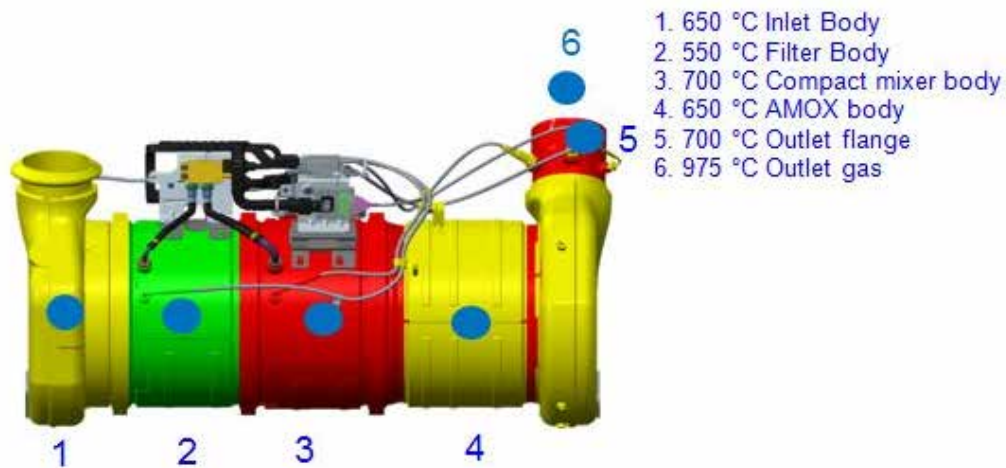


Figura 46. Temperaturas máximas superficiales que se pueden registrar durante el mal funcionamiento del dispositivo de módulo único.

Fuente: AEB 21.167. GCE Cummins.

Debido a las altas temperaturas que puede llegar a alcanzar el convertidor catalítico durante su período de funcionamiento, éste se posicionó a una distancia considerable de los componentes más cercanos, como la transmisión y sus líneas de tránsito del refrigerante, los soportes estructurales de chasis, arneses de cableado, entre otros (véase figura 5-30 y 5-31). Adicionalmente, se agregó al diseño un deflector para evitar en lo más posible la transferencia de calor hacia los componentes del sistema de dosificación, como puede verse en la figura 5-34.

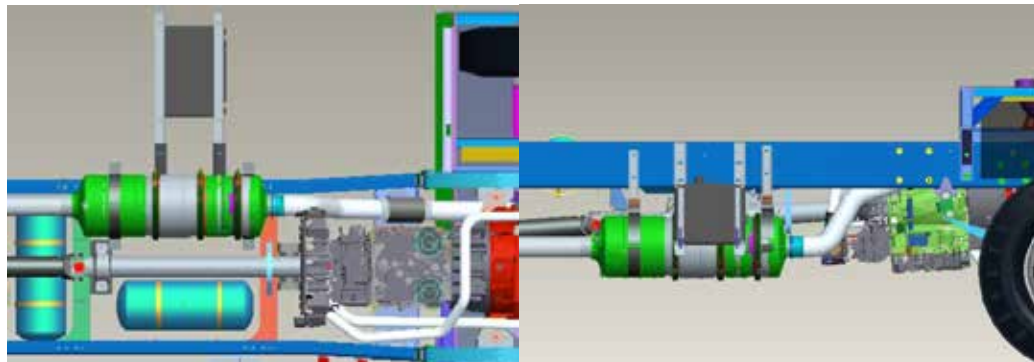


Figura 47. Detalle de componentes del chasis cercanos al convertidor catalítico.

Fuente: Esteves, A

Inicialmente, la tubería de entrada de refrigerante se había definido como se puede observar en la figura 5-32. Como el refrigerante tiene que ingresar con la

temperatura más baja posible al enfriador de la transmisión, la tubería se reubicó como se puede observar en la figura 5-33, quedando orientada hacia el otro lado del chasis del vehículo, alejada lo más posible de zonas calientes como la del sistema de postratamiento. También en la figura 5-32 se pueden notar los arneses de cableado ubicados dentro de los elementos principales de la estructura del chasis.



Figura 48. Reubicación de la ruta de la tubería de tránsito de refrigerante de la transmisión a fin de disminuir la transferencia de calor a ésta por las altas temperaturas que se pueden desarrollar en el convertidor catalítico.

Fuente: Esteves, A.

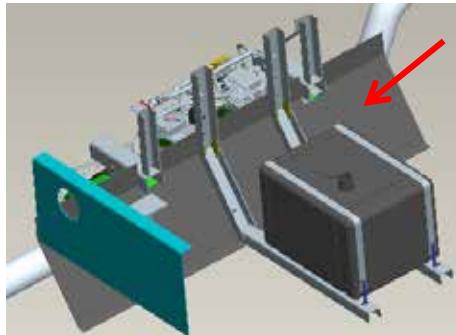


Figura 49. Figura en donde se puede observar el deflector diseñado para disminuir la transferencia de calor al sistema de dosificación causada por las altas temperaturas que puede llegar a alcanzar el convertidor catalítico.

Fuente: Esteves, A.

5.3.3.1.4 Limpieza

§ (26866.02): *El OEM debe realizar una evaluación de riesgos para determinar si los componentes del dispositivo de módulo individual, como los sensores y el módulo de dosificación, están ubicados en espacios que minimizarán su vulnerabilidad a desechos del entorno operativo, mal manejo, altas temperaturas o contacto con el suelo bajo el vehículo esperado y operación de la máquina.*

En el diseño del sistema de postratamiento dentro de la estructura del chasis del vehículo ENT-710, se tomaron en cuenta una serie de consideraciones para garantizar el buen y correcto funcionamiento del sistema durante la vida útil del equipo. En la figura 5-36, se muestra un diagrama de causa-efecto donde se realizaron las evaluaciones de riesgo del sistema, para tomar las precauciones respectivas.

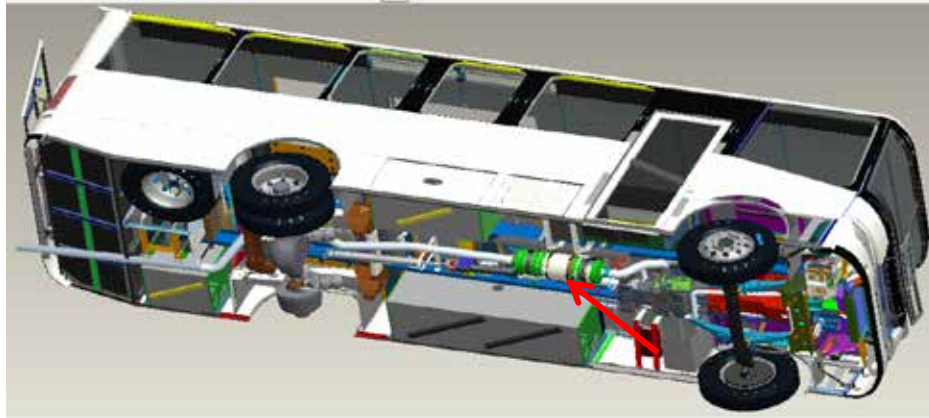


Figura 50. Posición del convertidor catalítico y componentes del sistema de postratamiento en el conjunto del chasis y carrocería.

Fuente: Esteves, A.

Tabla 4. Causas posibles de vulnerabilidad de los equipos del postratamiento.

Fuente: Propia.

Riesgos principales que podrían causar la vulnerabilidad del sistema	
Refrigeración y circulación del aire	Colisiones con el suelo
Vibraciones y colisiones durante el movimiento	Desechos, polvo y suciedad del entorno
Altas temperaturas	Agua en las vías
Humedad y condensación	-----

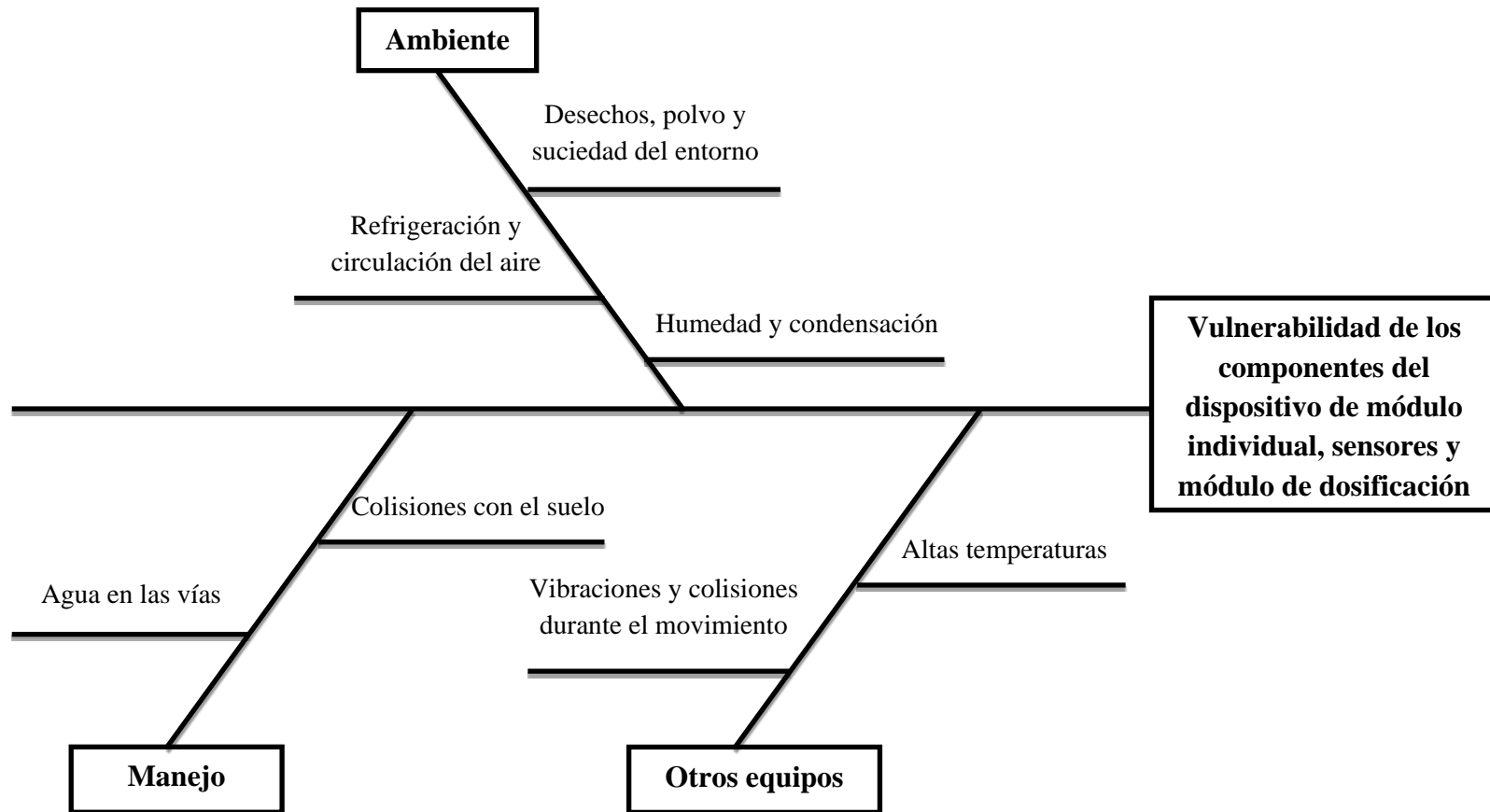


Figura 51. Diagrama de causa-efecto sobre los riesgos que pudiesen afectar a los componentes del sistema de postratamiento.

Fuente: Esteves, A.

Del diagrama de causa-efecto (figura 51) sobre los riesgos de los componentes del sistema de postratamiento, se definieron 3 causas principales de donde se derivan cada una de las sub-causas que se consideraron para la toma de decisiones respecto a la ubicación exacta de cada uno de los componentes que integran el sistema en estudio. Para evitar riesgos con respecto a las causas del manejo, se colocó el convertidor catalítico a una altura aproximada de 350 mm como se puede ver en la figura 5-37, disminuyendo las posibilidades de colisionar con las vías y muros durante el movimiento, así como en pozos de agua u otros.

En relación a los riesgos con otros equipos, se ubicó a una distancia mínima de 1 pulgada cada componente del vehículo con respecto al sistema del postratamiento a fin de evitar tanto daños por temperatura como la transmisión de vibraciones entre componentes que pudiesen afectar el buen funcionamiento de éstos, entiéndase sensores, y así como también las posibles colisiones o choques entre componentes durante el movimiento del vehículo. Por último, en lo que respecta al ambiente y a la refrigeración del sistema, se ubicó el sistema lo más cercano al eje central del vehículo como se puede observar en la figura 5-35, con el fin de evitar las olas de agua que se generan cuando el vehículo circula por una vía inundada, y/o desechos y polvo que pudiese adherirse a los componentes.



Figura 52. Altura de montaje del convertidor catalítico con respecto al suelo.

Fuente: Esteves, A.

5.3.3.1.5 Aislamiento / blindaje térmico

§ **(03358.01):** *Debido al riesgo de sobrecalentamiento del módulo de dosificación, no se debe agregar aislamiento térmico a las áreas aisladas o al área cercana al módulo de dosificación en el reactor de descomposición más allá de lo que el CES haya suministrado como parte integral de la carcasa.*

Debido al desarrollo de altas temperaturas en los diversos componentes del sistema de dosificación, se especifica que no se debe utilizar ningún material adicional para el aislamiento térmico, salvo algún elemento que el equipo traiga de fábrica. Así pues, también se aplica este requerimiento para los componentes del sistema general para evitar el sobrecalentamiento y mal funcionamiento del mismo.

5.3.3.2 Montaje

5.3.3.2.1 Ubicaciones y soportes

§ **(22802.02):** *El conjunto de postratamiento debe montarse de manera que todas las superficies externas del sistema de escape, incluidos los cables del sensor, estén a 25 mm (1 in) como mínimo de los componentes del chasis adyacentes, excepto en situaciones donde el espacio de instalación sea limitado y las tolerancias de ensamblaje lo permitan. de 12.5 mm (0.5 in) será aceptable cuando los componentes adyacentes estén fijados al mismo miembro del marco y no puedan moverse independientemente del dispositivo de tratamiento posterior. El acceso al servicio no debe restringirse cuando se aplica esta excepción.*



Figura 53. Ejemplo del ruteo de los arneses de cableado a través del conjunto del chasis, protegiéndose de las altas temperaturas del sistema de postratamiento.

Fuente: Esteves, A.

§ **(03160.01):** *El Módulo de dosificación debe montarse de manera que todas sus superficies externas estén al menos a 25 mm (1.0 in) de los postratamiento adyacentes y de los componentes del chasis / bastidor.*

Las altas temperaturas superficiales ocurren durante el funcionamiento normal y las temperaturas de escape elevadas artificialmente durante el acondicionamiento del sistema SCR (sistema donde interviene el módulo de dosificación).



Figura 54. Posicionamiento del módulo de dosificación en el sistema de postratamiento con respecto a los otros componentes circundantes.

Fuente: Esteves, A.

§ **(03171.02):** *El Módulo de suministro debe montarse de manera tal que todas las superficies externas estén a por lo menos 25 mm (1.0 in) de los componentes del postratamiento adyacentes y de los componentes del chasis / bastidor.*

El montaje y el espacio adecuados reducen el riesgo de problemas de durabilidad y confiabilidad y fomentan el flujo de aire al componente.

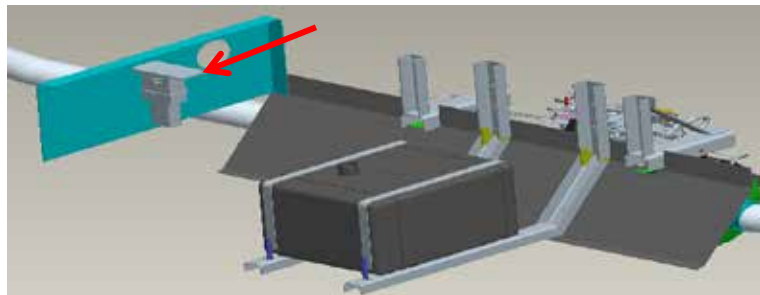


Figura 55. Posicionamiento del módulo de suministro en el chasis del vehículo con respecto a los otros componentes del sistema.

Fuente: Esteves, A.

§ (06118.03): Los momentos de masa y flexión en la entrada y salida del sistema de postratamiento no deben exceder los valores.

El sistema de postratamiento no está diseñado para ser un miembro estructural de soporte de carga del chasis del vehículo. Por eso, es necesario determinar los momentos flectores existentes en el sistema y comprobar que éstos no sobrepasen los límites especificados en los boletines de ingeniería de Cummins. Los límites permitidos de masa y momento de flexión sin soporte adicional del tubo de escape están contenidos en la figura 5-42. Los valores se ejercen en el tubo de entrada y salida del dispositivo de módulo único con una aceleración de 1G.

Tube Diameter		All Inlets, Horizontal Outlets, and Vertical < 51 in (1295 mm) Outlets	Vertical > 51 in (1295 mm) Outlets
MR 101.6 mm (4 in)	Maximum Bending Moment	7 Nm (5.2 ft-lb)	44 Nm (32.5 ft-lb)
	Maximum Mass	2.1 kg (4.6 lb)	5.9 kg (13 lb)
HD 127.0 mm (5 in)	Maximum Bending Moment	10 Nm (7.4 ft-lb)	65 Nm (48 ft-lb)
	Maximum Mass	2.7 kg (6 lb)	7.9 kg (17.4 lb)
*Additional Tailpipe Support Required for Outlet Marmon Style Joints			

Figura 56. Tabla con los límites máximos de momentos de flexión y masa para aplicaciones automotrices de Cummins.

Fuente: AEB 21.167. GCE Cummins.

Para una integridad adecuada de juntas, tubo de escape y el ensamble del OEM deben cumplir con las recomendaciones de conexión de salida para los diámetros de los tubos y las longitudes de superposición del tubo que se muestran en la figura 5-43.

Engine Model	Aftertreatment Configuration	Outside Diameter of OEM's Exhaust Tube	Overlap Length
B6.7 and L9 (automotive)	Horizontal	100.96 ± 0.5 mm	55 + 0 / - 5 mm
	Vertical	100.96 ± 0.5 mm	140 + 0 / - 5 mm
B6.7 and L9 (Industrial)	10LM, 10LL Horizontal	100.96 ± 0.5 mm	55 + 0 / - 5 mm
	10LM, 10LL Vertical	100.96 ± 0.5 mm	140 + 0 / - 5 mm
	13SS, 13SM Horizontal	126.24 ± 0.64 mm	55 + 0 / - 5 mm
	13SS, 13SM Vertical	126.24 ± 0.64 mm	140 + 0 / - 5 mm
X12 and X15 (automotive)	Horizontal	126.24 ± 0.64 mm	55 + 0 / - 5 mm
	Vertical	126.24 ± 0.64 mm	140 + 0 / - 5 mm

Figura 57. Tabla con las dimensiones de instalación del tubo de escape del vehículo.

Fuente: AEB 21.167. GCE Cummins.

Engine Displacement	Pipe Size (OD)
Under 6.0 L	76 mm (3.0 in)
6.0L -10.0L	102 mm (4.0 in)
10.0L- 14L	127 mm (5.0 in)
Above 14L	127 mm (5.0 in) or 152 mm (6.0 in)
30 L only	127 mm (5.0 in)

Figura 58. Tamaños de tubería de escape típicos para diferentes tamaños de motores.

Fuente: AEB 21.32. GCE Cummins.

Se calculará el momento flector causado por una carga 1G aplicada perpendicularmente al eje de la junta, así como una carga 1G aplicada en paralelo / a lo largo del eje de la junta. El máximo de los dos momentos de flexión calculados debe considerarse para verificar con los límites especificados. La calculadora del momento de flexión en el Anexo A de AEB 24.78 calcula el momento de flexión en las juntas de entrada / salida del sistema de postratamiento cuando se aplica una carga de 1G en el tubo conectado. Para facilidad de cálculo, se aproxima la geometría del bajante de escape a secciones horizontales y verticales con el fin de obtener las distancias perpendiculares entre las dos juntas de uniones de la tubería con las fuerzas asumidas para la determinación de los momentos flectores que deberían poder soportar los componentes de unión del sistema de postratamiento.

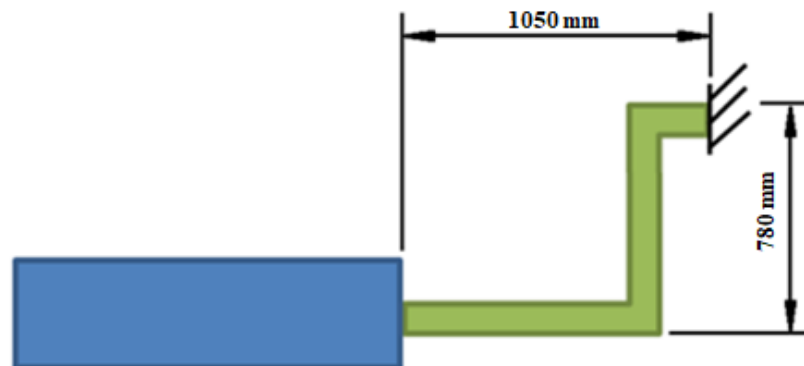


Figura 59. Distancias de las uniones con la forma del bajante de escape corregida.

Fuente: Esteves, A.

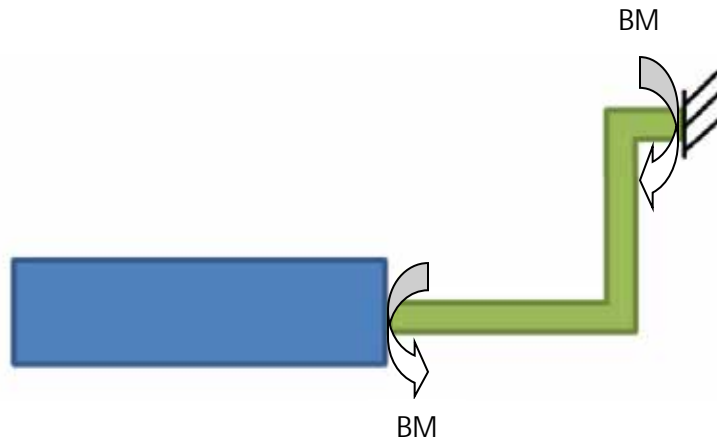


Figura 60. Momentos flectores generados en las juntas o uniones de la tubería bajante del sistema de postratamiento, al ser aplicada una carga de 1G tanto horizontal como verticalmente.

Fuente: Esteves, A.

Para la aplicación en estudio, según se puede referenciar en el documento CEB00593 de procedimiento y pruebas del sistema de postratamiento, se clasifica la aplicación como caso 1 de las posibles posiciones de montaje de la tubería bajante y la tubería de escape para el cálculo de los momentos flectores. La sección de tubería que cae en esta categoría de viga es por si ambos extremos del tubo son fijos o tienen soportes rígidos. En presencia de codos, la longitud de la sección de tubería considerada para el cálculo de los momentos flectores puede variar dependiendo de la dirección asumida de la carga de 1G. Es la suma de las longitudes de las secciones de tubos perpendiculares a la dirección de la carga aplicada, como ya se dijo antes, por lo que se asumió las distancias rectas en la sección de la tubería del bajante de escape.

Los datos necesarios para la determinación de los momentos flectores en el sistema de postratamiento son la masa de la o las tuberías, la masa de las abrazaderas y/o conexiones, distancias horizontales y verticales entre las uniones y la fuerza a aplicar, que ya se definió anteriormente como 1G o la fuerza que ejerce un cuerpo con una cierta masa cuando se le aplica una aceleración igual a la de la gravedad terrestre, en cualquier dirección y/o sentido.

