



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA**

### **CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

#### **“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA EN EL FLUJO DE LOS GASES COMBUSTIONADOS DE UN MOTOR A GASOLINA EN SU SISTEMA DE ESCAPE MEDIANTE EL CICLO DE CONDUCCIÓN PTEC-593.”**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTOR:**

**JEFFERSON RAMIRO ANCHATUÑA LLUMIQUINGA**

Riobamba – Ecuador

2021



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA**

### **CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

#### **“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA EN EL FLUJO DE LOS GASES COMBUSTIONADOS DE UN MOTOR A GASOLINA EN SU SISTEMA DE ESCAPE MEDIANTE EL CICLO DE CONDUCCIÓN PTEC-593.”**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTOR:** JEFFERSON RAMIRO ANCHATUÑA LLUMIQUINGA

**DIRECTOR:** Ing. JOHNNY MARCELO PANCHÁ RAMOS MSc.

Riobamba – Ecuador

2021

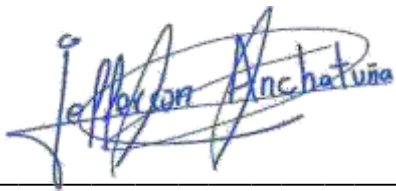
© 2021, Jefferson Ramiro Anchatuña Llumiyinga

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo. JEFFERSON RAMIRO ANCHATUÑA LLUMIQUINGA. declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba. 17 de diciembre del 2021



**Jefferson Ramiro Anchatuña LLumiQuinga**

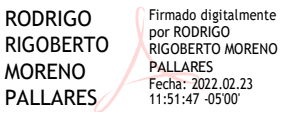
0503591992-2

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación. **“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA EN EL FLUJO DE LOS GASES COMBUSTIONADOS DE UN MOTOR A GASOLINA EN SU SISTEMA DE ESCAPE MEDIANTE EL CICLO DE CONDUCCIÓN PTEC-593”**. realizado por el señor: **JEFFERSON RAMIRO ANCHATUÑA LLUMIQUINGA**. ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación. el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales. en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Mario Efraín Audelo Guevara <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	_____	2021-12-17
Ing. Johnny Marcelo Pancha Ramos <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	_____	2021-12-17
Ing. Rodrigo Rigoberto Moreno Pallares <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	 RODRIGO RIGOBERTO MORENO PALLARES	2021-12-17

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de titulación a Dios por permitirme culminar este ciclo de mi vida y de manera especial a mi madre quien desde el cielo me acompaña la Sra. Rocio Llumiyinga, por haber forjado mi carácter como persona pues sin su ejemplo no lo hubiese logrado y a mi padre el Sr. Milton Anchatuña, por darme la pasión por los autos y mostrarme el camino hacia la superación con sus enseñanzas e incansable trabajo han ayudado toda mi vida académica. A mi familia materna, los cuales han sido pieza fundamental a lo largo de toda mi vida, especialmente este último año que ha sido de mucho aprendizaje y voluntad propia.

*Jefferson*

## AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por brindarme la formación necesaria, una profesión y la oportunidad de servir a mi comunidad y al país. Al Ing. Jhonny Pancha tutor del trabajo, por su permanente asesoramiento, paciencia y apoyo, no solo durante este trabajo, si no durante toda mi estancia en la Escuela de Ingeniera Automotriz.

De igual manera a mis tíos , Cesar Quimbata y Blanca LLumiQuinga al igual que a mis primos , Ing. Xavier Quimbata y Paola Mayo, por no dejarme caer y quienes siempre han estado pendiente y contribuido en todo este proceso.

Finalmente, a mis amigos , quienes hicieron más cortos estos años lejos de casa.

*Jefferson*

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvi
RESUMEN .....	xvii
SUMMARY .....	xviii
INTRODUCCIÓN .....	1

## CAPITULO I

1.	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....	3
1.1.	Justificación.....	3
1.2.	Problema .....	4
1.3.	Objetivos .....	5
1.3.1.	<i>Objetivo general</i> .....	5
1.3.2.	<i>Objetivos específicos</i> .....	5
1.4.	Hipótesis .....	5
1.5.	Estado del arte .....	6
1.5.1.	<i>Sistema de escape</i> .....	6
1.5.2.	<i>Colector de escape</i> .....	7
1.5.3.	<i>Catalizador</i> .....	8
1.5.3.1.	<i>Normas Euro</i> .....	9
1.5.4.	<i>Tubería</i> .....	9
1.5.5.	<i>Silenciador</i> .....	9
1.5.6.	<i>Header</i> .....	10
1.5.7.	<i>Tipos de configuración de salidas de escape</i> .....	11
1.5.7.1.	<i>Configuración 4-2-1</i> .....	11
1.5.7.2.	<i>Configuración 4-1</i> .....	11
1.5.8.	<i>Ciclo de conducción</i> .....	11