Para determinar la masa del tubo bajante, se definen las características físicas y dimensionales de éste. Con una longitud aproximada de 1400 mm, un diámetro

interno de 4 pulgadas, un espesor de 2 mm, y fabricado de acero inoxidable (más adelante, en la sección de selección del material del bajante se dan más detalles), se estima el volumen del tubo y con la densidad se determina la masa. Del anexo L se puede detallar la ecuación para determinar el volumen de un tubo o cilindro hueco y del anexo M se puede detallar las propiedades físicas de los aceros inoxidables. Para mayor referencia sobre la masa de tuberías de acero inoxidable consultar anexo Ñ.

Del anexo M, la densidad para todos los aceros inoxidables es de aproximadamente $7,8 \text{ Mg/m}^3$, o lo que es lo mismo 7800 Kg/m^3 , entonces:

Ahora, para la determinación de los momentos flectores, se emplea la ecuación extraída del CEB00593, página 30 de la sección cálculo de momentos flectores en las juntas de las tuberías de escape del sistema de postratamiento.

Dónde:

- § W: carga uniformemente distribuida en la viga o sección (N/m).
- § L: longitud de la sección de tubo sin soportar (m).
- § M: masa total del tubo (Kg).
- § G: aceleración debido a la gravedad o aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$).

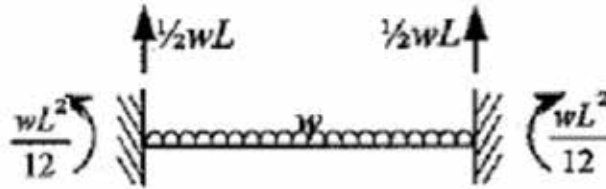
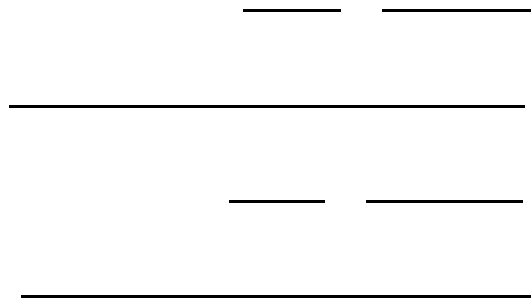


Figura 61. Análisis de reacciones en una viga doblemente empotrada con una carga uniformemente distribuida.

Fuente: CEB00593. GCE Cummins.

Para la masa total del tubo es necesario no sólo considerar la masa del tubo bajante, sino también la masa de las abrazaderas o conexiones empleadas en el sistema. Cummins asume en el CEB00593 una masa de 0,7 Kg para las abrazaderas tipo T-Bolt, las cuales son las recomendadas para ser aplicadas en las tuberías del sistema de postratamiento. Entonces:

Ya con todos los datos definidos, se determina el momento flector originado en las juntas de la tubería del sistema de postratamiento y posterior comparación con los momentos máximos permitidos y especificados en la figura 5-42.



Entonces, con los resultados obtenidos de los momentos flectores en las juntas de la tubería del bajante de escape, se pueden comparar los valores con los valores de los momentos máximos permitidos para las características del sistema aplicado. Por lo tanto, el valor máximo siendo de 6,702 N/m no sobrepasa el límite establecido de 7 N/m para las juntas de 4 pulgadas de diámetro, según se puede ver en la figura 5-42.

§ (03070.01): *El dispositivo de módulo único debe montarse en un miembro de bastidor de vehículo rígido que soporte su carga estática y dinámica.*

El sistema de montaje debe proporcionar un soporte adecuado para evitar que se transmitan esfuerzos al dispositivo.



Figura 62. Sistema de montaje del dispositivo de módulo único.

Fuente: Esteves, A.

5.3.3.2.2 Abrazaderas, correas y conexiones

§ (03089.01): *Las correas de montaje deben ubicarse en la sección del dispositivo de módulo único designado como "área de montaje disponible".*

Algunas áreas no pueden soportar las correas y deben evitarse y las áreas identificadas son donde se pueden aplicar las cargas. En las figura 63 y en el anexo J se pueden detallar las posiciones de montaje. En la figura 5-50 se puede observar el posicionamiento final del dispositivo de modulo único en el bastidor del vehículo.



Figura 63. Sistema de montaje del dispositivo de módulo único.

Fuente: AEB 21.167. GCE Cummins.

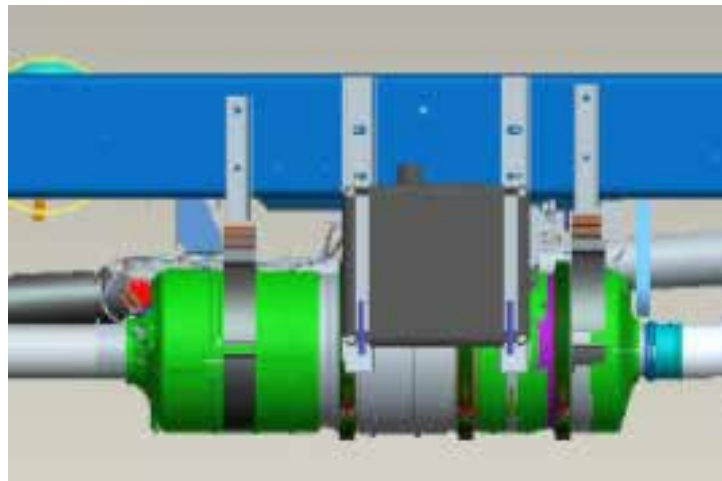


Figura 64. Montaje del dispositivo de módulo único en el bastidor del vehículo en las posiciones recomendadas y definidas en las figura 60 y en el anexo J.

Fuente: Esteves, A.

5.3.3.3 Plomería, tubos y tuberías

5.3.3.3.1 Propiedades físicas

§ **(03320.03):** *El tubo entre el punto de conexión del motor y el dispositivo de módulo único debe diseñarse de manera que la pérdida de calor se minimice y la instalación que se prueba cumpla con los requisitos de caída de temperatura permisible para el motor que se está instalando.*

Mantener la temperatura es esencial para obtener un buen rendimiento de postratamiento. Se requiere una especificación del delta de temperatura del tubo descendente para apoyar la operación efectiva del sistema de postratamiento del escape en condiciones ambientales frías de hasta -40°C (-40°F). Las características consideradas al determinar el delta de temperatura permitido son la regeneración activa efectiva, la regeneración pasiva y la reducción de NO_x del SCR para todos los ciclos de trabajo.

La caída de temperatura se ve afectada por la longitud del tubo de escape, el diámetro del tubo, los codos de la tubería, la calidad y el acabado de la superficie de la tubería, la configuración del vehículo y el aislamiento de la tubería. La calidad del aislamiento y el espesor afectan la caída de temperatura, estos deben diseñarse en función de las instalaciones específicas del motor y del escape del vehículo. Las especificaciones al realizar la prueba de caída de temperatura se resumen en la Tabla de requisitos de caída de temperatura de la tubería (figura 5-51).

Engine Model / Rating	Down Pipe Temperature Drop Requirement for Standard Test Conditions
EPA 2017 X15 All Ratings, EPA 2018 X12 All Ratings, Euro VI X15 All Ratings	≤ 28.2 C (50.8 F)
EPA 2017 L9 Ratings ≥ 400 HP	≤ 35 C (63 F)
EPA 2017 L9 Ratings < 400 HP	≤ 30 C (54 F)
EPA 2017 B6.7 Ratings ≥ 340 HP	≤ 30 C (54 F)
EPA 2017 B6.7 Ratings < 340 HP	≤ 25 C (45 F)
Stage V B6.7 – All Ratings	≤ 20 C (36 F)
Stage V L9 – All Ratings	≤ 20 C (36 F)

Figura 65. Tabla donde se especifican las caídas de temperaturas máximas permisibles en el bajante de escape según el modelo del motor.

Fuente: AEB 21.167. GCE Cummins.

Los OEM deben diseñar el tubo descendente para que la pérdida de calor no exceda los valores apropiados para la potencia nominal del motor o la aplicación descrita en la Tabla de requisitos de caída de temperatura del tubo descendente.

Cuando no se pueden lograr las condiciones exactas de la prueba, se ha desarrollado una fórmula que permitirá la evaluación del sistema. Cummins, Inc. proporciona una hoja de cálculo de Excel para estimar la caída de temperatura entre la conexión de salida del motor de escape y la entrada al dispositivo de módulo único. Para el modelo de motor B6.7, se debe realizar la estimación con las siguientes condiciones:

- § Temperatura del aire ambiente = 25 °C
- § Flujo de escape = 60 g / seg
- § Temperatura de salida del escape del motor = 350 °C

Cuando los datos de prueba se insertan en la hoja de cálculo de Excel (CEB00593 Adjunto A para automóviles y AEB 24.40 Adjunto B para aplicaciones industriales), se calculará una especificación corregida y se comunicará una condición de aprobado / rechazado, asegurándose de que la calculadora seleccionada coincida con el modelo del motor y la clasificación que se está probando. En la fase IV se darán más detalles al respecto.

Actual				Calculated	Corrected Specification	Pass / Fail
Turbine Out T	AT In T	AAT	Exh Flow	dT	dT	
deg_c	deg_c	deg_c	g/sec	deg_c	deg_c	
360	335	25	63	25,00	25,04	Pass

ISB 2017 < 340 HP Ratings -- 25 C dp -- Test Data Only

Figura 66. Ejemplo de la hoja de Excel donde se puede determinar mediante cálculos la caída de temperatura en el bajante de escape y la necesidad de implementar un aislamiento.

Fuente: AEB 21.178 – Attachment 1. GCE Cummins.

- § **(03342.02):** *El tubo entre el punto de conexión del motor y el dispositivo de módulo único debe ser capaz de cumplir con los requisitos de velocidad máxima de fuga especificados. Esto se puede hacer con el sistema montado en el vehículo o en el banco. La tasa de fuga puede determinarse utilizando el "Calculador de fuga de escape" proporcionado en CEB00639 o probado de acuerdo con el procedimiento en el Método de prueba n° 3 en CEB00593 (Métodos y*

procedimientos de prueba de postratamiento) para automoción y Método de prueba n° 4 en AEB 24.78 para aplicaciones industriales.

Durante la regeneración activa, hay un aumento de hidrocarburos en el tubo de escape entre el motor y el dispositivo de módulo individual. Las fugas en el tubo de escape, las secciones flexibles y las juntas pueden provocar fugas y olores notables. El tubo del sistema de escape del vehículo debe diseñarse de tal manera que todos estén libres de emisiones visibles de humo negro, humo blanco, deposición de hollín y goteo de condensado de combustión. La fuga máxima de gas de escape entre el punto de conexión del motor y el dispositivo de módulo único, incluidos los tubos rígidos y todas las juntas, no debe exceder 28.3 slpm (1.0 scfm) cuando se presuriza a 31 kPa (4.5 psig). El sistema no debe tener una sola ruta de fuga mayor a 14.15 slpm (0.5 scfm). Se permitirán 14.15 slpm (0.5 scfm) adicionales para una sección flexible que puede disipar los gases más rápido que una tubería sólida.

Un procedimiento de prueba está contenido en el Método de prueba n° 4 en el CEB00593 (Métodos y procedimientos de prueba de postratamiento). Esta fuga también puede calcularse usando la "Calculadora de fuga de escape" provista en el AEB 24.62 – Adjunto A (anteriormente CEB00639). En la fase IV se darán más detalles al respecto.

5.3.3.3.2 Materiales y componentes

§ **(03244.02):** *Los sistemas de escape montados sólidos deben incluir una sección flexible y estar soportados de manera que la expansión térmica no imponga fuerzas excesivas en el turbocompresor del motor y el colector de escape.*

El uso de secciones flexibles y el tipo de soporte del sistema de escape son críticos para controlar las fuerzas en el punto de conexión del motor. Una sección flexible es una longitud de tubo flexible interconectada o corrugada, generalmente de 300-450 mm (12-18 in) de largo, que proporciona flexibilidad radial y algo de axial en el sistema de escape. El flexible utilizado para la estructura del bajante de escape es de acero inoxidable AISI 304 y con una longitud de 400 mm.



Figura 67. Flexible utilizado en la estructura del bajante de escape.

Fuente: Esteves, A

- § (02996.02): *El diseño del tubo descendente debe ser capaz de cumplir con los requisitos de vida útil del sistema de emisión. El material del tubo descendente debe estar hecho del material enumerado en la tabla adjunta y debe estar diseñado para no interferir con el funcionamiento del sistema de postratamiento.*

La tubería en el sistema de escape entre el motor y el dispositivo de módulo único (bajante) es una parte integral del sistema de control de emisiones del motor. El proceso para controlar las emisiones de partículas depende de las altas temperaturas de los gases de escape en el dispositivo de un solo módulo. La vida útil del material del tubo descendente de cada categoría de producto es se muestra en la figura 5-55. En la figura 5-54 se muestran los materiales aceptables para la fabricación de las tuberías de escape del vehículo. Es de gran necesidad la selección de alguno de estos materiales existentes en la tabla, ya que se deben diseñar los elementos para minimizar los efectos de la corrosión causada por las altas temperaturas y los componentes corrosivos existentes en los gases de escape.

Common Name	Specification	Acceptability	
		Downpipe	Tail pipe
	Ferritic Stainless Steels		
409	ASTM A240 S40910, S40920 or S40930	Yes	Yes
X2CrTi12	CEN EN 10088-2/annealed	Yes	Yes
430	ASTM A240 S43000	Yes	Yes
439	ASTM A240 S43035	Yes	Yes
441	CEN EN 10088-2 1.4509/annealed	Yes	Yes
X3CrTi17	CEN EN 10088-2/annealed	Yes	Yes
	Austenitic Stainless Steels		
304	ASTM A240 S30400	Yes	Yes
304L	ASTM A240 S30403	Yes	Yes
316	ASTM A240 S31600	Yes	Yes
316L	ASTM A240 S31603	Yes	Yes
316Ti	ASTM A240 S31603	Yes	Yes
321	ASTM A240 S32100	Yes	Yes
347	ASTM A240 S34700	Yes	Yes
904L	ASTM A240 N08904	Yes	Yes
X5CrNi18-10	CEN EN 10088-2 1.4301/solution annealed	Yes	Yes
X2CrTi18-9	CEN EN 10088-2 1.4307/solution annealed	Yes	Yes
X1NiCrMoCu25-20-5	CEN EN 10088-2 1.4539/solution annealed	Yes	Yes
	Aluminized Ferritic Stainless Steels		
Aluminized 439	ASTM A463 FSS Type 439 (T1-13, T1-25, T1-40 or T1-100)	Yes	Yes
Aluminized 409	ASTM A463 FSS Type 409 (T1-13, T1-25, T1-40 or T1-100)	Yes	Yes
	Cast Parts		
	Ferrite ductile iron		
Ferrite ductile iron	ASTM A536, grade 60-40-18 with a minimum of 2.6% silicon	Yes	No
Ferrite ductile iron	SAE J434c, grade D4018 with a minimum of 2.6% silicon	Yes	No

Figura 68. Tabla con los materiales aceptables para el bajante y la tubería de escape.

Fuente: AEB 21.167. GCE Cummins.

Application	Useful Life
Automotive Heavy Duty (X15, X12)	700,000 km (435,000 mi)
Automotive Medium Duty (B6.7, L9)	297,729 km (185,000 mi)
Industrial B6.7 and L9	EU Stage V - 8,000 hours Tier 4 Final – 8,000 hours/10 years (whichever comes first)

Figura 69. Cuadro con las especificaciones de la vida útil de los materiales de emisiones según la aplicación.

Fuente: AEB 21.167. GCE Cummins.

Para empezar con la determinación de la velocidad de corrosión y la durabilidad del material durante la vida útil del vehículo, primero se debe expresar ésta última en unidades de tiempo para poder ser comparada con los valores arrojados por las ecuaciones para determinar la velocidad de corrosión en materiales. Para una aplicación de un ciclo de trabajo mediano, entiéndase motores B6.7 y L9 de Cummins, se estima una vida útil de 297.729 Km para todos los componentes del sistema de postratamiento, según la figura 5-55.

El límite de velocidad establecido por el congreso de Estados Unidos en vías comunes es de 55 mph (89 Km/h) en promedio. En zonas urbanas, la mayoría de los estados establecen un límite de velocidad de 30 mph (48 Km/h). Al tratarse de un autobús de enlace entre destinos o Shuttle Bus, éste no realizará paradas continuas y tomará las vías rápidas entre destinos. Partiendo de ahí, se toma un promedio de velocidad para el vehículo y se procede a estimar la vida útil de los sistemas tomando como base el ciclo de trabajo que puede desarrollar. Entonces, se desarrolla una ecuación empírica en donde se pueda transformar la vida útil del vehículo de recorrido a tiempo de trabajo continuo estimado para así tener una idea clara del tiempo de exposición del sistema de postratamiento al medio corrosivo presente.

Después de esto, es necesario determinar la densidad de corriente de corrosión existente entre la tubería del bajante de escape y el medio corrosivo donde ésta se desempeña. Para estimar la velocidad de corrosión y por consiguiente la durabilidad de las tuberías del sistema de postratamiento, se hace uso de las ecuaciones 1 y 2. La densidad de corriente de corrosión ha sido determinada en base a datos experimentales obtenidos de investigaciones relacionadas con en el tema. Para más información, consulte los anexos y referencias bibliográficas.

Para proceder a determinar la velocidad de corrosión y por consiguiente la pérdida de espesor por la corrosión, primero se determina la velocidad de corrosión. La densidad de corriente de corrosión para tuberías de acero inoxidable en flujos de gases compuestos principalmente por dióxido de carbono y otras impurezas, es de aproximadamente $6 \times 10^{-8} \text{ A/cm}^2$, según datos referenciales detallados en los anexos de este trabajo. Entonces, de la ecuación 1:

$$i_c = \frac{v}{k} \cdot n \cdot F$$

Ya con la velocidad de corrosión, se determina la pérdida de espesor del material de la tubería en el tiempo de vida útil del vehículo, con la ecuación 2:

$$v = \frac{W}{A \cdot t}$$

Como se puede observar, el espesor de la tubería del bajante de escape después de cumplir con la vida útil del sistema llega a perder 0,00035 mm de espesor por la corrosión uniforme generada por los gases de escape del motor. Se puede decir entonces que, tanto el material seleccionado como el espesor dan cumplimiento al tiempo de vida útil del vehículo sin generar algún deterioro notable en las tuberías del sistema de escape, específicamente en el bajante que conecta la salida de los gases del motor con la entrada del postratamiento o convertidor catalítico.

§ **(19845.04):** *Para aplicaciones automotrices, el diseño del tubo de escape debe poder cumplir con la vida útil del sistema de emisión. Para las aplicaciones automotrices de la EPA, el material del tubo de escape debe estar hecho del*

material enumerado en la Tabla de materiales aceptables y debe estar diseñado para no interferir con la operación del sistema de postratamiento.

De igual manera que en el bajante de escape, la tubería de escape de la salida del dispositivo de módulo único debe diseñarse para minimizar la corrosión existente durante la vida útil del sistema. Para la selección del material de la tubería y la vida útil, se puede hacer uso igualmente de las figuras 5-54 y 5-55. El uso de estos materiales reduce la probabilidad de problemas de corrosión o durabilidad. Se recomienda que los tubos de escape en todas las aplicaciones estén hechos de materiales enumerados en la Tabla.

5.3.3.3.3 Dimensiones de tubos y tuberías

§ **(03379.04):** *En los modelos ISX (EPA 2013), X12 (EPA 2017) y X15 (EPA 2017), el volumen máximo en la bajante no debe ser mayor que 67.5L (4119 in³). En los modelos ISL (EPA 2013), ISB (EPA 2013), B6.7 (EPA 2017) y L9 (EPA 2017), el volumen máximo en el tubo descendente no debe ser mayor a 31.3L (2000 in³).*

El volumen máximo se especifica para ayudar al sistema de control de emisiones a tener una respuesta correcta a los cambios en el flujo de escape y las temperaturas. Este requisito se aplica a las aplicaciones de automoción solamente debido a las diferencias en la ubicación del sensor de NOx del motor entre los dispositivos de módulo único automotrices e industriales. La tubería del bajante de escape posee una longitud media aproximada de 1400 mm desde la salida del turbocompresor hasta la entrada del dispositivo de módulo único. Como se puede observar en la figura 5-44, para el tipo de aplicación, el diámetro de la tubería debe ser de 4 pulgadas. Entonces, con las dimensiones definidas para el bajante de escape, se procede a estimar el volumen de éste aproximándose al volumen de un cilindro.

Entonces, al haber determinado el volumen del bajante y compararlo con el volumen máximo permitido para el B6.7 EPA 2017, el valor se encuentra por debajo de éste.

§ **(27204.00):** *La conexión de entrada del tubo descendente debe fabricarse de acuerdo con las especificaciones proporcionadas en el documento del esquema CES-S-MANF-2.*

El diseño adecuado del punto de conexión del módulo único asegurará que se minimice el desgaste excesivo y la fuga de gases de escape. Las conexiones adecuadas en el dispositivo de postratamiento se encuentran en el documento CES-S-MANF-2, donde se pueden seleccionar distintos tipos de formas según los modelos y geometría del sistema, y también facilita la determinación de fugas en el sistema ya que en la hoja de Excel se selecciona el tipo de conexión y/o abrazadera usada. Las juntas usadas en los extremos de las tuberías son de 70°. Para mayor referencia cerca de las bridas o juntas de unión diseñadas para las tuberías de los gases de escape, véase los anexos O y P.

5.3.3.4 Fluido de Escape Diésel (DEF)

5.3.3.4.1 Tanque

§ **(06130.03):** *El diseño del tanque debe tener un espacio de volumen de expansión mínimo del 10% para proporcionar capacidad para el proceso de congelación / descongelación.*

En la estimación del volumen mínimo necesario para el tanque del fluido de escape diésel (DEF) o urea, es necesario considerar dejar al menos un 10% del volumen libre para permitir la libre expansión y congelamiento del fluido, ya que casi un 70% de la composición de éste es agua. Esto se considera dentro de la estimación del volumen del tanque necesario para la aplicación, determinado más adelante.

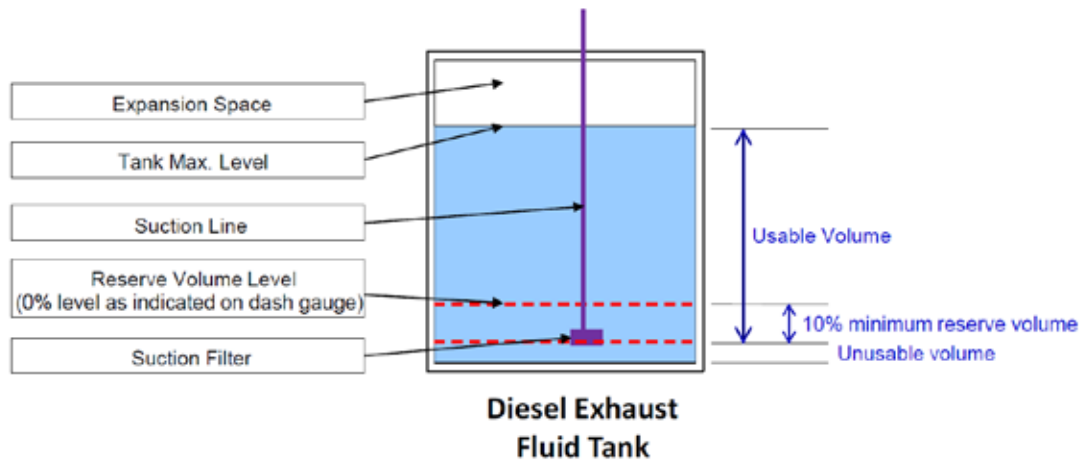


Figura 70. Detalle de las diferentes consideraciones a tomar para el dimensionamiento del tanque de urea.

Fuente: AEB 24.74. GCE Cummins.

§ (03745.00): *El volumen utilizable mínimo del tanque de fluido de escape diésel DEF debe ser igual o superior al volumen mínimo del tanque DEF, calculado con la fórmula adecuada, para la aplicación que se evalúa.*

El amoníaco requerido para el proceso SCR se obtiene del DEF. Además, el módulo de dosificación se enfría mediante el flujo DEF a través del dispositivo. El volumen total del tanque DEF será la suma del volumen utilizable, el volumen de expansión y el volumen inutilizable. El volumen utilizable se define como el volumen de DEF que se puede agregar al tanque utilizando métodos de llenado típicos y extraídos del tanque a través del tubo de succión. El volumen inutilizable se define como el volumen de DEF que está debajo del tubo de succión (véase figura 5-56). Para las aplicaciones automotrices B6.7, L9, X12 y X15, aplicaciones no alimentadas centralmente, Cummins Inc. requiere una relación de tamaño del tanque de DEF a tanque de combustible diésel de 1.25: 1. Esta relación se seleccionó para minimizar las ocurrencias de operadores que experimentaron una lámpara de advertencia de DEF bajo o inducción baja de DEF antes de cualquier advertencia de tanque de combustible bajo de diésel del operador. Para proporcionar un margen de seguridad que cubra todas las situaciones operacionales, la recomendación de Cummins Inc. es que se use una relación de tanque de DEF a tanque de combustible diésel de 2:1. Los

vehículos que operan habitualmente en condiciones de frío extremo o elevaciones extremas son ejemplos de dónde se puede considerar esta recomendación.

El volumen mínimo de DEF calculado usando esta fórmula es el total usable del tanque de DEF. Para aplicaciones ISB, ISL, y ISX15 que normalmente son repostados diariamente desde una central de combustible y que repostan el DEF de la misma manera, se suele recomendar el cálculo a través de esta fórmula con un factor experimental establecido de seguridad de 1,25. Ejemplos de estos vehículos son buses de tránsito, vehículos de emergencia, mezcladoras de concreto y otros semejantes que suelen ser llenados de esta manera. Para la estimación del volumen del tanque de urea, también es importante indicar el volumen del tanque de combustible del vehículo. Este es un valor tomado a consideración por el OEM. ENCAVA, C.A. implementa un tanque con un volumen de 150 litros para el modelo ENT-710.

Engine	DEF Consumption Factor
QSG12	0.100
Industrial B6.7	0.100
Industrial L9	0.100
Automotive B6.7	0.037
Automotive L9	0.040
Automotive X12	0.037
Automotive X15 EPA17	0.037
Automotive X15 Euro VI	0.08

Figura 71. Factores de consumo de urea tabulados para la determinación del volumen del tanque de urea según el motor.

Fuente: AEB 24.74. GCE Cummins.

Para la aplicación, se necesitan entonces al menos 6,9375L de capacidad en el tanque de urea a usar. Se ha decidido seleccionar un tanque de 10 galones de

capacidad (aproximadamente 38L) para ser usado en el vehículo, para disminuir las paradas en estaciones de servicio u otros para la recarga del fluido, en especial cuando se realizan trabajos largos y continuos durante un ciclo diario de trabajo.



Figura 72. Tanque de urea seleccionado para la aplicación, de una capacidad de 10gal.

Fuente: Esteves, A.

§ **(03688.02):** *El circuito de suministro de refrigerante debe incorporar una válvula de control de flujo de refrigerante controlada desde el ECM. La válvula de control de flujo de refrigerante debe cumplir los requisitos de la tabla asociada en esta información de AIR.*

El diseño del calentador del tanque debe incluir una válvula de flujo de refrigerante del motor en la línea de suministro de refrigerante controlada por el ECM. La ubicación del calentador del tanque debe estar cerca de la entrada de la línea de succión del tanque, de modo que la solución descongelada esté disponible lo antes posible para garantizar que se cumplan los requisitos de descongelación. Para más detalles de la válvula seleccionada, véase anexo Q.



Figura 73. Válvula de control de flujo del refrigerante del motor usado para calentar el fluido de escape diésel. Proporcionada por Shaw Development.

Fuente: Shaw Development.

5.3.3.4.2 Líneas / mangueras del fluido de escape diésel (DEF)

§ **(06125.03):** *La línea de succión DEF, la línea de retorno y el material, el tamaño y la capacidad de la línea de presión deben cumplir con las especificaciones enumeradas en las tablas anexas.*

El OEM es responsable de diseñar, abastecer y empaquetar la línea de succión, la línea de presión y la línea de retorno para conectar el tanque DEF, el módulo de suministro y el módulo de dosificación. Las líneas DEF deben comprarse con los accesorios de conexión rápida preinstalados. No se puede usar Buna-N, neopreno, silicio, Tygon o material similar para líneas DEF, ya que reaccionarán químicamente con el DEF. La línea de presión, la línea de succión y el material de la línea de retorno deben ser capaces de ciclos repetidos de congelación / descongelación. La cantidad de ciclos de congelación / descongelación es específica para la aplicación, el ciclo de trabajo y el entorno operativo. También se deben considerar las propiedades térmicas del material, especialmente cuando se calienta desde bajas temperaturas.

	Suction Line	Pressure Line	Return Line
Material	Ethylene Propylene (EPDM)	Ethylene Propylene (EPDM)	Ethylene Propylene (EPDM)
Connection Type	3/8" SAE J2044 or 5/16" SAE J2044 Quick Connect fitting to DEF Tank	5/16" SAE J2044 Quick Connect fitting to Supply Module	5/16" SAE J2044 Quick Connect fitting to Dosing Module
	3/8" SAE J2044 Quick Connect fitting to Supply Module	1/4" SAE J2044 Quick Connect fitting to Dosing Module	3/8" SAE J2044 or 5/16" SAE J2044 Quick Connect fitting to DEF Tank
Line Heating	The OEM must provide suitable DEF line and connector heating equipment to ensure equipment acceptance for all seasons.		
Maximum Connector Temperature Limits	120 °C (248 °F) Spikes 130 °C (266 °F)	120 °C (248 °F) Spikes 130 °C (266 °F)	120 °C (248 °F) Spikes 130 °C (266 °F)
Inner Diameter Flow Area	4.00 - 6.35 mm (0.157 - 0.250 in)	4.00 - 6.35 mm (0.157 - 0.250 in)	4.00 - 6.35 mm (0.157 - 0.250 in)
Maximum Length	2 m	6.5 m	6.5 m
Maximum Pressure Drop at Sea Level	200 mbar (5.9 in Hg)	600 mbar (17.7 in Hg)	200 mbar (5.9 in Hg)
Pressure/Vacuum Requirement	Sufficiently rigid to prevent collapse due to vacuum of 500 mbar (14.8 in Hg)	Working pressure: 11 bar gauge (160 psig) Max possible pressure: 16 bar gauge (232 psig)	
Elasticity at 5.0 bar (147.65 in Hg) pressure difference	≥8% volume	≥8% volume	≥8% volume
	The pressure line, suction line, and return line material must be capable of repeated freeze/ thaw cycles.		
ISO 16232-10 Cleanliness Specification	CCC=G7/H6/I5/J4/K00	CCC=D10/E9/F8/G7/H6/I5/J4/K00	N/A

Figura 74. Características para las mangueras de circulación de la urea del sistema de dosificación del postratamiento.

Fuente: AEB 24.74. GCE Cummins.

Las líneas de DEF deben enrutarse de una manera que las proteja de la abrasión o los puntos de quiebre. El recorrido debe evitar curvas cerradas y la línea no debe hacer contacto con bordes afilados o superficies abrasivas. Todas las líneas de DEF deben tener holgura adecuada para no permitir un estrés excesivo en los conectores. Todas las líneas de DEF deben ser compatibles para no permitir que el peso de las líneas provoque una tensión excesiva en los conectores. Se recomienda que la distancia máxima entre el dispositivo de soporte y la interfaz del conector en el

módulo de suministro DEF no sea superior a 200 mm (8 in). Las partes del sistema vulnerables a la congelación son las líneas y conexiones externas entre el tanque y el módulo de suministro. Las líneas y conexiones expuestas se congelarán y evitarán el flujo de DEF. El OEM debe proporcionar equipos adecuados de calefacción de líneas DEF para garantizar la aceptación del equipo para todas las estaciones. Para más detalles de las mangueras de circulación del DEF, véase anexo R.



Figura 75. Mangueras de circulación del fluido de escape diésel con calefacción por resistencia eléctrica y conexiones rápidas SAE J2044. Proporcionada por Shaw Development.

Fuente: Shaw Development.

5.3.3.4.3 Propiedades del fluido / material

§ **(03599.02):** *El diseño del calentador del tanque debe cumplir con los requisitos para admitir el descongelamiento y la dosificación de DEF en ambientes fríos.*

Para condiciones de clima frío, se requiere la calefacción del tanque DEF cuando el motor está en marcha. Para evitar problemas con la solución sólida o cristalina, el tanque DEF y el sistema de dosificación generalmente se mantienen por lo menos a 5° C (9 ° F) por encima del punto de congelación del DEF. El tanque debe incorporar un calentador usando refrigerante del motor. El fabricante de equipos originales debe utilizar puertos de retorno y suministro de refrigerante específicos para este circuito de refrigeración, de modo que el flujo de refrigerante esté regulado y se mantenga el equilibrio de refrigerante correcto entre los componentes del motor.

El OEM es responsable de proporcionar líneas de refrigerante adecuadas para garantizar el flujo de refrigerante adecuado al calentador del tanque DEF. El área de superficie del calentador en relación con el tamaño del tanque DEF es importante para garantizar que el rendimiento de descongelación cumpla con los criterios de rendimiento requeridos. El área de superficie del calentador en relación con el tamaño del tanque DEF es importante para garantizar que el rendimiento de descongelación cumpla con los criterios de rendimiento requeridos. El tanque para el DEF ya viene de fábrica incorporado con las tuberías de calefacción por donde circula el refrigerante del motor para mantener una determinada temperatura el fluido dentro del tanque. El fabricante de los tanques se ocupa del diseño del área necesaria de los tubos para la transferencia de calor suficiente para mantener en estado líquido al mencionado fluido, y que mediante la válvula de control del refrigerante se controla el paso de éste cuando hay bajas temperaturas en el ambiente y es necesario elevar la temperatura del fluido dentro del tanque.

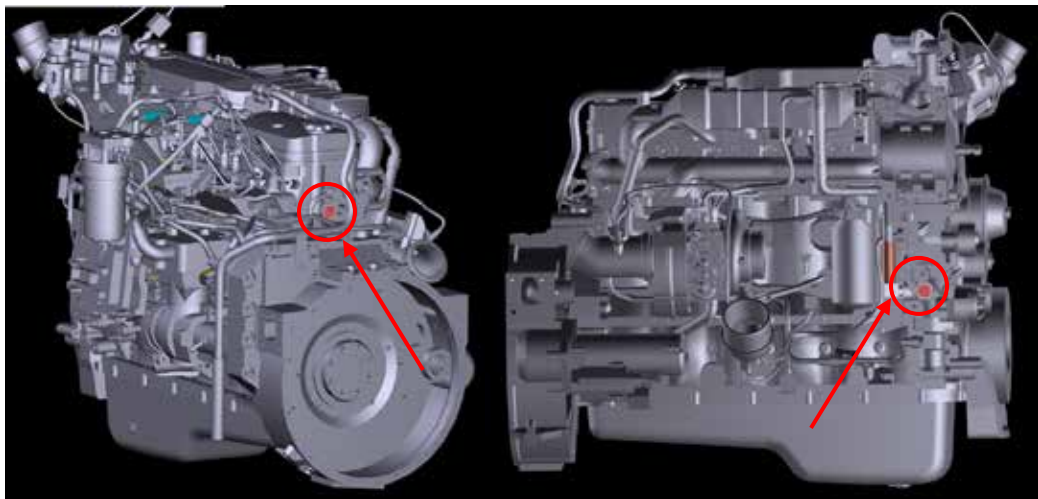


Figura 76. Puertos designados para las conexiones de las mangueras del circuito del refrigerante para la calefacción del sistema de dosificación. A la izquierda, la salida o toma del refrigerante del motor. A la derecha, el retorno del refrigerante al motor.

Fuente: Esteves, A.

5.3.3.4.4 Componentes

§ **(03467.02):** *El Módulo de suministro debe montarse en el bastidor del vehículo o en un soporte rígido adecuado entre +45 ° y -45 ° en ambas direcciones. La línea central del filtro es la referencia para el montaje.*

El módulo de suministro forma parte de un sistema de alta precisión para inyectar DEF en el sistema de postratamiento de gases de escape y tiene un peso seco de 1,62 kg (3,6 lb). Este componente debe manejarse con cuidado y puede dañarse si se cae. La bomba impulsa la carga de DEF a un módulo de dosificación montado en el sistema de escape aguas arriba del catalizador. La dirección del flujo de refrigerante a través del módulo de suministro no es direccional, por lo que cualquier conector puede utilizarse como la conexión de entrada o salida según sea necesario. El sistema de dosificación está diseñado para entregar una cantidad precisa de solución de DEF por peso, producida según ISO 22241-1 o DIN 70070, en los sistemas de escape de diesel de acuerdo con una capacidad, que se calcula mediante un algoritmo externo. El uso de cualquier fluido que no sea el DEF descrito anteriormente está prohibido.

El módulo de suministro está diseñado para permitir conexiones rápidas a todos los cables y líneas de fluido. Los fabricantes de equipos originales deben tomar las precauciones adecuadas para proteger el módulo de suministro de daños durante la manipulación o el almacenamiento en sus instalaciones de ensamblaje y cuando instale el dispositivo en el equipo. El módulo debe montarse con la tapa del filtro orientada hacia abajo dentro de +/- 45 ° de la vertical. Se deben utilizar todas las ubicaciones de montaje en el módulo de suministro, y debe ubicarse en un espacio que minimice su vulnerabilidad a los desechos del camino. Se recomienda que el módulo de suministro no se ubique en un área con mucha salpicadura o suciedad, lo que evita una exposición excesiva o la posibilidad de dañar el conector eléctrico y las conexiones de fluido. Es posible que sea necesario un escudo si el módulo está ubicado en una ubicación vulnerable donde podría verse afectado por escombros.

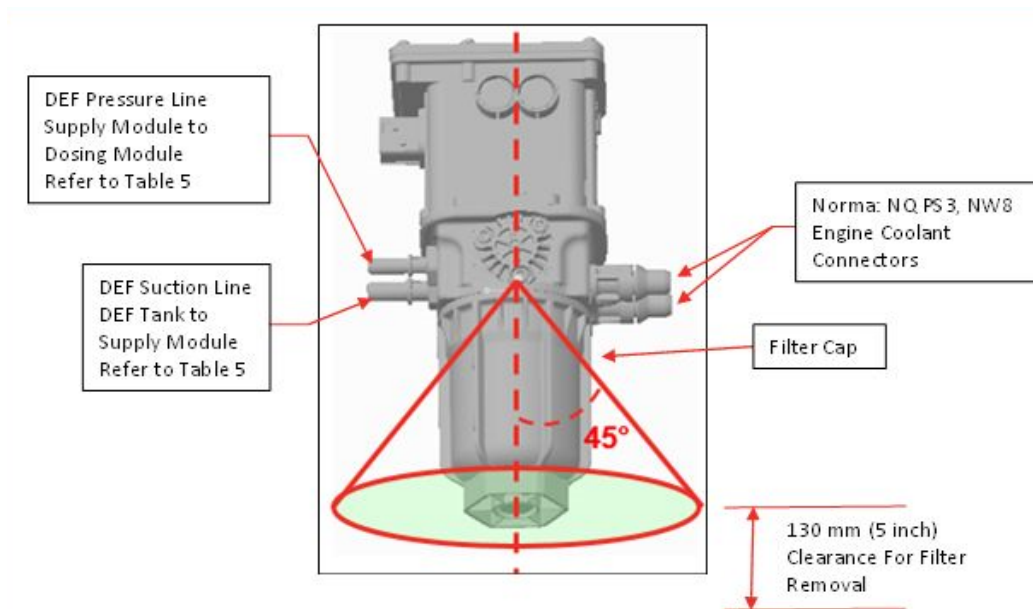


Figura 77. Posición y características de montaje del módulo de suministro de DEF.

Fuente: AEB 24.74. GCE Cummins.



Figura 78. Montaje vertical del módulo de suministro en el bastidor del vehículo.

Fuente: Esteves, A.

En la figura 78 se puede observar la posición de montaje y se puede apreciar la inclinación del módulo de dosificación en el bastidor del vehículo. El dispositivo con 0° respecto a la vertical, cumple con lo planteado en la figura 77.

5.3.3.6 Enfriamiento del postratamiento

5.3.3.6.1 Diseño y posiciones

§ (04018.00): Configuración del circuito de suministro de refrigerante: El diseño de la línea de refrigerante, los diámetros internos, la longitud de línea y el número de curvas deben cumplir los requisitos indicados.

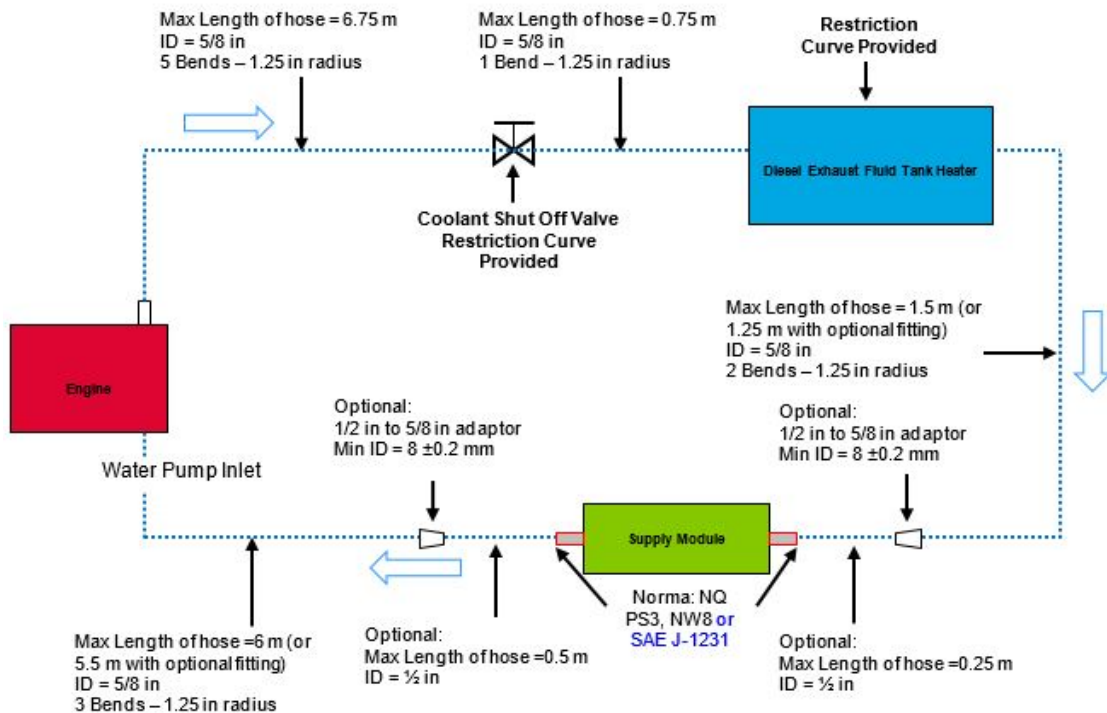


Figura 79. Layout del circuito de circulación del refrigerante del motor para la calefacción del sistema de dosificación.

Fuente: AEB 24.74. GCE Cummins.

Los diámetros definidos para las líneas de circulación del fluido para la calefacción del sistema de dosificación, según la figura 5-63, son de 5/8" excepto las líneas de entrada y salida del módulo de dosificación, el cual se establece de 1/2". Las mangueras deben poseer un máximo de curvas establecidas y su respectiva longitud máxima de cada una de las líneas para no sobrepasar el límite de pérdidas de disponibilidad del refrigerante permitido por el fabricante.



Figura 80. Montaje en desarrollo del sistema de dosificación con sus líneas de DEF.

Fuente: Esteves, A.

5.3.3.6.2 Propiedades de las líneas / mangueras

§ **(04033.00): Línea de refrigerante** El material debe cumplir con la norma SAE J20 R3 Clase D-2. Para una instalación donde las temperaturas de la línea de refrigerante exceden los límites del material clase D2, se requiere material de clase D3, material de clase A o protección térmica.

Durante las operaciones de clima frío, el refrigerante del motor se suministra al tanque DEF y a la unidad de suministro para descongelar DEF congelado y / o para evitar que el DEF se congele durante la operación. El fabricante de equipos originales debe utilizar puertos de retorno y suministro de refrigerante específicos para este circuito de refrigeración, de modo que el flujo de refrigerante esté regulado y se mantenga el equilibrio de refrigerante correcto entre los componentes del motor. Para una instalación donde las temperaturas de la línea de refrigerante exceden los límites del material clase D2, se requiere material clase D3, material de clase A o protección térmica. Si cualquier material de línea que no sea la manguera de silicona que cumpla con las especificaciones del AEB se utiliza en el circuito de suministro de refrigerante desde el motor hasta el tanque DEF y el módulo de suministro, debe estar aislado.

Las mangueras seleccionadas para la circulación del fluido de calefacción del sistema de dosificación pertenecen a la clasificación SAE 100r6 J517, la cual especifica las condiciones de operación de mangueras multipropósito a altas temperaturas. Las características físicas de las mangueras y el significado de la nomenclatura están descritos en los anexos U y V, así como también en el apéndice A. El estándar SAE J517 proporciona especificaciones generales, dimensionales y de rendimiento para las mangueras más comunes utilizadas en sistemas hidráulicos en equipos móviles y estacionarios.



Figura 81. Detalle de la manguera utilizada en el circuito de tránsito del refrigerante del motor para la calefacción del sistema de dosificación, clasificación SAE 100r6 J517.

Fuente: Esteves, A.



Figura 82. Descripción de las mangueras utilizadas en el circuito de calefacción.

Fuente: Esteves, A.

5.3.3.6.3 Puertos y accesorios

§ **(04045.01):** *El flujo de retorno del refrigerante debe volver a la entrada de la bomba de agua. Consulte la información del motor para conocer los detalles del puerto designado.*

Este requisito es asegurar que el sistema de enfriamiento de postratamiento obtenga el flujo adecuado de refrigerante. En la figura 5-60 se puede detallar el puerto designado para el retorno del refrigerante al motor, entrando en la bomba de agua.

§ **(04049.02):** *La línea de suministro de refrigerante debe usar el puerto correcto del motor. Consulte el dibujo de instalación en la página de la GCE del motor para conocer los detalles del puerto designado.*

Deben utilizarse los puertos adecuados en el motor para garantizar una operación adecuada en climas fríos. En la figura 5-59 se da detalle del puerto designado para la toma de refrigerante del motor para ser usado en las líneas de calefacción del sistema de dosificación de urea.

§ **(04039.03):** *Las líneas de suministro y retorno de refrigerante deben conectarse al módulo de suministro utilizando las conexiones de interfaz adecuadas.*

El uso de los conectores adecuados del conector de refrigerante reducirá la posibilidad de fugas y permitirá un mantenimiento más fácil de la unidad de suministro. El módulo de suministro viene en dos configuraciones. Una configuración incorpora adaptadores de refrigerante macho Norma PS3 NW8 de conexión rápida. Los accesorios de conexión rápida hembra Norma PS3 NWQ deben usarse para conectarse a esta interfaz. La segunda configuración incorpora conectores de refrigerante de lengüeta de manguera macho de 5/8 "(15,9 mm). El alojamiento y las abrazaderas apropiados para esta conexión de 5/8 "(15,9 mm) se deben utilizar para conectarse a esta interfaz. Los accesorios están ubicados en el mismo lado del módulo de suministro. La dirección del flujo de refrigerante a través del módulo de suministro no es direccional, por lo que cualquier conector puede utilizarse como la conexión de entrada o salida según sea necesario. Ambas configuraciones se pueden seleccionar para el sistema de tratamiento posterior desde el sitio del GCE.



Figura 83. Conexiones de interfaz entre el módulo de suministro y las mangueras de DEF (izquierda) rectas, y las mangueras de refrigerante (derecha) a 90°.

Fuente: Esteves, A.

5.3.3.7 Arnés de cableado

5.3.3.7.1 Montaje

§ (03880.00): Ninguna parte del arnés de cableado puede llegar a menos de 25 mm (1 in) de la superficie del conjunto (postratamiento).

Cuando el arnés del OEM está restringido, no debe tocar ninguna parte del dispositivo de un solo módulo ni debe sujetarse a los cables conductores del sensor que se suministran en el dispositivo. Los OEM no deben asegurar los cables de los sensores de ninguna otra manera, excepto cuando se lo llame en una impresión.

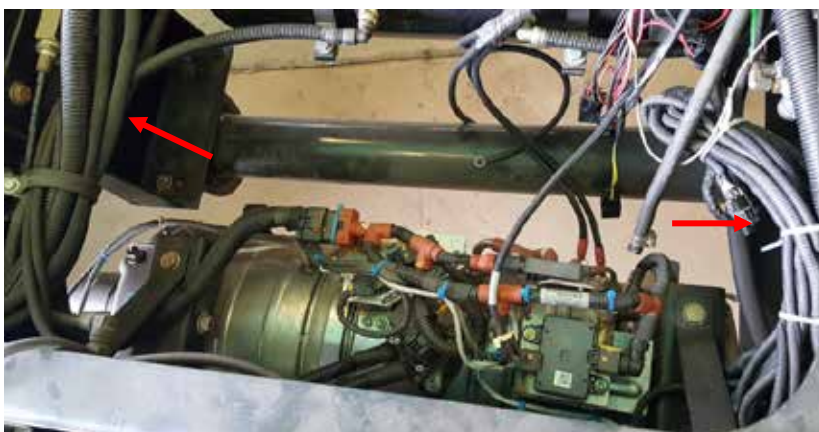


Figura 84. Localización de los arneses con respecto al sistema de postratamiento.

Fuente: Esteves, A.

5.4 Evaluación Del Comportamiento Del Sistema De Acuerdo A Lo Establecido En Los Boletines De Ingeniería

Para la comprobación del correcto funcionamiento e implementación del sistema de postratamiento estudiado se debe realizar una evaluación del sistema. Cummins, Inc. proporciona un conjunto de documentos y hojas de cálculo mediante el cual se pueden realizar diversas pruebas de comportamiento teóricas de algunos subsistemas y del sistema general de postratamiento. Para la evaluación del sistema se utilizan datos obtenidos tanto analíticamente como empíricamente. En la tabla 5, se explican y desarrollan cada uno de los métodos y procedimientos de prueba del sistema de postratamiento.

Tabla 5. Listado de pruebas y evaluaciones del desempeño del sistema de postratamiento.

Fuente: Esteves, A.

Resumen de pruebas para sistemas de postratamiento de dispositivo de módulo único para aplicaciones automotrices		
N°	Nombre de la prueba o evaluación	Descripción
1	Medición de la caída de temperatura desde el punto de conexión del motor a la entrada del postratamiento	Estudio realizado para estimar la caída de temperatura en el bajante de escape de postratamiento y comprobar si no excede el límite establecido según el modelo del motor. Contempla el documento “CEB00593 Attachment A” extraído del GCE de Cummins.
2	Método de prueba para medir la tasa de fuga del bajante. Salida del turbo a entrada de postratamiento	Herramienta analítica de cálculo utilizada para determinar las posibles fugas de gases en los extremos del bajante de escape según el tipo de uniones o juntas usadas. Contempla el documento “AEB24.62 Attachment A” extraído del GCE de Cummins.

3	Procedimiento de prueba de entrada de agua	Estudio realizado para determinar el posible ingreso de agua al sistema de postratamiento a través de uniones o juntas. Contempla el documento “21.112 Attachment 3” extraído del GCE de Cummins.
4	Cálculo del momento de flexión bajo una carga de 1G	Estudio realizado para determinar los momentos flectores que se pueden desarrollar en las juntas de las tuberías del sistema de postratamiento y comprobar si no excede el límite establecido según el diámetro de la tubería. Contempla el documento “24.78 Attachment A” extraído del GCE de Cummins.
5	Temperatura del tanque DEF	Herramienta analítica para determinar la temperatura interna del tanque de DEF. Contempla el documento “CEB00593 Attachment B” extraído del GCE de Cummins.

5.4.1 Medición de la caída de temperatura desde el punto de conexión del motor a la entrada del tratamiento posterior

Este método de prueba define el proceso para medir la pérdida de calor de la tubería descendente entre la salida del motor de escape y la entrada del DPF (tubería bajante o bajante de escape) durante la operación del sistema. Los resultados de la prueba se evaluarán contra una caída de temperatura del sistema de escape permitida y calculada usando una ecuación cuadrática que utiliza tres parámetros medidos, que son la temperatura de salida de la turbina del turbocompresor [TOT], flujo de escape [V_ATP_fg_Turbo_Out] y temperatura del aire ambiente [AAT]. Se utilizará una "especificación máxima corregida" calculada para evaluar los resultados de la prueba de caída de temperatura medida para determinar la aceptación del sistema.

Se ha diseñado una hoja de trabajo de Excel protegida para proporcionar un proceso de informe común para la pérdida de calor de la tubería de escape. Contempla el documento CEB00593 Adjunto A. La calculadora de caída de temperatura provista en el Anexo A ajusta la especificación máxima corregida para los modelos B6.7 y L9 y se debe usar para determinar una condición de aprobación / falla para la caída de temperatura en la sección de tubería descendente del sistema. (Es fundamental que se utilice la hoja de trabajo correcta para el modelo que se está evaluando al calcular la especificación máxima corregida). Las variables son TOT (Turbine Outlet Temperature o Temperatura a la salida de la turbina), ATinT (Aftertreatment Inlet Temperature o Temperatura en la entrada del postratamiento), AAT (Ambient Air Temperature o Temperatura del aire del ambiente) y Exhaust Flow (Flujo másico de escape). Se deben insertar los cuatro valores de prueba en las celdas resaltadas en amarillo en la pestaña correspondiente B6.7 o L9 para determinar la condición de aprobación / falla.

Actual				Calculated	Corrected Specification	
Turbine Out T	AT In T	AAT	Exh Flow	dT	dT	Pass / Fail
deg_c	deg_c	deg_c	g/sec	deg_c	deg_c	
360	330	25	63	30	30.0	Pass
360	325	25	63	35	30.0	Fail

Figura 85. Ejemplo de la hoja de cálculo de la caída de temperatura para motores B6.7 y L9 de Cummins.

Fuente: CEB00593 Attachment A. GCE Cummins.

5.4.1.1 Preparación de la instrumentación

- a) Instalar un termopar de temperatura de salida de la turbina del motor, ubicado dentro del diámetro de un tubo desde la salida de escape del motor.
- b) Instalar un termopar de temperatura de entrada de postratamiento, ubicado dentro del diámetro de un tubo de la junta de entrada al DOC.
- c) Colocar la temperatura del aire ambiente de 4 a 5 pies por delante de la rejilla (se requerirá un termopar blindado si se expone a la luz solar directa).

5.4.1.2 Preparación del vehículo

- a)** Estacionar el vehículo en un lugar seguro, lejos de otros vehículos.
- b)** Verificar que la salida de la chimenea no esté dirigida a objetos sensibles al calor.
- c)** Verificar que la transmisión esté en Neutral (Fuera de Marcha).
- d)** Verificar que el cofre esté cerrado y trabado.
- e)** Verificar que el freno de estacionamiento esté puesto.
- f)** Verificar que la CA esté APAGADA.
- g)** El ventilador de enfriamiento del motor puede estar encendido continuamente durante la prueba. En instalaciones donde el ventilador de enfriamiento está soplando directamente en la tubería de bajada de escape, p. aplicaciones de autobús con paquetes de refrigeración montados en la parte posterior, la prueba debe realizarse con el ventilador del motor en marcha.

5.4.1.3 Condiciones de la prueba

- a)** Rango de temperatura del aire ambiente, recomendado entre 20 a 30 °C (68 a 86 °F). Se aceptan pruebas a temperaturas fuera de los valores recomendados.
- b)** La velocidad del aire Ram debe ser <3 [mph] cuando las pruebas se llevan a cabo en un túnel de viento. (En una instalación de dinamo de chasis, se puede requerir un flujo de aire de derivación para ayudar a la estabilidad de la temperatura ambiente.)
- c)** El motor DEBE tener un termostato en funcionamiento.
- d)** El ventilador de enfriamiento del motor puede estar bloqueado o permitido para el ciclo. En instalaciones donde el ventilador de enfriamiento está soplando directamente en la tubería de bajada de escape, por ejemplo, aplicaciones de autobús con paquetes de refrigeración montados en la parte posterior, la prueba debe realizarse con el ventilador del motor en marcha.
- e)** El aire acondicionado y todos los demás accesorios alimentados por el motor deben estar apagados para la prueba. Precaución: durante la regeneración, la temperatura del gas de escape podría alcanzar los 800 °C (1472 °F), y las temperaturas de superficie del sistema de escape podrían exceder de 700 °C (1292 °F).

5.4.1.4 Procedimiento de prueba

- a) Arrancar el motor
- b) Iniciar el equipo de registro de datos.
- c) Solicitar una regeneración fuera de la misión del DPF.
- d) Para los modelos B6.7, L9, X12, X15, la regeneración debe realizarse sin dosificación de hidrocarburos.
- e) Para los modelos B6.7 y L9, la regeneración debe realizarse con una condición dP/P baja.
- f) La velocidad del motor se elevará a 800-1050 rpm (depende del modelo).
- g) Las temperaturas del sistema de escape deben elevarse cuando el proceso de regeneración haya completado la grabación de datos de detención (la regeneración puede demorar entre 30 y 40 minutos). Las pruebas deben concluirse manualmente cuando T1 y T2 son estables y la temperatura de salida del ECM DPF y la temperatura del lecho ECM SCR son estables (30 minutos como mínimo).
- h) Seleccionar los últimos 5 minutos del evento de regeneración de sus datos grabados y promedie los valores de T1, T2 y temperatura ambiente para ese período. También necesitará promediar el flujo de gases de escape, la temperatura de salida del DPF y la temperatura del SCR durante el mismo período de tiempo.

5.4.1.5 Resultados

Tabla 6. Datos obtenidos para ser ingresados en la hoja de cálculo de la caída de temperatura, referidos de la sección 5.3.3.1.

Fuente: Esteves, A.

Variable	Valor
Temperatura a la salida del motor	350 °C
Temperatura a la entrada del postratamiento	335°C
Temperatura del aire del ambiente	25 °C
Flujo de gases	60 g / s (asumir)

Actual				Calculated	Corrected Specificatio n	
Turbine Out T	AT In T	AAT	Exh Flow	dT	dT	Pass / Fail
deg_c	deg_c	deg_c	g/sec	deg_c	deg_c	

B6.7 2017 < 340 HP Ratings --25 C dp--Test Data Only

Figura 86. Modelo de la hoja de cálculo sin llenar para la determinación de la caída de temperatura en el bajante de escape.

Fuente: CEB00593 Attachment A. GCE Cummins.

Actual				Calculated	Corrected Specificatio n	
Turbine Out T	AT In T	AAT	Exh Flow	dT	dT	Pass / Fail
deg_c	deg_c	deg_c	g/sec	deg_c	deg_c	
350	328	25	60	22,00	25,18	Pass

B6.7 2017 < 340 HP Ratings --25 C dp--Test Data Only

Figura 87. Resultados obtenidos por la hoja de cálculo con los datos de la tabla 6.

Fuente: CEB00593 Attachment A. GCE Cummins.

5.4.2 Método de prueba para medir la tasa de fuga del bajante. Salida del turbo a entrada de postratamiento

Esta prueba se realiza para encontrar la tasa de fugas de la tubería entre el motor y el dispositivo de postratamiento. Esta prueba debe realizarse en el tubo de escape, ya que está instalado en el equipo o en un banco con el sistema dispuesto tal como se instalaría en el equipo. El bajante de escape se debe probar por partes y procesos de producción. No se permiten agregar empaquetaduras, uniones con cinta adhesiva, etc. solo para la prueba. Se deben usar tapas de prueba de fugas apropiadas.

5.4.2.1 Equipamiento

La prueba requiere el uso de un aparato de prueba de fuga estática capaz de presurizar a 31 kPa (4.5 psig) con una salida de caudal estandarizada (es decir, scfm o slpm). Los comprobadores de fugas de vacío y fugas no se pueden usar para esta prueba. El Ingeniero de aplicaciones puede brindar asesoramiento sobre equipos de

prueba. A continuación, se muestra un ejemplo del conjunto de herramientas que se pueden usar para esta prueba.

- § Kit de prueba de fugas
- § Kit de caudalímetro [Manómetro (rango: 0 a 15 psi), Caudalímetro (rango: 0.2 a 2 SCFM), Resolución: 0.1 SCFM, Regulador de aire (Máx. 56 SCFM a 100 psi, rango de regulación 1-30 PSI)]
- § Tapas finales de fuga aplicables
- § Abrazadera de banda V y junta
- § Agua jabonosa
- § Aire comprimido
- § Banco de trabajo
- § Herramientas de uso común (como llave de torque calibrada, enchufes, cinta de teflón, etc.)

5.4.2.2 Procedimiento

La prueba debe realizarse en el equipo o en un banco como si las partes estuvieran instaladas en el equipo.

- a)** Conectar la tapa del extremo a la entrada de la bajante (extremo que conecta a la salida Turbo) con la abrazadera de banda en V. Se debe usar una junta si el OEM tiene la intención de usar una junta para la producción.
- b)** Conectar la tapa del extremo a la salida (extremo que conecta a la entrada del postratamiento) del bajante con la abrazadera y la junta de la banda en V. Asegurarse de que la abrazadera de la banda en V esté apretada según los procedimientos de ensamblaje del OEM para la producción. Asegúrese de que la tapa del extremo en la salida de la bajante esté conectada y que no haya fugas del enchufe.
- c)** Conectar la manguera Stratoflex (B) a la salida del kit de fugas (B). Conectar la manguera Stratoflex (D) a la tapa de cierre de fugas conectada a la entrada de bajada.
- d)** Cerrar la válvula de bola que conecta el aire de taller al kit de fugas. Conectar el aire de la tienda a la entrada del kit de fugas (C).
- e)** Lentamente aplicar presión al sistema hasta que el sistema alcance 31kPa (4.5psig).

- f) Verificar para asegurarse de que los extremos tapados y / o el aparato de prueba no causen ninguna fuga usando agua jabonosa. Si no se observan fugas, continuar con el siguiente paso. Si se observan fugas, apagar la presión del sistema, arreglar el área de la fuga y volver al paso anterior.
- g) Esperar a que la lectura de la tasa de flujo se estabilice y luego registre la velocidad de flujo. Un sistema aceptable no debe exceder los límites de fuga de escape especificados en el AEB 21.167.
- h) Si hay una sección flexible en el bajante, se requieren pruebas adicionales de la sección flexible. Selle la sección flexible con cinta u otros medios, para evitar fugas en esta área. Las juntas de la sección flexible no deben pegarse con cinta adhesiva para realizar esta prueba. Repetir los pasos anteriores. Esperar a que la lectura de la tasa de flujo se estabilice y luego registre la velocidad de flujo.
- i) Tomar el valor obtenido en el paso anterior y reste el valor del paso inicial. Esta es la contribución de fuga de la sección flexible. Las secciones de flexión aceptables no deben exceder el límite especificado en el AEB 21.167.

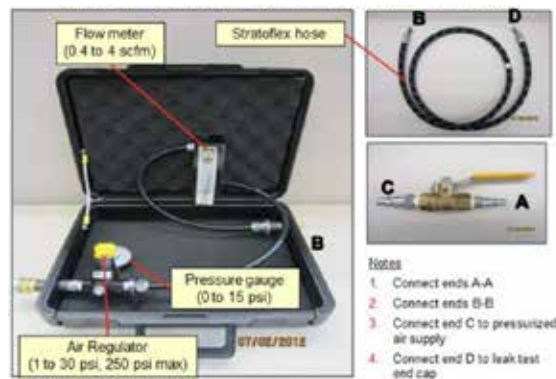


Figura 88. Kit de prueba de fugas para ser usado en las tuberías del postratamiento.

Fuente: CEB00593. GCE Cummins.

Downpipe Leakage Calculator

Emission Level	EPA_2017
Engine Model	ISB/ISL/ISX
Max. Exhaust Flow Rate	N/A
Exhaust Tubing	4
Number of Joint	2

Isolation Joint Type	Flexible Bellows	Leakage Rate (cfm)
		0

Joint Number	Joint Type	Leakage Rate (cfm)
1	Standard Marmon (No Gasket)	0,25
2	Standard Marmon (No Gasket)	0,25
3		0
4		0
5		0
6		0
7		0
8		0
9		0
10		0
Total Calculated Leakage (cfm)		0,5

Leakage Specification (cfm)	
Isolation	0
Downpipe	1
Total	1

Result	PASS
---------------	-------------

Figura 89. Calculadora de fugas en el bajante de escape del postratamiento.

Fuente: AEB 24.62 Attachment A. GCE Cummins

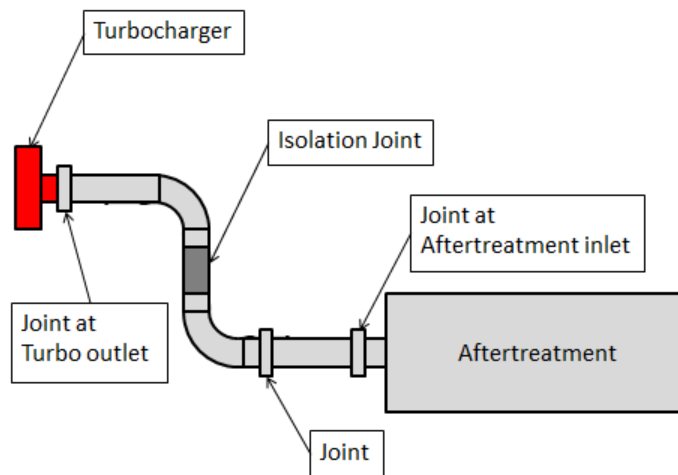


Figura 90. Esquema y leyenda referencial para la determinación de las fugas en el bajante de escape.

Fuente: AEB 24.62 Attachment A. GCE Cummins

En la calculadora de fugas del bajante de escape, se consideran los tipos de juntas usadas en la tubería, y el cual arroja un valor nominal para las fugas posibles. En base a eso, y a la clasificación del motor junto con el diámetro de la tubería, se puede determinar si el diseño satisface el límite permitido de fugas de los gases, como se puede apreciar en la figura 89.

5.4.3 Cálculo del momento de flexión bajo una carga de 1G

La calculadora del momento de flexión presente en el Anexo A del AEB 24.78 calcula el momento de flexión en las juntas de entrada / salida del sistema de postratamiento cuando se aplica una carga de 1G en el tubo conectado. Se calcula el momento flector causado por una carga 1G aplicada perpendicularmente al eje de la junta, así como una carga 1G aplicada en paralelo / a lo largo del eje de la junta. El máximo de los dos momentos de flexión calculados debe considerarse para verificar con los límites especificados.

5.4.3.1 Instalaciones y casos de carga

- § Caso 1: dos finales fijos.
- § Caso 2: Un extremo fijo y un soporte de clavija con / sin una sección sobresaliente en el otro extremo.
- § Caso 3: un solo extremo fijo (viga voladiza).

5.4.3.2 Tipos de apoyos

- § Soporte fijo: soporta la viga contra movimientos horizontales, verticales y giratorios. Ejemplo: la abrazadera de banda en V que soporta un tubo de escape puede considerarse un soporte fijo.
- § Soporte de clavija: soporta la viga solo contra movimientos horizontales y verticales. Ejemplo: la abrazadera de perno en U que soporta un tubo de escape puede considerarse un soporte de clavija.

Para el tipo de soportes o uniones que se tienen en la tubería bajante, entra en la clasificación tipo 1 de la hoja de cálculo de los momentos flectores en las juntas del postratamiento. Según el caso 1, la sección de tubería cae en esta categoría de viga si ambos extremos del tubo son fijos o tienen soportes rígidos. En las figuras 91 y 92, L

es la distancia entre los extremos exteriores del tubo no soportados, midiéndose como se muestra. Para el cálculo, se debe considerar la masa total del tubo (M), el cual contempla la masa de todos los componentes del tubo no soportados incluyendo codos y/o abrazaderas. Los datos calculados en cuanto a las características físicas de las tuberías se especifican en la sección 5.3.3.2.1.

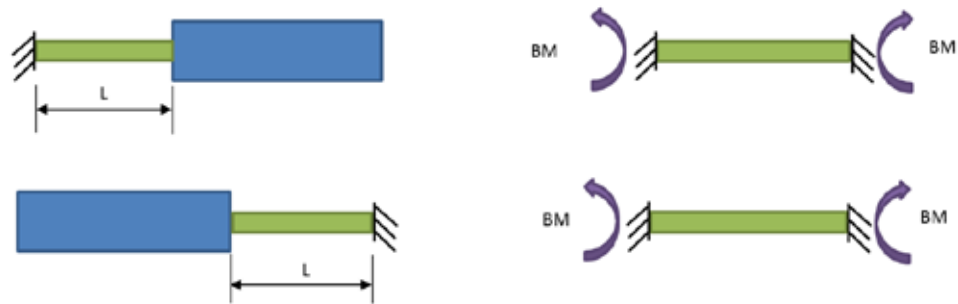


Figura 91. Esquema del dimensionamiento de las tuberías del sistema de postratamiento.

Fuente: CEB00593. GCE Cummins

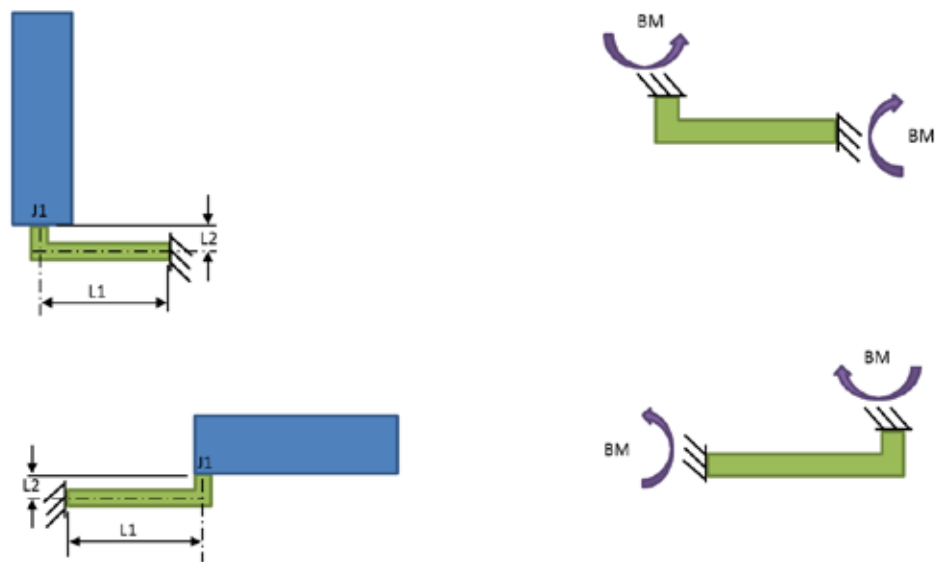


Figura 92. Esquema del dimensionamiento de las tuberías con codos del sistema de postratamiento.

Fuente: CEB00593. GCE Cummins

Para las figuras 91 y 92, los sistemas fijos (componente motor / AT) están representados en azul, y las secciones de tuberías, en verde. En presencia de codos, la longitud de la sección de tubería considerada para el cálculo de los momentos de

flexión puede variar dependiendo de la dirección asumida de la carga de 1G. Es la suma de las longitudes de las secciones de tubos perpendiculares a la dirección de la carga aplicada. Por ejemplo, en la figura 5-76, para hallar el momento de flexión en la junta J1, si la carga 1G se aplica perpendicularmente al eje de J1, la longitud del tubo que se considerará será L2 y si el La carga 1G se aplica paralela al eje de J1, la longitud del tubo que se considerará será L1. Luego de seleccionar l categoría de la aplicación en el documento para la determinación de los momentos flectores de las juntas del sistema de postratamiento, se procede a ingresar los datos conocidos.

Inlet Bending Moment Calculator for EPA 2017 and Natural Gas

Inputs

Inlet Tube Diameter	4 in
Total tubing mass (M), including clamp	7,808 kg
Type of loading case	Case 1
Total tubing length (L) when the assumed direction of 1G loading is parallel	1,05 m
Total tubing length (L) when the assumed direction of 1G loading is perpendicular	0,78 m

Reset

Results

Maximum Bending Moment limit	7 Nm
Bending Moment Calculated under parallel loading	6,702192 Nm
Bending Moment Calculated under perpendicular loading	4,9787712 Nm
Result	PASS

Figura 93. Calculadora de los momentos de flexión en las juntas de la tubería de entrada al sistema de postratamiento.

Fuente: AEB 24.78 Attachment A. GCE Cummins

5.4.4 Procedimiento para la prueba de entrada de agua

Haciendo uso de la Calculadora de entrada de agua de la junta de tubo, Anexo 3 de AEB 21.112 se puede determinar si el diseño del sistema de escape cumplirá con

la tasa máxima admisible de entrada de agua en la junta de tubo. La tasa total de ingreso de agua de la junta del tubo debe incluir todas las juntas verticales en el tubo de escape aguas abajo del postratamiento y debe incluir la junta de salida del postratamiento. Las tasas de ingreso de agua de estilos típicos de abrazadera de tubo de escape, apretados según las especificaciones del fabricante, se muestran en la figura 5-78. Si se utiliza una junta que no está en la tabla, la tasa de ingreso de agua se debe medir usando el Procedimiento de prueba de entrada de agua de la junta del tubo a continuación. El propósito de esta prueba es evaluar la capacidad de un diseño de junta de tubo para limitar la entrada de agua en el sistema de escape.

Clamp Description	Water Ingress Rate per Joint (ml/min)
U bolt clamp with straight slots	190
Narrow band (1.25") Accuseal clamp with straight slots	90
Wide band (3") step clamp with straight slots	80
Narrow band (1.25") Accuseal clamp with Torca slots	50
Wide band (3") step clamp with Torca slots	30
Wide band (3") step clamp with gasket and straight slots	10
Marmon connection	0
Slip joint with preferred direction	0

Table 2

Figura 94. Tabla con las tasas de ingreso de agua máximas permisibles según el tipo de abrazadera y/o junta utilizada.

Fuente: CEB00593. GCE Cummins

5.4.4.1 Directrices

- a) La prueba debe realizarse en frío, sin estar conectada a un motor.
- b) La pieza de prueba se debe ejecutar al comienzo de la vida útil, aunque la especificación de fuga permisible es aplicable durante la vida útil del sistema.
- c) La prueba debe realizarse usando hardware y métodos de producción y ensamblaje.
- d) La prueba se debe realizar en la junta del tubo orientada ya que se instalaría en el vehículo.

5.4.4.2 Equipamiento

a) Anillo de enfriamiento de agua: tubos de diámetro interno de 6.35mm con 12 orificios de 1.5875 mm (1/16 in) de diámetro espaciado uniformemente y que cubran uniformemente al menos 300 grados del tubo. El anillo de enfriamiento de agua se puede usar para evaluar juntas de tubos de 4 "o 5" de diámetro.

§ El anillo y las conexiones y accesorios asociados deben ser capaces de suministrar 2.0 L / min de flujo de agua.

b) Dispositivo de recogida de agua para recoger el agua que se ha permitido entrar en el interior de la tubería.

§ Preciso dentro de un rango de +/- 10 ml.

c) Temporizador para medir la duración de la prueba.

d) Probar la sección de la tubería de 1 m de largo con la junta del tubo a 0,5 m del anillo de enfriamiento. La tubería debe sellarse debajo de la junta del tubo y debe desviar toda el agua al punto de recolección. Soldar una tapa con un agujero de drenaje en la parte inferior del tubo sería un método aceptable.

e) Suministro de agua con una válvula de ajuste de flujo y una válvula de cierre en serie. Asegurarse de que la válvula de ajuste de flujo tenga una resolución adecuada para cumplir con los requisitos de precisión enumerados en la sección de prueba.

f) Manguera flexible de 6.35 mm de diámetro interno para conectar el suministro de agua a ambas válvulas y el anillo de enfriamiento.

g) Un accesorio de prueba capaz de soportar la sección de prueba de la tubería y el anillo de enfriamiento. El dispositivo de prueba no debe soportar la tubería entre el anillo de enfriamiento y la junta del tubo a evaluar.

5.4.4.3 Procedimiento de prueba

a) Configurar el aparato de prueba según la figura de configuración de prueba de entrada de agua.

b) Ceban el sistema abriendo completamente ambas válvulas y asegurándose de que no haya burbujas de aire en el sistema.

- c) Ajustar la posición A de la válvula de ajuste de flujo hasta que el índice de flujo del anillo de enfriamiento sea de 2.0 L/min +/- 0.1 L/min. Esta válvula permanece en esta posición durante el resto de la prueba. Verificar la velocidad de flujo utilizando un cubo de recolección o medidor de flujo con una precisión de +/- 0.1 L/min.
- d) Cerrar la válvula de cierre B.
- e) Fijar la unión del tubo por métodos de ensamblaje de producción.
- f) Abrir completamente la válvula de cierre B y rocíe la junta del tubo por 5 minutos, luego cierre la válvula de cierre B y deje que el sistema repose durante 1 minuto para asegurarse de que toda el agua haya llegado al punto de recolección.
- g) Medir el agua recolectada por el dispositivo de recolección.
- h) Repetir la medición (pasos 6-7) 5 veces.
- i) Volver a verificar la velocidad de flujo del anillo de enfriamiento utilizando un cubo de recolección o medidor de flujo con una precisión de +/- 0.1 L / min. La velocidad de flujo debe ser igual a 2.0 L / min +/- 0.1 L / min o la prueba se repite.
- j) El agua recolectada para cada una de las pruebas de 5 minutos debe calcularse para obtener una tasa de ingreso de agua en unidades de "ml / min" para cada prueba. La tasa de ingreso de la junta del tubo se define como el valor más alto medido.

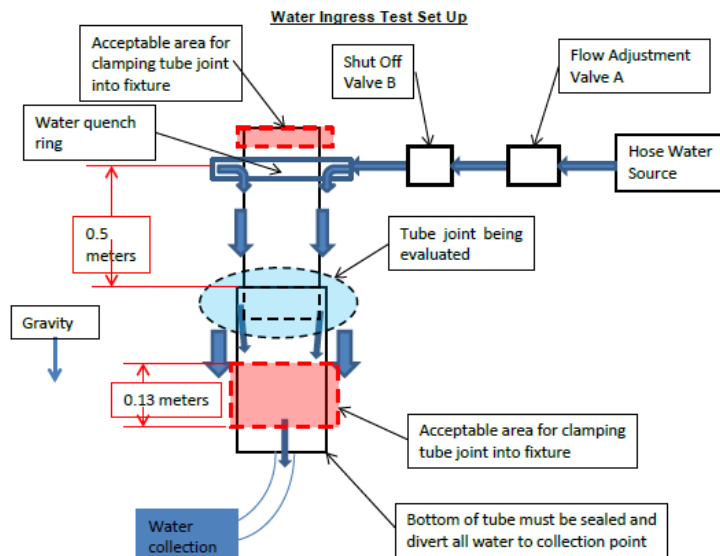


Figura 95. Esquema del proceso a realizar para la prueba de ingreso de agua.

Fuente: CEB00593. GCE Cummins

Tube Joint Water Ingress Calculator	
OEM Name	ExampleOEM
OEM Vehicle Model	ExampleVehicle
Exhaust Tubing Diameter (in)	4
Number of Vertical Tube joints	3
Joint Number	Clamp Description
1	Marmon connection
2	Marmon connection
3	Marmon connection
4	None
5	None
6	None
7	None
8	None
9	None
10	None
<input type="button" value="Calculate"/>	

Figura 96. Introducción de la calculadora del ingreso de agua de las juntas de los tubos donde se seleccionan los tipos de abrazaderas o uniones usadas en el sistema.

Fuente: AEB 21.112 Attachment 3. GCE Cummins

Tube Joint Water Ingress Calculator Results		
OEM Name	ExampleOEM	
OEM Vehicle Model	ExampleVehicle	
Exhaust Tubing Diameter (in)	4	
Number of Vertical Tube joints	3	
Joint Number		Water Ingress Rate (ml/min)
	Marmon connection	0
	Marmon connection	0
	Marmon connection	0
Total Estimated Water Ingress (ml/min):		0
Water Ingress Specification (ml/min):		100
Pass/Fail/Test Required:		Passed
Additional Notes:		
Calculation Completed On:		8/8/18 1:07 AM
Revision Information:	Version 0.0	

Figura 97. Resultado directo de la calculadora de ingreso de agua donde indica el ingreso de agua teórico por el tipo de uniones utilizadas.

Fuente: AEB 21.112 Attachment 3. GCE Cummins

5.4.5 Temperatura del tanque de DEF

La medición de la temperatura del tanque de fluido de escape diésel es una prueba realizada para comprobar el correcto funcionamiento de las líneas de calefacción, las mangueras de circulación Del DEF, el correcto funcionamiento de la válvula de control de paso del refrigerante del motor, y todo lo relacionado al sistema de dosificación del postratamiento. Es una prueba realizada en base a la medición de diferentes temperaturas en el sistema y que también involucra a la del ambiente.

Application	Power	Engine
School Bus	CMI	B6.7
Test Type	Type 1: Mobile Chassis Dyno	
Test Date	7/8/2018	
Coolant Valve Functionality Confirmed?	Yes	
Test Measurements	Test value	Unit
Torque Peak Fuel Consumption	31,8	kg/hr
DEF Tank Capacity	10	gal
Initial Global Ambient	25	°C
DEF Tank Level at Test Start	100%	%
DEF Tank Level at Test End	98%	%
DEF Tank Initial Temperature	25	°C
DEF Tank Final Temperature	25	°C
DEF Tank Ambient Initial Temperature	25	°C
DEF Tank Ambient Final Temperature	25	°C
Test Duration	10	min
dT/dt (Test)	0,00	°C/ hr
DEF Consumption Factor	0,037	--
Torque Peak Dosing Rate	1,177	kg/hr
Time to Consume DEF @ Estimated Avg Rate	104,914	hrs
Projected Time to hit 65 °C	#iDIV/0!	hrs
Overall Test Result	Pass	

Figura 98. Resultado de la prueba de temperatura del tanque de DEF con datos empíricos.

Fuente: CEB00593 Attachment B. GCE Cummins.

Tabla 7. Resumen de las pruebas realizadas en el sistema de postratamiento.

Fuente: Esteves, A.

RESULTADO DE LAS PRUEBAS REALIZADAS EN EL SISTEMA DE POSTRATAMIENTO				
N°	Nombre de la prueba o evaluación	Requisito	Resultado obtenido	Resultado
1	Medición de la caída de temperatura desde el punto de conexión del motor a la entrada del postratamiento.	(corregida)	T = 22 °C	PASADA (Ref. figura 5-71)
2	Método de prueba para medir la tasa de fuga del bajante. Salida del turbo a entrada de postratamiento.	1 pie ³ /min	0,5 pie ³ /min	PASADA (Ref. figura 5-73)
3	Procedimiento de prueba de entrada de agua.	Máx. 100 ml/min	0	PASADA (Ref. figura 5-80)
4	Cálculo del momento de flexión bajo una carga de 1G.	M _{máximo} = 7 Nm	Horizontal = 6,702 Nm Vertical = 4,979 Nm	PASADA (Ref. figura 5-77)
5	Temperatura del tanque DEF.	Pasar la prueba en general	-----	PASADA (Ref. figura 5-81)

CONCLUSIONES

La contaminación ambiental es uno de los grandes problemas de la humanidad hoy en día. Las emisiones generadas por los motores de combustión interna, especialmente los motores diésel, son una de las principales causas del calentamiento global debido al efecto invernadero que producen estos gases. En vista de ello, los gobiernos se han visto en la necesidad de crear agencias reguladoras de emisiones, con el fin de hacer frente a este problema, imponiendo normativas y estándares de emisiones sobre los fabricantes de motores y fábricas de vehículos alrededor del mundo. Dichos estándares, definen las cantidades máximas permitidas de emisiones de los distintos componentes que conforman a los gases de escape, y constantemente son renovados con la finalidad de disminuir progresivamente el impacto ambiental.

Los fabricantes, ajustándose a los estándares de emisiones de las agencias reguladoras, producen motores cada vez más eficientes y con sistemas que de alguna manera alteran la composición de los gases de escape para hacerlos menos nocivos. Ejemplo de ello es la implementación del sistema de recirculación de gases de escape del motor (EGR) y el sistema de postratamiento. Ambos tienen funciones diferentes pero con la misma finalidad de disminuir el impacto ambiental que generan estos gases. En el caso del sistema de postratamiento, hay una serie de variables a considerar para el diseño y/o implementación de éste en un vehículo, por el cual este trabajo ha sido realizado para tal fin. En vista de eso, es necesario manejar una diversidad de conocimientos especializados en el área o en su defecto tener la documentación necesaria para llevar el trabajo o proyecto a cabo.

Cummins, Inc. exige el cumplimiento debido de todas las normativas o requisitos para el diseño, montaje o implementación del sistema de postratamiento, y posterior a ello realizar diversas evaluaciones para aprobar el sistema y comprobar el correcto funcionamiento de éste para ingresar al territorio norteamericano. Dando cumplimiento a lo establecido en los llamados boletines de ingeniería,

proporcionados por Cummins, Inc. y elaborados el equipo de ingenieros en el área, se ha podido llevar a cabo la implementación de este sistema, que abarca desde tópicos propios de química y mecánica, hasta sistemas eléctricos, electrónicos y sensores. Desde los procesos químicos llevados a cabo en el interior del convertidor catalítico y los elementos necesarios para ello, como la dosificación de urea acuosa a una cierta temperatura, hasta la selección de los materiales de las tuberías del sistema, estudios relacionados a los momentos generados, caídas de temperatura, posición y limpieza y mantenimiento del mismo, son algunas de las directrices consideradas para el correcto funcionamiento del sistema tal cual se establece en los documentos previamente mencionados.

RECOMENDACIONES

Se recomienda en lo mayor posible poseer los conocimientos técnicos necesarios para la buena interpretación de la información plasmada en los documentos de ingeniería para la implementación del sistema, así como el debido cumplimiento de éstos para la buena operatividad del sistema. Así mismo, es recomendable consolidar un equipo de trabajo capacitado que ayude en las labores de estructuración del sistema de postratamiento.

Al ser un gran problema mundial el asunto de la contaminación ambiental por las emisiones contaminantes de los motores de los vehículos, se debe implementar sistemas de este tipo en todos los vehículos ensamblados a nivel mundial para disminuir el impacto que éstos generan al ambiente.

En lo que respecta a la evaluación del sistema, es recomendable realizar un diseño inicial del sistema de postratamiento en el vehículo donde éste se va a implementar con el fin de predecir el estado o comportamiento final y tomar las previsiones al respecto, usando softwares modernos en el ámbito de cada área técnica que abarque el sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gallego F. (2015). *Estudio bibliográfico del tratamiento de gases de escape en motores de combustión interna alternativos*. Universidad de Sevilla. Sevilla, España.
- Arroba L, Jiménez D (2012). *Implementación de un sistema de tratamiento de gases de escape mediante inyección de aire en un vehículo a gasolina*. Riobamba, Ecuador.
- Cummins Emissions Solutions, Cummins Inc. (2016). *Single Module Aftertreatment System Brochure*. Columbus, IN. U.S.A.
- Cummins Filtration, Cummins Inc. (2009). *Fluido para Sistemas de Escape a Diesel (DEF), Preguntas y Respuestas*. Columbus, IN. U.S.A.
- Cummins Emissions Solutions, Cummins Inc. (2016). *EPA 2017 Aftertreatment Systems*. Columbus, IN. U.S.A.
- Global Customer Engineering, Cummins Inc (2018). *AEB 21.167. Automotive, Bus and Industrial Single Module Installation Requirements*. Columbus, IN. U.S.A.
- Global Customer Engineering, Cummins Inc (2018). *AEB 24.74. UL2 Dosing System Aftertreatment Installation Requirements*. Columbus, IN. U.S.A.
- Global Customer Engineering, Cummins Inc (2018). *CEB00593. Aftertreatment Test Methods and Procedures*. Columbus, IN. U.S.A.
- Cummins Emissions Solutions, Cummins Inc. (2014). *CES Aftertreatment Datasheet EPA 2017*. Columbus, IN. U.S.A.
- Romanello, D. (2018). *Clases de corrosión. Módulo 1, velocidad de corrosión*. Universidad José Antonio Páez. San Diego, Edo. Carabobo, Venezuela.
- Atikah, N, Jalar A, Izhar M, Kamil N. (2014). *Effect of High Temperature Corrosion on Austenitic Stainless Steel Grade 304 in CO₂ Gas at 700°C*. Universiti Kebangsaan Malaysia, Selangor, Malasia.

Zhanga X, Zevenbergen J.F, Spruijta M.P.N. Borysb M. (2013). *Corrosion of Pipe Steel in CO₂ Containing Impurities and Possible Solutions*. TNO, Bevesierweg, 1780 AM Den Helder, Países Bajos.

LINKOGRAFÍA

- Wikipedia. *Control de emisiones vehiculares.* Link:
https://es.wikipedia.org/wiki/Control_de_emisiones_vehiculares
- Autosoporte. *Control de emisiones de los gases de escape en motores diésel.* Link:
<http://www.autosoporte.com/blog-automotriz/item/408-control-de-emisiones-de-los-gases-de-escape-motores-diesel>
- TYT. *Motores EPA y Euro, emisiones responsables.* Link:
<http://tyt.com.mx/reportajes/motores-epa-y-euro-emisiones-responsables/>
- EPA en español. *Implementación de las leyes y normas sobre el aire.* Link:
<https://espanol.epa.gov/espanol/implementacion-de-las-leyes-y-normas-sobre-el-aire>
- Slideshare. *Catalizador y sonda.* Link: <https://es.slideshare.net/IramAbif/catalizador-y-sonda>
- Aficionados a la mecánica. *Catalizadores.* Link:
<http://www.aficionadosalamecanica.net/catalizadores.htm>
- Definición. *Catalizador.* Link: <https://definicion.de/catalizador/>
- Apuntes científicos. *Catálisis.* Link: apuntescientificos.org/catalisis-ibq2.html
- Wikipedia. *Catálisis.* Link: <https://es.wikipedia.org/wiki/Catálisis>
- Nervion. *Oxidación.* Link: www.nervion.com.mx/web/conocimientos/oxidacion.php
- Definición ABC. *Oxidación.* Link:
<https://www.definicionabc.com/ciencia/oxidacion.php>
- Clases de química. *Qué es la reducción.* Link:
clasesdequimica.blogspot.com/2011/05/que-es-la-reduccion.html
- Revista Cesvimap. *Control de emisiones contaminantes en Europa y estados Unidos.*
Link: <http://www.revistacesvimap.com/control-de-emisiones-contaminantes-en-europa-y-estados-unidos/>

El ambiente ron. *La contaminación, tipos de contaminación y causas*. Link:
<https://elambienteron.wordpress.com/2011/08/20/la-contaminacion-tipos-de-contaminacion-y-causas/>

Wikipedia. *Control de emisiones vehiculares*. Link:
https://es.wikipedia.org/wiki/Control_de_emisiones_vehiculares

Wikipedia. *Normativa europea sobre emisiones*.
 Link.https://es.wikipedia.org/wiki/Normativa_europea_sobre_emisiones

Definición. *Emisión*. Link: <https://definicion.de/emision/>

Definición ABC. *Emisión*. Link: <https://www.definicionabc.com/general/emision.php>

NGK. Sondas Lambda. *Aspectos básicos de los gases de escape. Gases de escape y gases contaminantes*. Link: <https://www.ngk.de/es/tecnologia-en-detalle/sondas-lambda/aspectos-basicos-de-los-gases-de-escape/gases-de-escape-y-gases-contaminantes/>

Concepto definición. *Inocuo*. Link: conceptodefinicion.de/inocuo/

Heraldo. *Novedoso sistema de manipulación del postratamiento de los gases contaminantes*. Link:
<https://www.heraldo.es/noticias/aragon/2017/09/04/detectado-novedoso-sistema-manipulacion-postratamiento-gases-contaminantes-1194975-300.html>

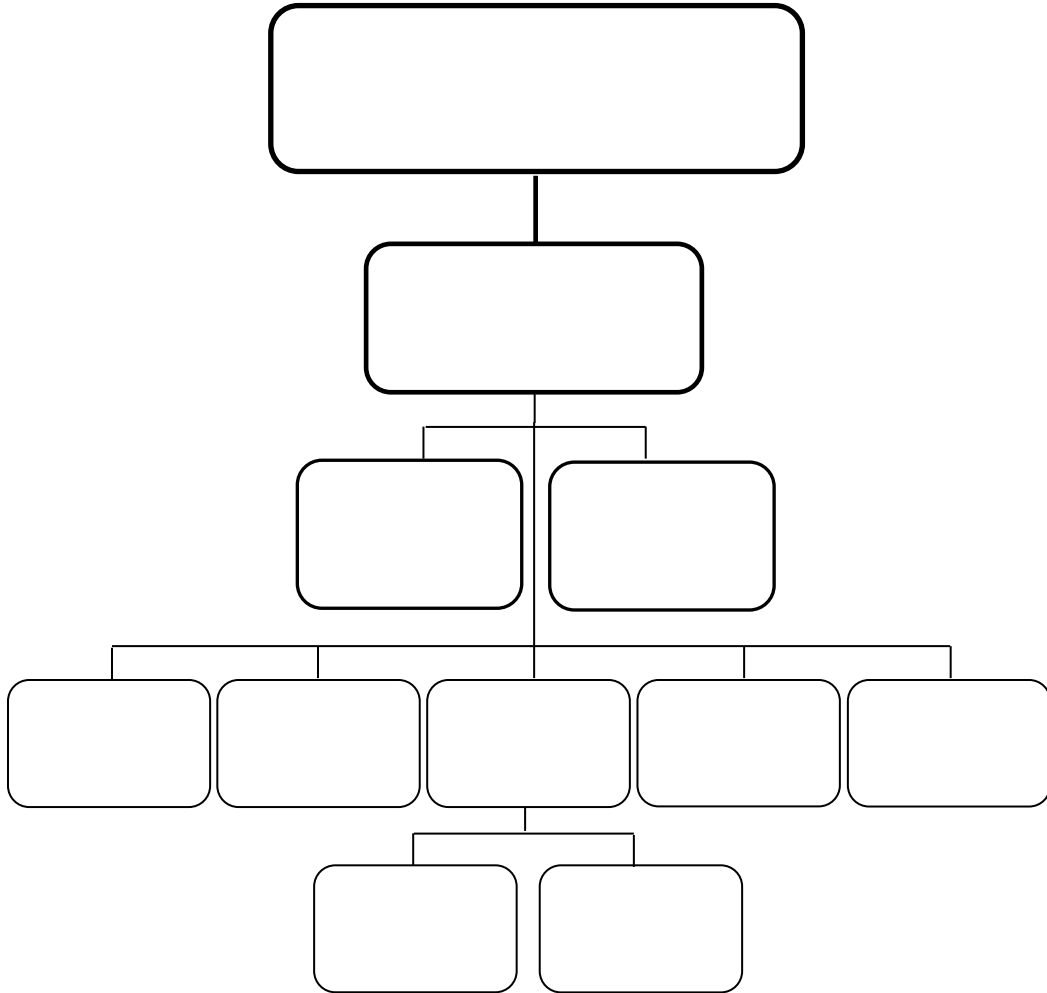
Tispain. *La fuerza G, qué es y cómo actúa*. Link:
<https://www.tispain.com/2011/06/la-fuerza-g-que-es-y-como-actua.html> - Te interesa

Slideshare. *Diagrama de fuerza cortante y momento flexionante*. Link:
<https://es.slideshare.net/vlspmeso/diagrama-de-fuerza-cortante-y-momento-flexionante-39461303>

Global Customer Engineering. B6.7 EPA 2017 Aftertreatment Systems. Link:
https://gce.cummins.com/ces/ces_doem/epa-2017/epa-2017_ISB.html

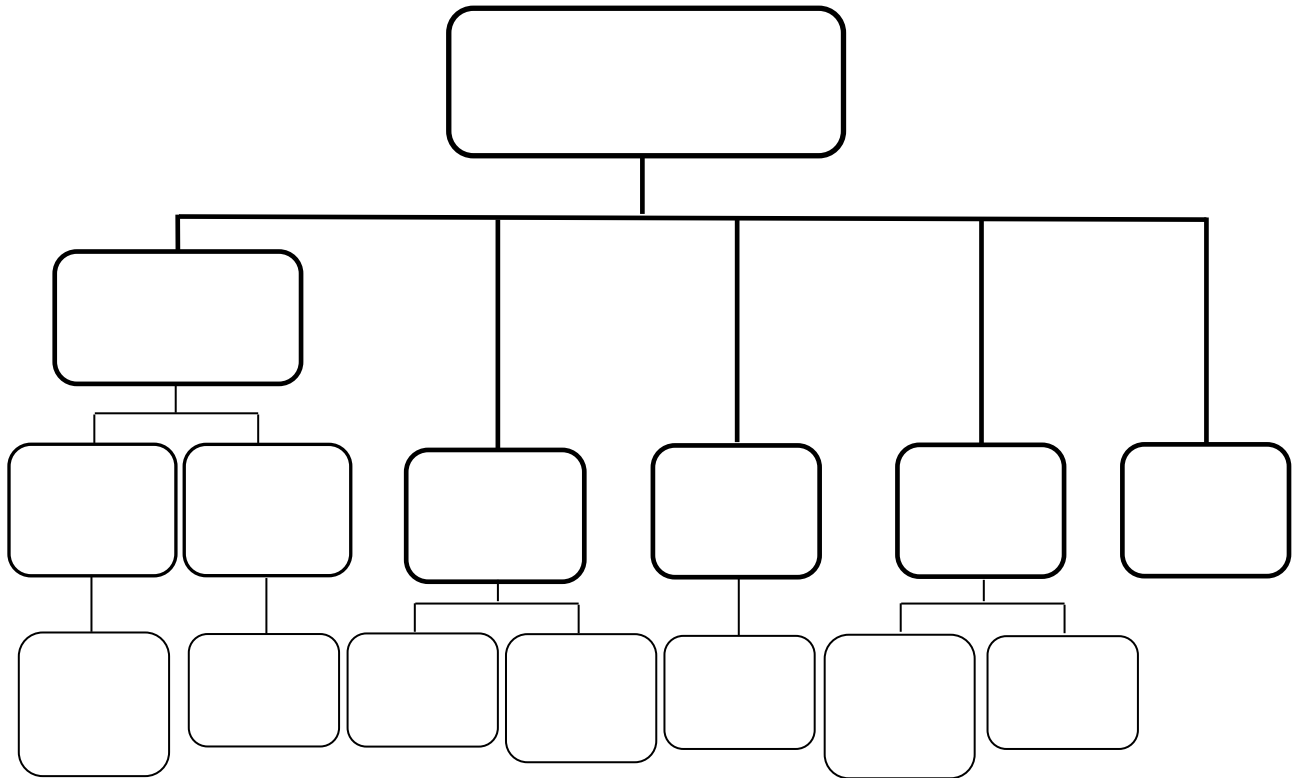
ANEXOS

ANEXO A



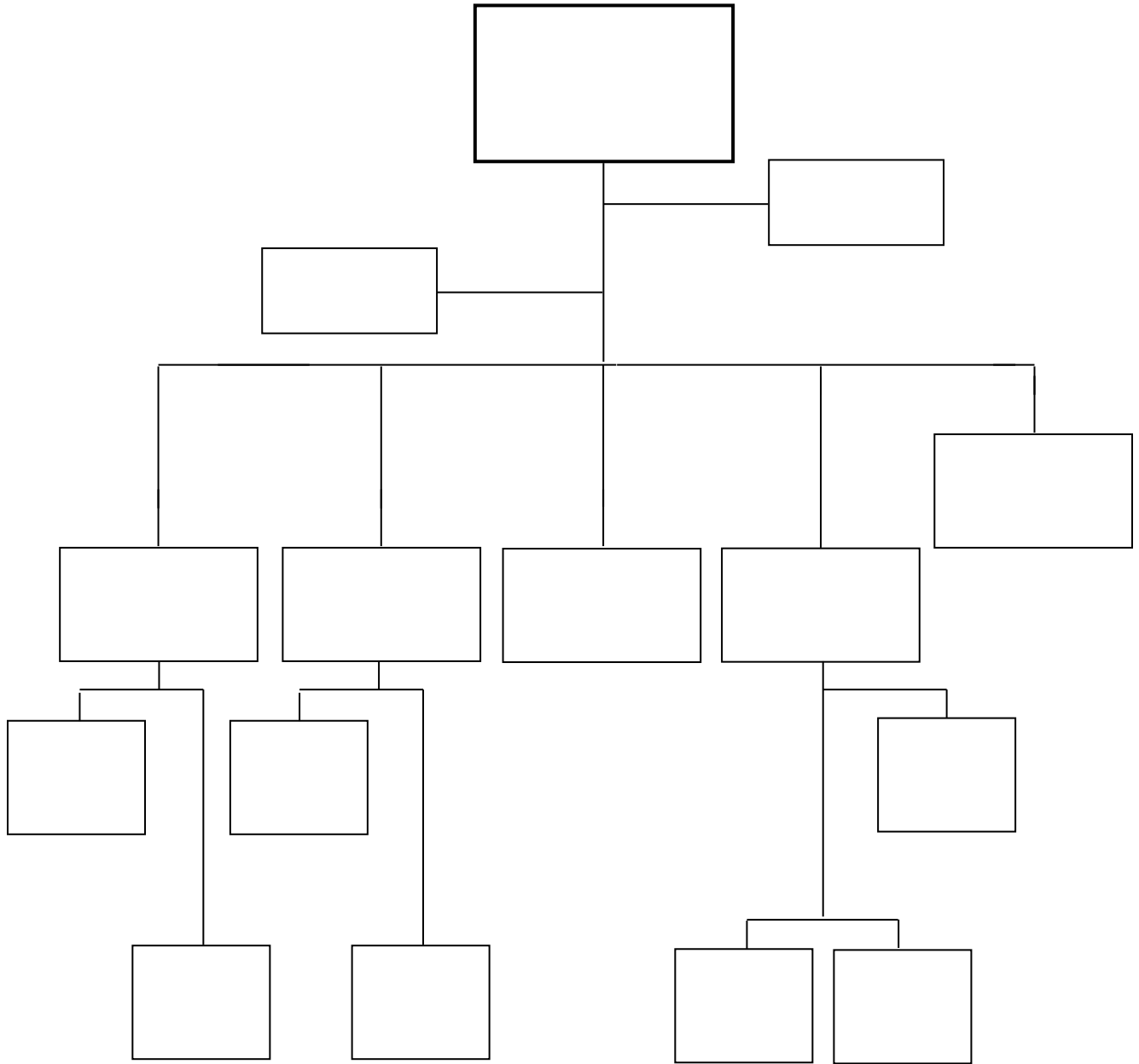
Organigrama general de la empresa ENCAVA, C.A.

ANEXO A (CONTINUACIÓN)



Organigrama general de la empresa ENCAVA, C.A. (continuación).

ANEXO B



Organigrama del departamento de ingeniería de la empresa ENCAVA, C.A.

ANEXO C

	Engine Performance Data Cummins Inc. Columbus, Indiana 47202-3005 http://www.cummins.com	Automotive B6.7 Engine Family Datasheet	Configuration D313029BX03	Revision 14-Dec-2016

Number of Cylinders: 6	Bore: 107 mm (4.21 in)
Displacement: 6.7 L (408 in3)	Stroke: 124 mm (4.88 in)
Aspiration: Turbocharged Charge Air Cooled and EGR	

General Engine Data

Approximate Engine Weight - Dry	1150 lbm	522 kg
Approximate Engine Weight - Wet	1206 lbm	547 kg
Mass moment of inertia of rotating components (excluding flywheel)	0.32 In-lbf-sec ²	0.036 kg-m ²
Maximum allowable installed engine power angle	6 deg	6 deg
Maximum allowable installed engine tilt angle	6 deg	6 deg

Approved for applications up to 3658 m (12000 ft). Electronic derate may be applied before this point.

Engine Mounting System

Center of gravity from front face of block	15.55 in	395 mm
Center of gravity above crankshaft centerline	6.34 in	161 mm
X moment of inertia of complete engine (Roll)	284 In-lbf-sec ²	32.1 kg-m ²
Y moment of inertia of complete engine (Pitch)	555 In-lbf-sec ²	62.7 kg-m ²
Z moment of inertia of complete engine (Yaw)	436 In-lbf-sec ²	49.2 kg-m ²
Maximum intermittent crankshaft thrust bearing load	850 lbf	3781 N
Maximum continuous crankshaft thrust bearing load	400 lbf	1779 N
Maximum torque available from the front of the crankshaft without side load	300 lb-ft	407 N-m
Maximum static mounting surface bending moment at rear face of block	1000 lb-ft	1356 N-m
Maximum static mounting surface bending moment at bolt pad for front support	320 lb-ft	434 N-m

Intake Air System

Maximum intake air restriction (heavy duty air cleaner) for a dirty filter measured in a 127 mm (5 in) diameter pipe: 6.2 kPa (25 in H₂O)
 Maximum intake air restriction (heavy duty air cleaner) for a clean filter measured in a 127 mm (5 in) diameter pipe: 2.5 kPa (10 in H₂O)

Exhaust System

Maximum exhaust temperature after aftertreatment system during active regen	1112 deg F	600 deg C
Maximum exhaust flow rate during active regen	1763 ft ³ /min	841 L/s
Maximum exhaust temperature after aftertreatment system during stationary regen	1112 deg F	600 deg C
Maximum exhaust flow rate during stationary regen	350 ft ³ /min	165 L/s

Cooling System

Minimum operating block coolant temperature	158 deg F	70 deg C
Minimum fill rate	3 gpm	11 L/min
Minimum pressure cap rating	15 psi	103 kPa
Minimum coolant expansion space: 6 % of system capacity		
Maximum coolant expansion space: 12 % of system capacity		
Maximum deaeration time: 25 min		
Minimum drawdown: at least 1 % of total system volume greater than the volume not filled at initial fill, but no less than 5 % of total system volume		
Maximum external coolant flow to all accessories is 68 L/min (18 gpm) at 2600 RPM		
Full-ON fan engine coolant outlet temperature	210 deg F	98.9 deg C
Full-ON fan charge air cooler outlet temperature	150 deg F	66 deg C
Winter fronts - must not restrict air passage area below	60 in ²	387 cm ²
Coolant capacity - engine only	12.5 quarts	11.8 L
Engine coolant circuit thermostat opening temperature	190 deg F	88 deg C
Engine coolant circuit thermostat fully open temperature	207 deg F	97 deg C

Lubrication System

Maximum lube oil flow to all accessories	2 gpm	7.57 L/min
Total system capacity (standard pan)	4.25 gal	16.09 L

Hoja de datos de la familia del motor usado en el vehículo en estudio.

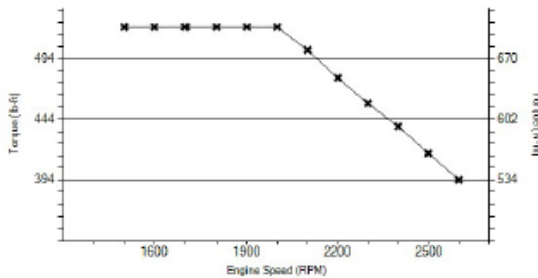
ANEXO D

	Engine Performance Data Cummins Inc Columbus, Indiana 47202-3005 http://www.cummins.com	Automotive B6.7 200 FR94732	200 hp (148 kW) @2400 rpm 620 lb-ft (708 N-m) @ 1800 rpm	
			Configuration D313029BX03	CPL Code 4569

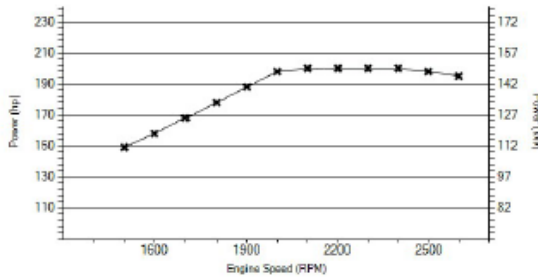
Compression Ratio: 20 :1	Displacement: 6.7 L (408 in3)
Fuel System: Bosch HPCR	Aspiration: Turbocharged Charge Air Cooled and EGR

Emission Certification
Rating Types

CARB 2017, EPA 2017
Truck



Torque Output		
RPM	lb-ft	N-m
1500	520	705
1600	520	705
1700	520	705
1800	520	705
1900	520	705
2000	520	705
2100	501	679
2200	478	648
2300	457	620
2400	438	594
2500	418	564
2600	394	534



Power Output		
RPM	hp	KW
1500	149	111
1600	158	118
1700	168	125
1800	178	133
1900	188	140
2000	198	148
2100	200	149
2200	200	149
2300	200	149
2400	200	149
2500	198	148
2600	195	145

Curves shown above represent gross engine performance capabilities obtained and corrected in accordance with SAE J1995 conditions of 100 kPa (29.61 in Hg) barometric pressure [91 m (300 ft) altitude], 25 deg C (77 deg F) inlet air temperature, and 1 kPa (0.30 in Hg) water vapor pressure with No. 2 diesel fuel.

All data based on the engine operating with fuel system, water pump, lubricating oil pump, air compressor (unloaded) and with inlet restriction and exhaust restriction at or below datasheet limits. Not included are alternator, fan, optional equipment and driven components.

Intake Air System

Maximum allowable air temperature rise between ambient air and engine air inlet 20 delta deg F 11.1 delta deg C

Cooling System

Maximum coolant temperature - engine out 225 deg F 107 deg C

Maximum coolant pressure (exclusive of pressure cap; closed thermostat at maximum no load speed) 31.8 psi 219 kPa

Minimum cooling capability at nominal fuel rate [Level II] with 24 km/hr (15 mile/hr) ram air speed and 50/50 ethylene glycol/water by volume

Engine out coolant to ambient at 2400 RPM is 66.1 delta deg C (119 delta deg F)

Engine out coolant to ambient at 1600 RPM is 71.1 delta deg C (128 delta deg F)

Charge air cooler outlet to ambient at 2400 RPM is 21.1 delta deg C (38 delta deg F)

Maximum allowable pressure drop across charge air cooler and OEM CAC piping (CACDP) 4 in-Hg 13.5 kPa

Maximum coolant temperature for engine protection controls 235 deg F 113 deg C

Exhaust System

Maximum exhaust back pressure measured in a 102 mm (4 in) diameter pipe: 26 kPa (7.6 in-Hg)

Fuel System

Engine fuel compatibility (consult Service Bulletin #3379001 for appropriate use of other fuels) B20,ULSD

ANEXO D (CONTINUACIÓN)

Performance Data

Maximum low idle speed: 900 RPM

Minimum low idle speed: 700 RPM

Nominal no load governed speed: 2800 RPM

Maximum overspeed capability: 4200 RPM

Torque available at clutch engagement

400 lb-ft

542 N-m

Turbo model: HE300

Turbo frame size: Medium-V-Band

	Governed Power	Maximum Power	Peak Torque
Engine Speed	2600 RPM	2400 RPM	1600 RPM
Output Power	145 kW (195 hp)	149 kW (200 hp)	118 kW (158 hp)
Torque	534 N-m (394 lb-ft)	594 N-m (438 lb-ft)	705 N-m (520 lb-ft)
Turbo Comp. Outlet Pressure	122 kPa (36 in-Hg)	122 kPa (36 in-Hg)	113 kPa (33 in-Hg)
Turbo Comp. Outlet Temperature	130 deg C (266 deg F)	129 deg C (264 deg F)	129 deg C (264 deg F)
Inlet Air Flow	205 L/s (434 ft ³ /min)	190 L/s (403 ft ³ /min)	123 L/s (261 ft ³ /min)
Charge Air Flow	14.2 kg/min (31.3 lb/min)	13 kg/min (29 lb/min)	9 kg/min (19 lb/min)
Exhaust Gas Flow	427 L/s (905 ft ³ /min)	407 L/s (862 ft ³ /min)	275 L/s (583 ft ³ /min)
Exhaust Gas Temperature	415 deg C (779 deg F)	423 deg C (793 deg F)	399 deg C (750 deg F)
Heat Rejection to Coolant	104 kW (5914 BTU/min)	102 kW (5501 BTU/min)	78 kW (4436 BTU/min)
Radiator Coolant Flow*	3.8 L/s (59.4 gpm)	3.5 L/s (54.7 gpm)	2.3 L/s (36.1 gpm)
Fuel Consumption	31.8 kg/hr (70.1 lb/hr)	31.5 kg/hr (69.4 lb/hr)	23.3 kg/hr (51.4 lb/hr)
Brake Mean Effective Pressure	1007 kPa (146 psi)	1117 kPa (162 psi)	1324 kPa (192 psi)

*Radiator Coolant Flow is approximately 5% less with a continuously deaerating system.

Cranking System (Cold Starting Capability)

Minimum ambient temperature for unaided cold start

10 deg F

-12.2 deg C

Change Log

ANEXO E



Application Engineering Bulletin

Title: UL2 Dosing System Aftertreatment Installation Requirements	This AEB is for the following applications: <input checked="" type="checkbox"/> Automotive <input checked="" type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Marine <input type="checkbox"/> G-Drive <input type="checkbox"/> Genset <input type="checkbox"/> Filtration <input checked="" type="checkbox"/> Emission Solutions
Date: 24 July 2017	Refer to CEB00044 for Safety Practices, Guidelines and Procedures
Engine models included: Industrial Tier 4 Final / EU Stage IV QSG12 ; Automotive 2017 EPA X15, L9 (non-transit) & B6.7 Automotive 2018 EPA X12 Industrial EU Stage V / Tier 4 Final B6.7 (D313032CX03) Industrial EU Stage V / Tier 4 Final L9 (D563026CX03) Automotive X15 Euro VI (D103018BX03)	
Owner: Kyle Lindenman	Approver: per Procedure GCE-AS-1
Page 1 of 57	

This AEB supersedes AEB 24.74 dated [10 October 2016](#).

The objective of this Application Engineering Bulletin (AEB) is to present design guidelines, recommendations, and requirements for the UL2 aftertreatment dosing system used in some [industrial Tier 4 Final / EU Stage IV](#) applications as well as, [industrial EU Stage V / Tier 4 Final B6.7 and L9](#) and [automotive truck and bus](#) applications for 2017, 2018, and Euro VI models. This bulletin should be used by OEMs to assist in equipment design but is not a substitute for validation of equipment systems. Revisions to this bulletin are anticipated as experience is gained. The aftertreatment component installation information will be available in the AEBs referenced in the Aftertreatment AEB Matrix below.

Industrial applications only:

Failing to follow these instructions when installing a certified engine in a piece of Nonroad equipment violates U.S. federal law (40 CFR 1068.105(b)), subject to fines or other penalties as described in the Clean Air Act. Revisions to this bulletin are anticipated as experience is gained.

Automotive B6.7, L9, X12 and X15 applications only:

On Board Diagnostics (OBD) Requirements – HD OBD

The following components are HD OBD regulated. The OEM supplied OBD components are the responsibility of the OEM to implement and install according to the HD OBD Requirements specified in this document. See CEB00406: "Emission Compliance: On Board Diagnostics (OBD) Master Document – HD OBD" for a list of all AEB/CEB documents that have HD OBD Requirements.

Cummins Internal Use Only: This information is labeled per CORP-00-24-00-00.

ANEXO F



Customer Engineering Bulletin

Title: Industrial Stage V Aftertreatment Electronic Technical Package	This CEB is for the following applications: <input type="checkbox"/> Automotive <input checked="" type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Marine <input type="checkbox"/> G-Drive	
Date: 1 November 2017	Refer to CEB00044 for Safety Practices, Guidelines and Procedures	CEB Number: 00514
Engine models included: Stage V - F3.8 (74hp), F3.8 (>75hp), B4.5, B6.7 and L9		
Owner: Joseph Samples	Approver: per Procedure GCE-AS-1	Page 1 of 51

This CEB supersedes CEB00514 dated 30 August 2017.

Installation Requirements

Electronic components are integrated into the Cummins aftertreatment system to satisfy emissions regulations for Stage V. To obtain Cummins concurrence with an installation, the following requirements must be met for the aftertreatment system.

Harness Routing Requirements

1. No portion of the wiring harness shall come within 25 mm (1 in) of the surface of the aftertreatment assembly and each harness must be supported to maintain routing away from the catalyst metal can surface.
2. Any harness bend must not disrupt the integrity of the of the wire seals in the connector body and any bend radius should be greater than or equal to 3 times the bundle diameter.
3. Each harness must be supported/secured to minimize relative movement at the connector body. The first contact point must be within 6 inches of the connector.
4. Please refer to CEB00515 for guidelines on the OEM Harness.

Note: In addition to wire and connector seals, for additional protection against moisture intrusion and vibration, please refer to the AEBs / CEBs in the Reference documents for use of backshell, boot or similar protective connector accessory.

Operator Interface Requirements

1. In addition to Engine related lamps, the following aftertreatment specific lamps that are mandatory must be installed such that machine operator can visibly see the lamps from all operating stations:

Exhaust System Cleaning Lamp	Optional
High Exhaust System Temperature (HEST) Lamp	Optional
Exhaust System Cleaning Disabled (Inhibit) Lamp	Optional
Diesel Exhaust Fluid lamp	Mandatory
Diesel Exhaust Fluid Level Gauge	Mandatory

Note: Tier 4 Final compatible displays are compatible with Stage V interface requirements, please refer to CEB00503 Attachments A and B for more information.

Internal Use Only - For business use only by employees and authorized non-Cummins entities with a need to know basis per CORP-00-24-00-00.

Revision 05, 1 November 2017

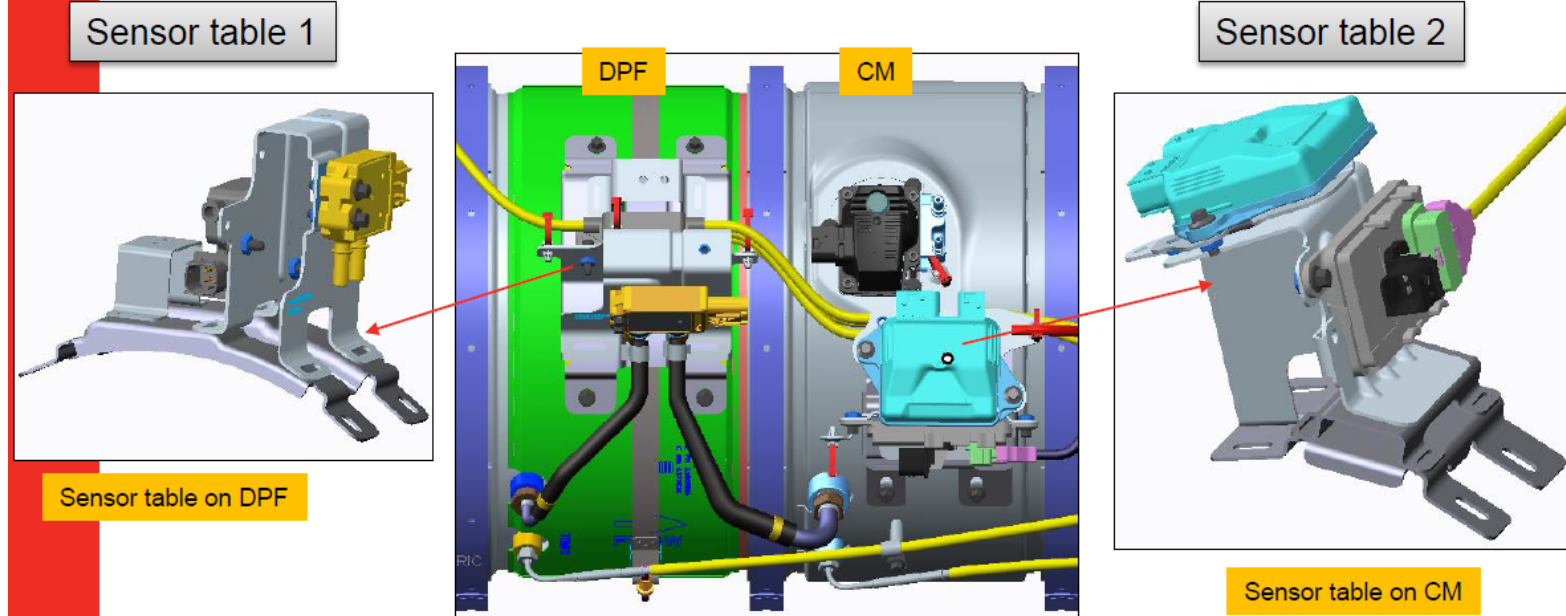
Page 1 of 51

© Copyright 2017 Cummins Inc.

Boletín de ingeniería del cliente de Cummins número CEB 00514.

ANEXO G

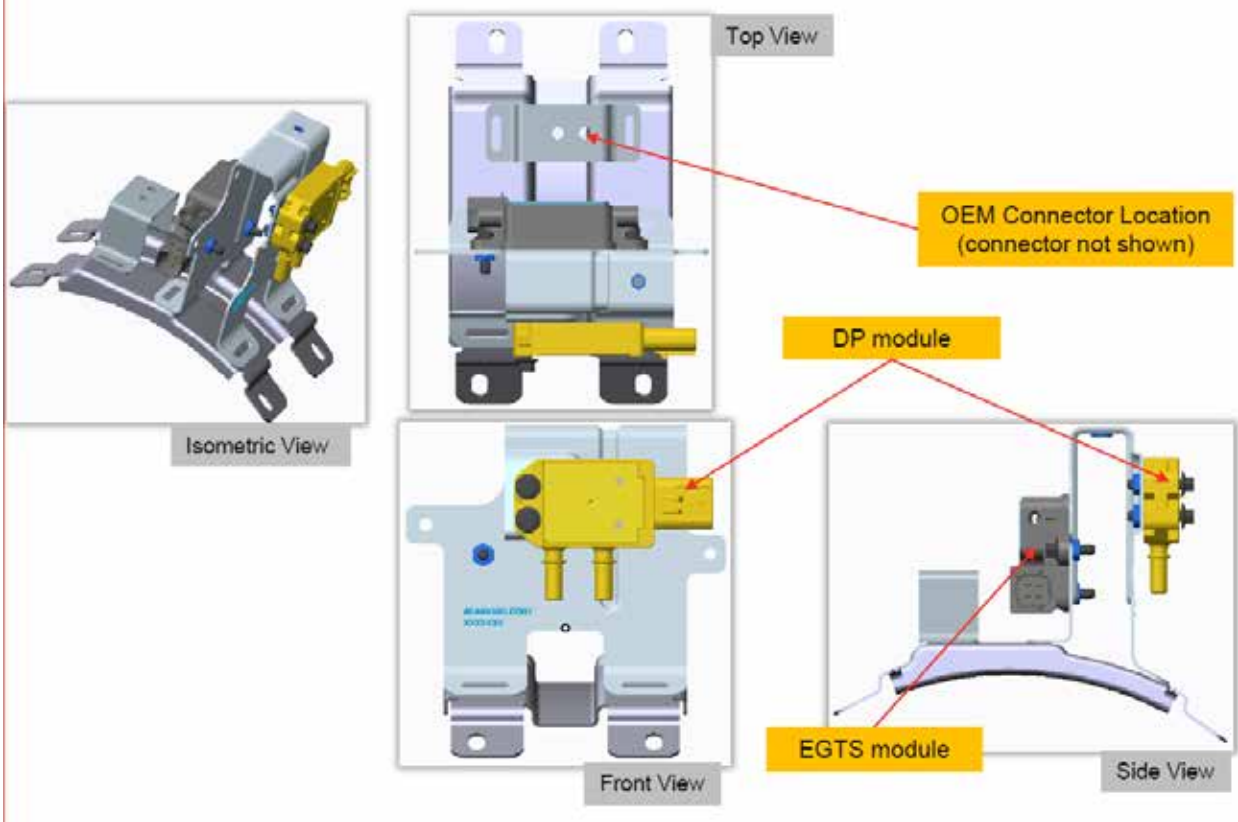
Horizontal Sensor Table Overview



Detalle de los sensores y dispositivos montados en el dispositivo de módulo único a utilizar en el postratamiento.

ANEXO G (CONTINUACIÓN)

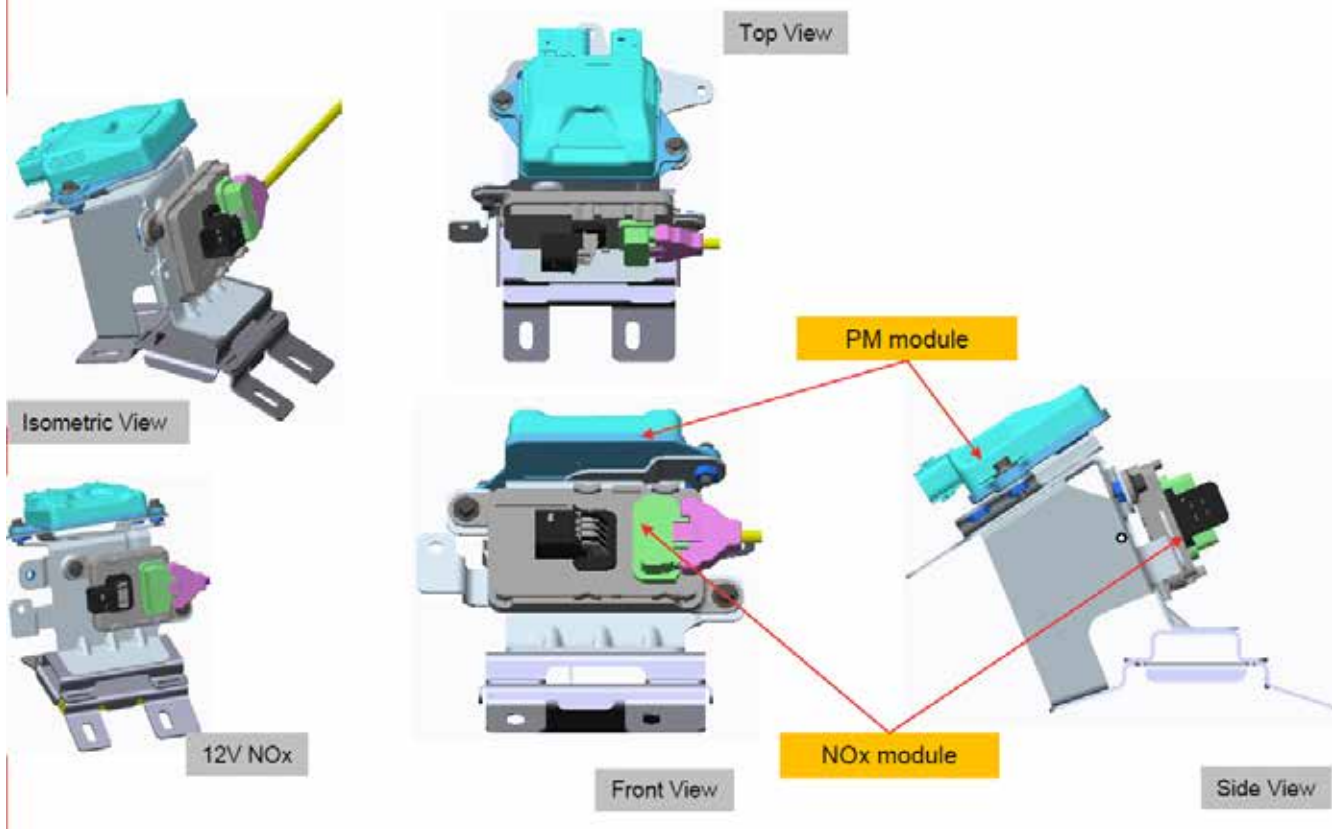
Sensor Table 1 Overview



Detalle de los sensores y dispositivos montados en el dispositivo de módulo único a utilizar en el postratamiento.

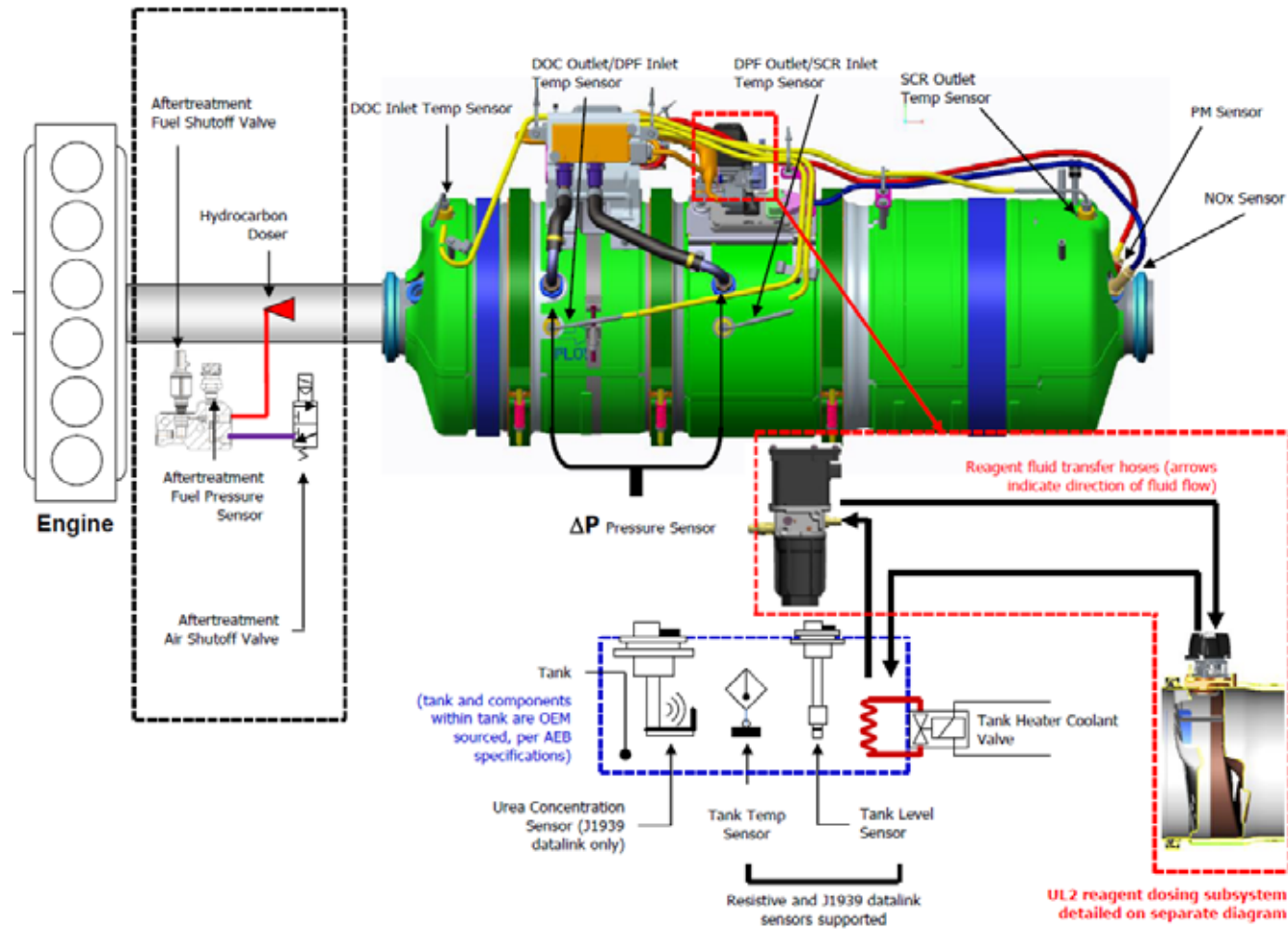
ANEXO G (CONTINUACIÓN)

Sensor table 2 Overview



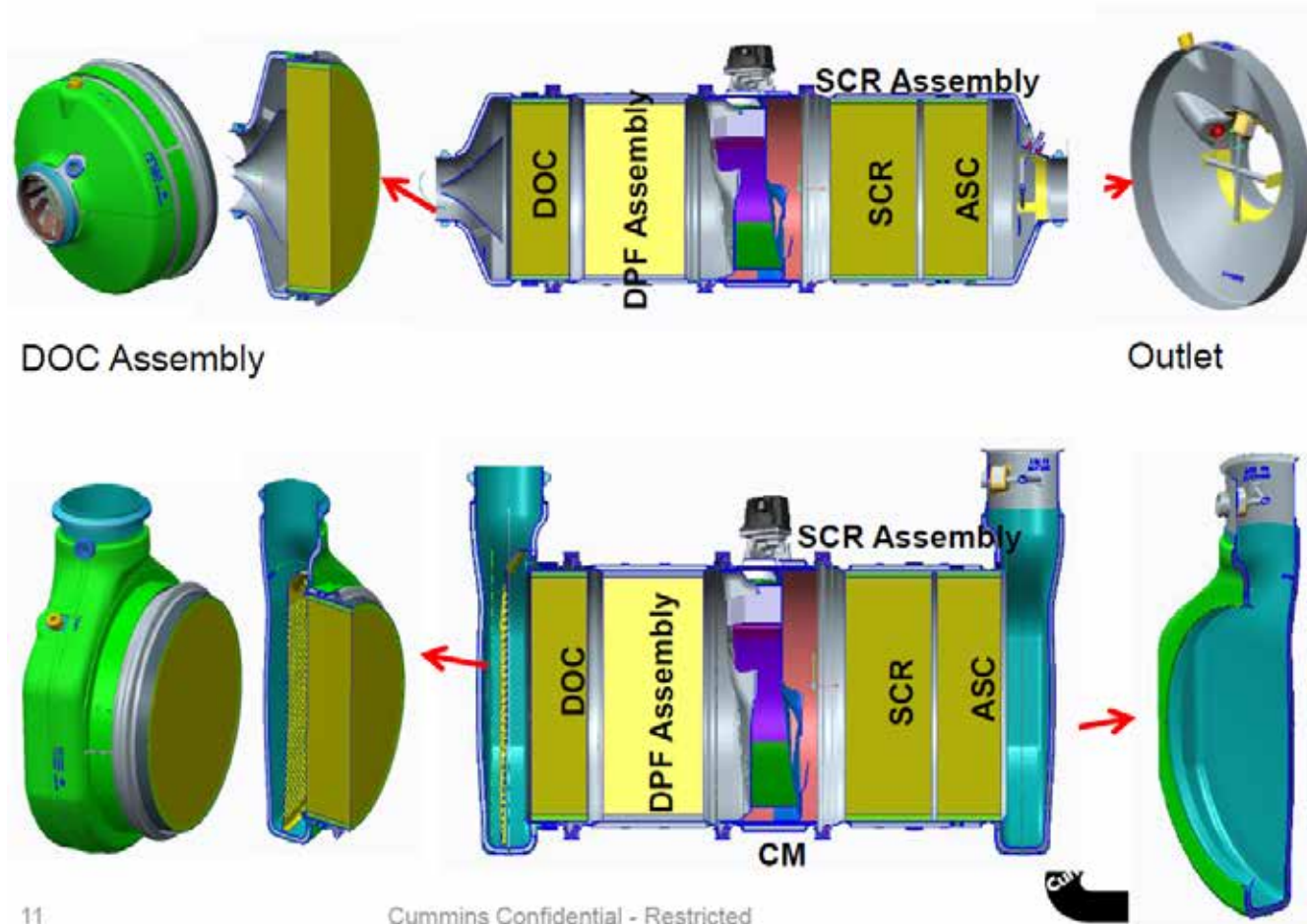
Detalle de los sensores y dispositivos montados en el dispositivo de módulo único a utilizar en el postratamiento.

ANEXO H



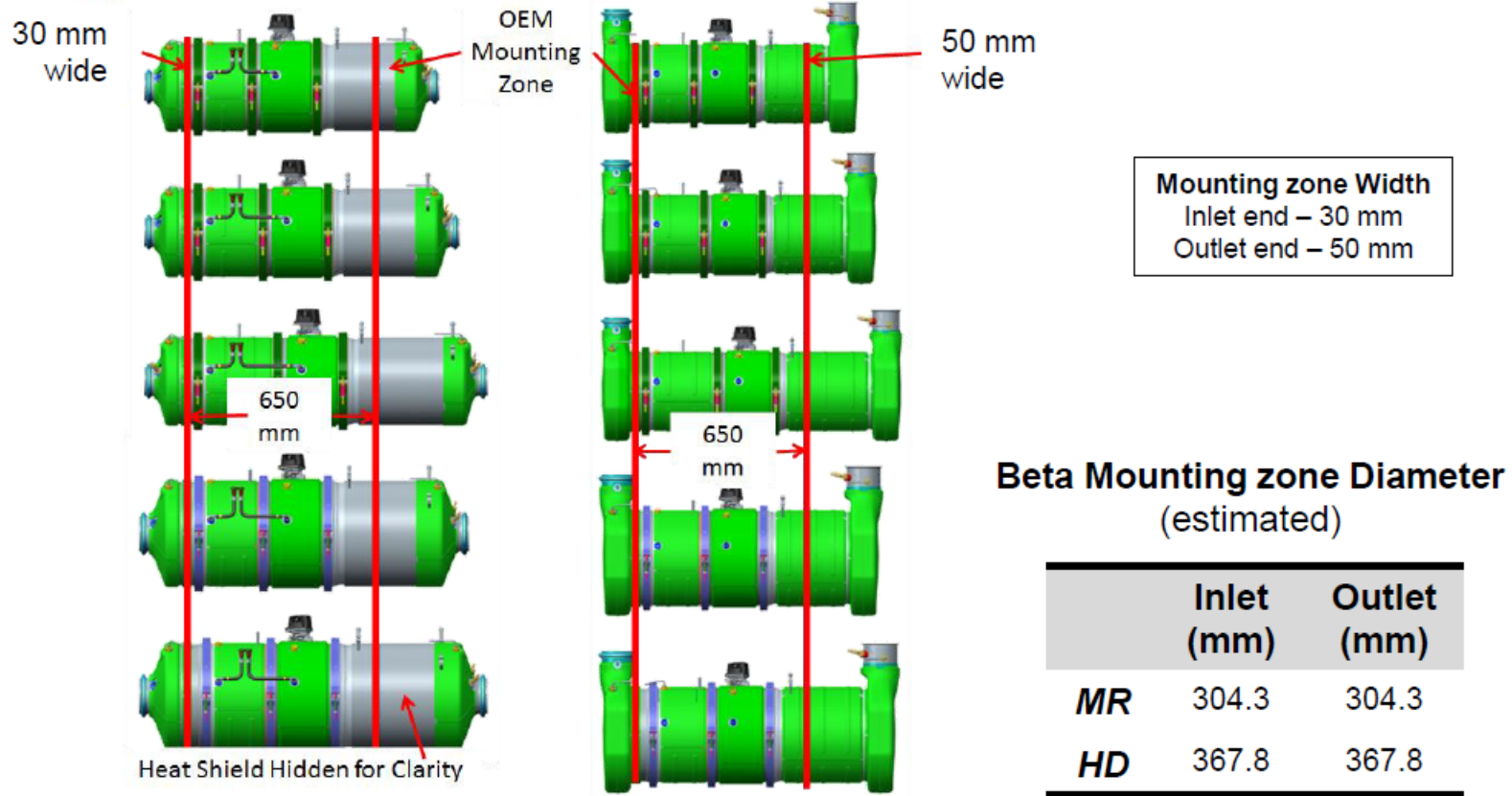
Estructura y componentes del dispositivo de módulo único con detalle de todos los subsistemas del postratamiento.

ANEXO I



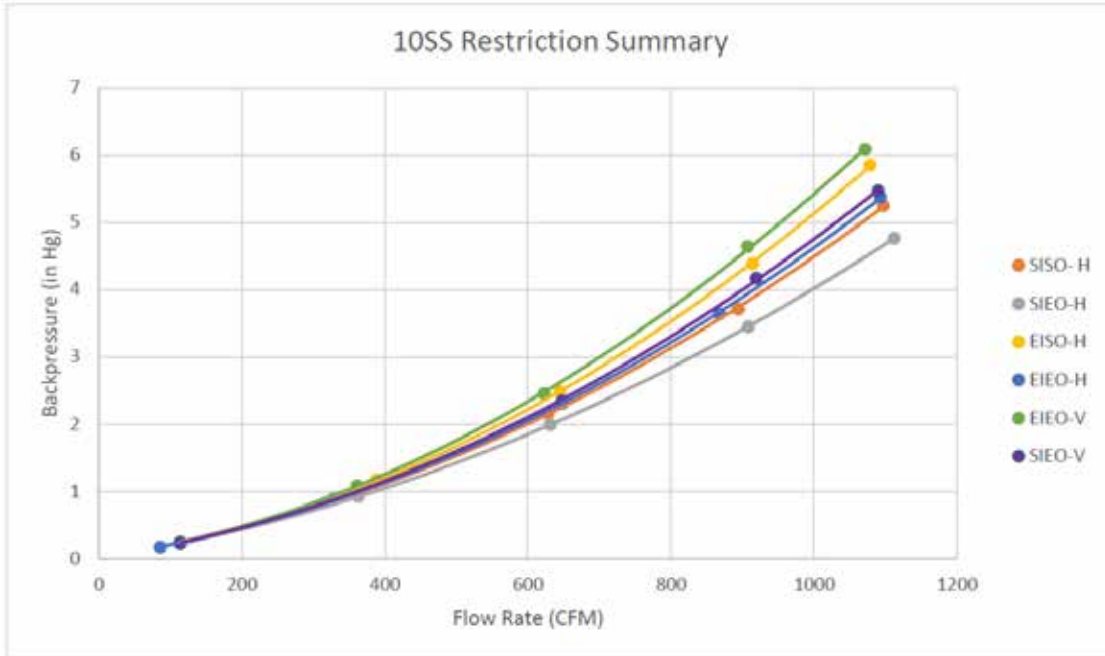
Estructura y geometría interna del dispositivo de módulo único 10SS EIEO horizontal y SISO horizontal.

ANEXO J



Pociones de montaje del dispositivo de módulo único horizontal.

ANEXO K



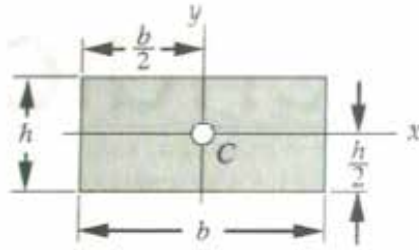
10SS Horizontal EIEO

Volumetric Flow (cfm)	Restriction (in Hg)	Restriction (KPa)
85	0.2	0.6
327	0.9	3.0
648	2.3	7.8
867	3.6	12.3
1092	5.4	18.2

(Arriba) Curvas de restricciones o pérdidas que se generan en las diferentes configuraciones del dispositivo de módulo único modelo 10SS. (Abajo) Tabla de restricciones o pérdidas vs flujo volumétrico que se generan en la configuración del dispositivo de módulo único 10SS

EIEO Horizontal.

ANEXO L



$$A = bh$$

$$I_x = \frac{bh^3}{12}$$

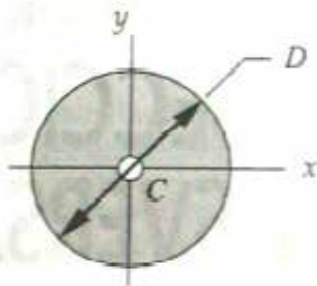
$$k_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

$$J_z = I_x + I_y$$

$$I_y = \frac{b^3h}{12}$$

$$k_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

(a) Rectángulo.



$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$I_x = \frac{\pi D^4}{64}$$

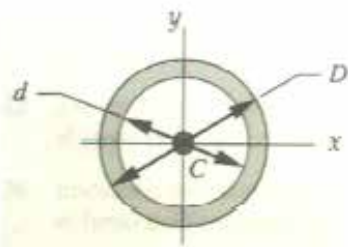
$$k_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

$$J_z = \frac{\pi D^4}{32}$$

$$I_y = \frac{\pi D^4}{64}$$

$$k_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

(b) Círculo.



$$A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$$

$$I_x = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4)$$

$$k_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

$$J_z = \frac{\pi}{32}(D^4 - d^4)$$

$$I_y = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4)$$

$$k_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

(c) Círculo hueco.

Tablas de momentos de áreas. Apéndice A del libro de Elementos de Máquinas de
Tassoni P.

ANEXO M

TABLA C-1 Propiedades físicas de algunos materiales de ingeniería

Datos provenientes de varias fuentes. * Estas propiedades son esencialmente similares para todas las aleaciones del material específico

Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de rigidez G		Razón de Poisson ν	Peso específico γ lb/in ³	Densidad de masa ρ Mg/m ³	Gravedad específica
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa				
Aleación de aluminio	10.4	71.7	3.9	26.8	0.34	0.10	2.8	2.8
Cobre al berilio	18.5	127.6	7.2	49.4	0.29	0.30	8.3	8.3
Latón, bronce	16.0	110.3	6.0	41.5	0.33	0.31	8.6	8.6
Cobre	17.5	120.7	6.5	44.7	0.35	0.32	8.9	8.9
Hierro fundido gris	15.0	103.4	5.9	40.4	0.28	0.26	7.2	7.2
Hierro fundido dúctil	24.5	168.9	9.4	65.0	0.30	0.25	6.9	6.9
Hierro fundido maleable	25.0	172.4	9.6	66.3	0.30	0.26	7.3	7.3
Aleaciones de magnesio	6.5	44.8	2.4	16.8	0.33	0.07	1.8	1.8
Aleaciones de níquel	30.0	206.8	11.5	79.6	0.30	0.30	8.3	8.3
Acero al carbono	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de acero	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Acero inoxidable	27.5	189.6	10.7	74.1	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de titanio	16.5	113.8	6.2	42.4	0.34	0.16	4.4	4.4
Aleaciones de zinc	12.0	82.7	4.5	31.1	0.33	0.24	6.6	6.6

* Properties of Some Metals and Alloys, International Nickel Co., N.Y., Metals Handbook, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

Tabla con las propiedades físicas de algunos materiales de ingeniería. Tabla C-1 del libro de elementos de máquinas de Tassoni P, Apéndice C.

ANEXO N

GENERAL PURPOSE (T-BOLT TRUNNION STYLE)

The general purpose V-Clamp has a captive (non-removable) T-bolt closure. This style of clamp can develop high axial clamping force with high burst pressure capability in diesel exhaust, turbochargers and other industrial applications. This V-Clamp is available with 2, 3 or 4 V-inserts.



T-Bolt – Trunnion Closure

Applications

- Pumps
 - Diesel engines
 - EGR systems
 - Truck exhaust connections
- **Materials:** Corrosion-resistant and specialty steels
 - **Sizes:** 2" (51 mm) and larger diameters
 - **Fasteners:** #10, 1/4", 5/16"
 - **Options:** Plastic knob and T-handle for hand tightening

Typical Band and V-Insert Material Options

Band Material Selection			V-Insert Material Selection		
Temperature	Material	Comments	Temperature	Material	Comments
Pipe Skin Temp Below 425°C	301SS	Standard (1/4 Hard or 1/2 Hard Temper)	Pipe Skin Temp Below 425°C	301SS	Standard (Annealed)
	304SS	Better Corrosion Resistance than 301SS		304SS	Better Corrosion Resistance than 301SS
	441SS	Lower Cost than Others, Exhaust		441SS	Lower Cost than Others, Exhaust
	316SS	Good Corrosion Resistance, Marine, Higher Cost		316SS	Good Corrosion Resistance, Marine, Higher Cost
Between 425°C and 700°C	316SS	Good Corrosion Resistance	Between 425°C and 700°C	316SS	Good Corrosion Resistance
	347SS	Good Corrosion Resistance, High Cost		347SS	Good Corrosion Resistance, High Cost

Abrazaderas tipo T-Bolt seleccionadas para las uniones de las juntas del sistema de postratamiento.

ANEXO Ñ

TUBO DE ACERO INOXIDABLE

TUBO SOLDADO

Calidad

AISI 304 - 304L - 310 - 316 - 316L - 316Ti - 321.

Normas:

ISO 1127; ASTM A-269, A-249, A-312; NFA 49 147 e 49 247.

Certificados:

según EN 10204 3.1B

Acabado:

decapado, pasivado, "spazzolato", esmerilado, satinado y pulido.

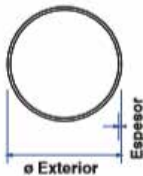
Largos estandar:

6 metros (otros mediante consulta)

Tratamiento térmico:

recocido (opcional).

TUBO REDONDO MILIMÉTRICO
Peso teórico (Kg/m)



Diámetro mm	Espesor mm							
	0,5	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
6	0,069	0,125						
8	0,094	0,175						
10		0,225	0,264	0,319				
12		0,275	0,325	0,394	0,500			
13				0,432				
15		0,351	0,451	0,507	0,651			
16		0,376	0,445	0,545	0,701			
18		0,426	0,505	0,620	0,801			
20		0,476	0,565	0,695	0,901			
23		0,551	0,855	0,808	1,051			
25		0,601	0,715	0,883	1,152	1,409		
28		0,676	0,805	0,995	1,302	1,596	1,876	
30		0,726	0,865	1,070	1,402	1,722	2,028	
33				1,183				
35		0,851	1,016	1,250	1,653	2,035	2,404	
38			1,106	1,367				
40		0,977	1,188	1,446	1,903	2,346	2,779	
43				1,559				
44					2,104			
50,8		1,247	1,490	1,848	2,444		3,591	
53				1,934				
63,5		1,535		2,325	3,080	3,819	4,545	
73				2,686				
84					4,107			
104				3,850	5,108	6,354	7,597	
129				4,789	6,360	7,919	9,485	
154				5,728	7,612	9,484	11,343	
204				7,888	10,118	12,214	14,500	

Tabla con las masas tabuladas de tubos de acero inoxidable para diferentes diámetros y espesores de pared.

ANEXO O

Name: **70°, Spherical, and Alternate Marmon Flange Geometry and Features**

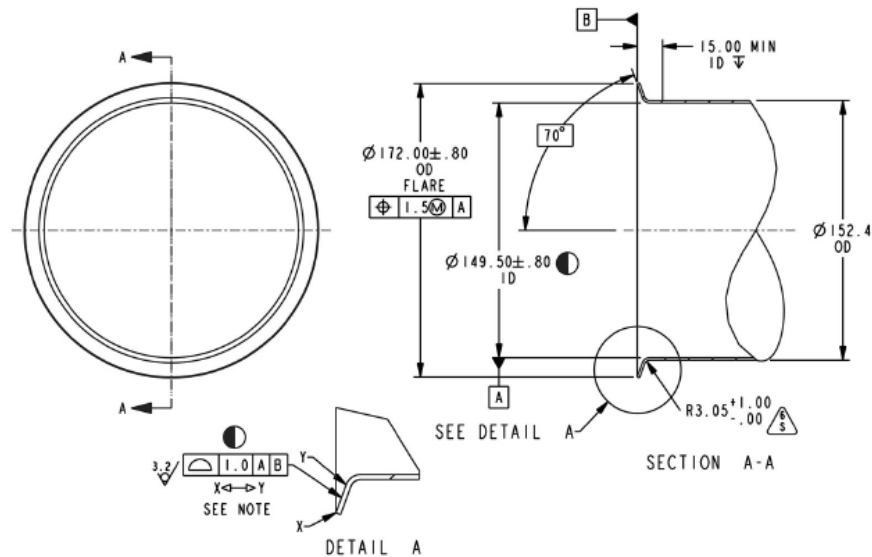
Identifier: Specification: Manufacturing

10 **70° Female Flared Tube Requirements**

10.1 **6 inch, 70° female flared tube requirements**

Detailed below are the specifications for sizing or forming the end of a 70° flared tube as it relates to a 6 inch (152.4 mm) nominal tube diameter (see Figure 1). Part numbers vary with overall length of tube. Please refer to Section 11.1 for the corresponding male adapter and Section 18 for accompanying hardware.

Figure 1: 6 inch, 70° female flared tube specifications



CES-G-3171

NOTE: The surface finish of the flare at the weld seam is 12 micrometers +/- 5 mm from the weld seam.

NOTE: A thickness of 1.45 mm (0.06 inch) is assumed.

Requisitos de diseño para la sección hembra de la unión de la tubería de escape.

Extraído del documento CES-S-MANF-2

ANEXO P

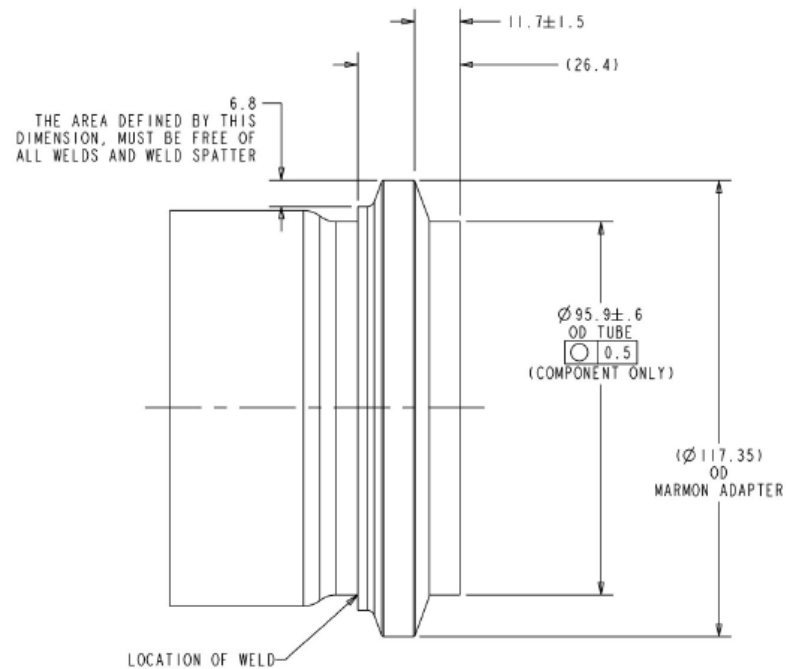
Name: **70°, Spherical, and Alternate Marmon Flange Geometry and Features**

Identifier: Specification: Manufacturing

15.3 **4 inch, 70° male marmon adapter welded to tube**

Detailed below are the specifications for welding a 70° male marmon adapter to a 3.78 inch (95.9 mm) tube (see Figure 26).

Figure 26: Specifications for welding a 4 inch, 70° male marmon adapter to a tube



Requisitos de diseño para la sección macho de la unión de la tubería de escape.

Extraído del documento CES-S-MANF-2

ANEXO Q



Making Fluid Function

Shaw Development LLC
25190 Bernwood Drive
Bonita Springs, Florida 34135

Phone: 239.405.6100
Email: teamsupport@shawdev.com
Website: www.shawdev.com

ITEM # ITEM-1403, COOLANT CONTROL VALVE

Coolant Control Valves (12 & 24 volt)



Specifications

Voltage Range

12 to 24 V

Válvula de control de refrigerante seleccionada para las líneas de calefacción del sistema de dosificación de urea. Proporcionado por Shaw Development LLC.

ANEXO R



Shaw Development LLC
25190 Bernwood Drive
Bonita Springs, Florida 34135

Phone: 239.405.6100
Email: teamsupport@shawdev.com
Website: www.shawdev.com

ITEM # ITEM-1404, ELECTRICALLY HEATED DEF LINE

Electrically Heated DEF Lines (12 & 24 volt) with J2044 connectors



Specifications

Voltage Range

12 to 24 V

Mangueras de circulación de fluido de escape diésel seleccionadas para el sistema de dosificación de urea. Proporcionado por Shaw Development LLC.

ANEXO S



Shaw Development LLC
25190 Bernwood Drive
Bonita Springs, Florida 34135

Phone: 239.405.6100
Email: teamsupport@shawdev.com
Website: www.shawdev.com

ITEM # ITEM-1406, SAE J2044 FEMALE QUICK CONNECTOR

SAE J2044 Female Quick Connectors



Conexiones hembras para las mangueras de DEF seleccionadas para el sistema de dosificación de urea. Proporcionado por Shaw Development LLC.

ANEXO T



Shaw Development LLC
25190 Bernwood Drive
Bonita Springs, Florida 34135

Phone: 239.405.6100
Email: teamsupport@shawdev.com
Website: www.shawdev.com

DIESEL EXHAUST FLUID/ADBLUE RESERVOIR

The heart of the Shaw System is the Multifunction Head Unit (MFHU). To simplify design, the MFHU contains integrated level and temperature, and fluid quality (concentration) sensors. By using ultrasonic sensing technology the level sensor eliminates the problems normally associated with mechanical designs. Outputs from all sensors are fully compatible with major dosing units available today in analog or CANBUS output.

Included in the MFHU is an engine coolant powered heater to thaw or prevent freezing of DEF in conditions below 12 °F (-11 °C). The heater is designed for optimal performance to meet OEM and governmental regulations. Electrical heating is also available for special applications.

In order to meet reduced Nitrogen Oxides (NOx) emission levels, many diesel engine manufacturers have turned to Selective Catalytic Reduction (SCR) as the technology of choice. Storage, monitoring, and transfer of diesel exhaust fluid (DEF) is best handled with a single source system solution.

Optional items such as remote fill adapters and vents, lockable caps, coolant control valves, electrically heated suction, return, and pressure hoses, and mounting brackets are available to complete the DEF reservoir system.






Specifications

- Multifunction Head Unit (MFHU) - Contains Integral Level, Temperature, Quality (concentration) Sensors, Coolant Heater, Serviceable Suction Filter. Available in various lengths and electrical outputs (CANBUS or Analog). Simplifies design by integrating level, temperature, and quality (concentration) sensors, serviceable DEF filter,

Descripción del tanque de fluido de escape diésel de Shaw Development.

ANEXO T (CONTINUACIÓN)

Features/Benefits	<p>connections for electrical, suction return and coolant lines.</p> <ul style="list-style-type: none"> • DEF Reservoirs - Multiple standard designs (3, 5, 10, 25 gallon with landscape or portrait orientation) increases installation design flexibility. Custom designs up to 275 gallons are also available. • DEF Fill Cap - Easily identifiable blue, 1/4 turn cap with 19 mm ISO 22241 magnetic restrictor to prevent mis-fills.
Options	<p>item-1403, Coolant Control Valve</p> <p>item-1404, Electrically Heated DEF Line</p> <p>item-1405, Brass Forged Coolant Tee</p> <p>item-1406, SAE J2044 Female Quick Connector</p>
DEF Tank	 <p>DEF Tank, 5, 10, 15 Gallon, Landscape or Portrait Designs. Custom shapes and designs available.</p>
Electrically Heated Hoses	 <p>Electrically Heated Hoses: Return, Suction, Pressure Various lengths and fittings available.</p>
Remote Fill/Spill Pan with Cap	 <p>Remote Fill / Spill Pan with Cap DEF compatible Remote Filler hoses available</p>
Coolant Valve	 <p>Coolant Valve, 12 VDC or 24 VDC and Accessories</p>

Descripción del tanque de fluido de escape diésel de Shaw Development, junto con la lista de componentes complementarios para el sistema de dosificación.

ANEXO U

Hose Construction

SAE HOSE TYPE	INNER TUBE	REINFORCEMENT	COVER	OPERATING TEMPERATURE °F
100R1-A	Oil resistant synthetic rubber	One wire braid	Oil resistant synthetic rubber	-40 to 200
100R1-AT	Oil resistant synthetic rubber	One wire braid	Oil resistant synthetic rubber 'non-skive'	-40 to 200
100R2-A	Oil resistant synthetic rubber	Two wire braids	Oil resistant synthetic rubber	-40 to 200
100R2-AT	Oil resistant synthetic rubber	Two wire braids	Oil resistant synthetic rubber 'non-skive'	-40 to 200
100R2-B	Oil resistant synthetic rubber	Two spiral plies and one braid of wire	Oil resistant synthetic rubber	-40 to 200
100R2-BT	Oil resistant synthetic rubber	Two spiral plies and one braid of wire	Oil resistant synthetic rubber 'non-skive'	-40 to 200
100R3	Oil resistant synthetic rubber	Two textile braids	Oil resistant synthetic rubber	-40 to 200
100R4 (suction hose)	Oil resistant synthetic rubber	Textile plies or braids with spiral body wire	Oil resistant synthetic rubber	-40 to 200
100R5	Oil resistant synthetic rubber	Two textile braids separated by one wire braid	Textile braid impregnated with oil resistant synthetic rubber compound	-40 to 200
100R6	Oil resistant synthetic rubber	One textile braid	Oil resistant synthetic rubber	-40 to 200
100R7	Oil resistant thermoplastic	Synthetic fiber	Oil resistant thermoplastic	-40 to 200
100R8	Oil resistant thermoplastic	Synthetic fiber	Oil resistant thermoplastic	-40 to 200
100R9-A	Oil resistant synthetic rubber	Four spiral wire plies	Oil resistant synthetic rubber	-40 to 200
100R9-AT	Oil resistant synthetic rubber	Four spiral wire plies	Oil resistant synthetic rubber 'non-skive'	-40 to 200
100R10-A	Oil resistant synthetic rubber	Four spiral wire plies	Oil resistant synthetic rubber	-40 to 200
100R10-AT	Oil resistant synthetic rubber	Four spiral wire plies	Oil resistant synthetic rubber 'non-skive'	-40 to 200

Tabla donde se indican la composición, estructura y la temperatura de operación de las mangueras SAE 100R.

ANEXO V

SAE HOSE TYPE	LD. INCHES	MAX. O.D. INCHES	MIN. BEND RADIUS INCHES	MAX. WORKING PRESSURE PSIG	MIN. BURST PRESSURE PSIG
100R2-AT&BT	1/4	0.619	4	5000	20000
	3/8	0.777	5	4000	16000
	1/2	0.908	7	3500	14000
	5/8	1.034	8	2750	11000
	3/4	1.190	9.5	2250	9000
	1	1.531	12	2000	8000
	1 1/4	1.953	16.5	1625	6500
	1 1/2	2.203	20	1250	5000
	2	2.703	25	1125	4500
	100R3	1/4	0.594	3	1250
3/8		0.781	4	1125	4500
1/2		0.969	5	1000	4000
5/8		1.094	5.5	875	3500
3/4		1.281	6	750	3000
1		1.547	8	565	2260
1 1/4		1.812	10	375	1500
100R4		3/4	1.375	5	300
	1	1.625	6	250	1000
	1 1/4	2.000	8	200	800
	1 1/2	2.250	10	150	600
	2	2.750	12	100	400
	2 1/2	3.250	14	62	248
	3	3.750	18	56	224
	3 1/2	4.250	21	45	180
	4	4.750	24	35	140
100R5	1/4	0.601	3.38	3000	12000
	1/2	0.945	5.5	1750	7000
	5/8	1.101	6.5	1500	6000
	1 1/8	1.531	9	625	2500
	1 3/8	1.781	10.5	500	2000
	1 13/16	2.266	13.25	350	1400
100R6	1/4	0.531	2.5	400	1600
	3/8	0.656	3	400	1600
	1/2	0.812	4	400	1600
	5/8	0.938	5	350	1400
	3/4	1.000	6	300	1200
100R7	1/4	0.538	4	2750	11000

Tabla donde se indican los diámetros disponibles y las presiones de trabajo de las mangueras SAE clase 100R.

APÉNDICES

APÉNDICE A

SAE 100R	Descripción
100R1	Manguera hidráulica cubierta de caucho reforzada con alambre de acero (una trenza de alambre)
100R2	Manguera hidráulica de alta presión, reforzada con alambre de acero y caucho (trenza de dos hilos)
100R3	Doble trenza de fibra (no metálica), manguera hidráulica cubierta de goma
100R4	Manguera de succión hidráulica con alambres insertados
100R5	Manguera hidráulica de cubierta textil, con trenza de alambre simple
100R6	Manguera hidráulica con cubierta de goma y trenza de fibra simple no metálica
100R7	Manguera hidráulica termoplástica
100R8	Manguera hidráulica termoplástica de alta presión
100R9	Manguera hidráulica de alta presión, con refuerzo de cuatro espirales de acero, cubierta de goma
100R10	Manguera hidráulica de trabajo pesado, con refuerzo de cuatro espirales de acero, cubierta de goma
100R11	Manguera hidráulica cubierta de caucho reforzada con seis espirales de acero para trabajo pesado
100R12	Manguera hidráulica cubierta de goma con refuerzo de cuatro espirales de alambre de acero para alto impulso y trabajo pesado.
100R13	Manguera hidráulica cubierta de goma reforzada con múltiples espirales de acero para alto impulso y trabajo pesado.
100R14	Manguera hidráulica de politetrafluoretileno (PTFE), con trenza de acero inoxidable simple

	<p>Tipo A: reforzado con una sola trenza de acero inoxidable de la serie 303XX</p> <p>Tipo B - Igual que el Tipo A; incluye un tubo interior conductor eléctrico.</p>
100R15	Heavy duty, high impulse, multiple-spiral wire reinforced, rubber
100R16	Manguera hidráulica compacta cubierta con goma reforzada de alta presión, de uno y dos hilos
100R17	Manguera hidráulica de caucho reforzado con alambre de uno y dos cables Presión máxima de operación compacta de 21 MPa.
100R19	Manguera hidráulica de caucho reforzado con alambre de uno y dos hilos, Presión máxima de operación compacta de 27.5 MPa

Cuadro con la descripción de la estructura de las mangueras clase SAE 100R