<b>1.5.9.</b>	<b><i>Ciclo de conducción PTEC-593</i></b> .....	<b>12</b>
<b>1.5.10.</b>	<b><i>Recuperación de energía</i></b> .....	<b>12</b>
<b>1.5.11.</b>	<b><i>Control de temperatura de los gases de salida de un motor de combustión interna, combustión pobre</i></b> .....	<b>14</b>
<b>1.5.12.</b>	<b><i>Efecto Peltier</i></b> .....	<b>15</b>
<b>1.5.13.</b>	<b><i>TEG</i></b> .....	<b>16</b>
<b>1.5.14.</b>	<b><i>AETEG</i></b> .....	<b>18</b>
<b>1.5.15.</b>	<b><i>Ciclo Rankine</i></b> .....	<b>20</b>

## **CAPITULO II**

<b>2.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>24</b>
<b>2.1.</b>	<b>Diseño metodológico</b> .....	<b>24</b>
<b>2.1.1.</b>	<b><i>Tipo de investigación</i></b> .....	<b>24</b>
<b>2.1.2.</b>	<b><i>Población y muestra</i></b> .....	<b>25</b>
<b>2.1.2.1.</b>	<b><i>Población</i></b> .....	<b>25</b>
<b>2.1.2.2.</b>	<b><i>Muestra</i></b> .....	<b>25</b>
<b>2.1.2.3.</b>	<b><i>Unidad de muestreo</i></b> .....	<b>25</b>
<b>2.1.2.4.</b>	<b><i>Unidad de análisis</i></b> .....	<b>25</b>
<b>2.1.2.5.</b>	<b><i>Tipo de muestreo</i></b> .....	<b>25</b>
<b>2.1.2.6.</b>	<b><i>Método de selección de la población</i></b> .....	<b>26</b>
<b>2.1.3.</b>	<b><i>Árbol de problemas</i></b> .....	<b>26</b>
<b>2.1.4.</b>	<b><i>Árbol de objetivos</i></b> .....	<b>27</b>
<b>2.1.5.</b>	<b><i>Análisis de variables</i></b> .....	<b>27</b>
<b>2.1.6.</b>	<b><i>Nomenclatura usada</i></b> .....	<b>28</b>
<b>2.1.7.</b>	<b><i>Número de pruebas</i></b> .....	<b>28</b>
<b>2.1.8.</b>	<b><i>Método de recolección de información</i></b> .....	<b>29</b>
<b>2.1.8.1.</b>	<b><i>Procedimiento para la selección de la muestra</i></b> .....	<b>29</b>
<b>2.1.8.2.</b>	<b><i>Diseño del instrumento para la recolección de información</i></b> .....	<b>29</b>
<b>2.1.8.3.</b>	<b><i>Selección de los sensores</i></b> .....	<b>30</b>
<b>2.1.8.4.</b>	<b><i>Creación de la placa madre</i></b> .....	<b>32</b>
<b>2.1.8.5.</b>	<b><i>Creación de la aplicación</i></b> .....	<b>36</b>
<b>2.1.8.6.</b>	<b><i>Adecuación al sistema de escape original del vehículo</i></b> .....	<b>38</b>
<b>2.1.8.7.</b>	<b><i>Sistema de escape modificado</i></b> .....	<b>40</b>

2.1.8.8.	<i>Montaje en el vehículo.....</i>	42
2.1.9.	<b><i>Pruebas bajo el Ciclo de conducción PTEC-593.....</i></b>	45
2.1.10.	<b><i>Pruebas en ruta.....</i></b>	47
2.1.11.	<b><i>Pruebas en relantí.....</i></b>	48
2.1.12.	<b><i>Método de análisis estadístico.....</i></b>	49

### CAPITULO III

3.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	50
3.1.	<b>Resultados.....</b>	50
3.1.1.	<b><i>Pruebas bajo el ciclo PTEC-593.....</i></b>	50
3.1.1.1.	<i>Pruebas con el sistema original.....</i>	50
3.1.1.2.	<i>Pruebas con el header instalado.....</i>	52
3.1.2.	<b><i>Pruebas en relantí.....</i></b>	55
3.1.2.1.	<i>Pruebas con el sistema original.....</i>	55
3.1.2.1.1.	<i>Pruebas en la mañana.....</i>	55
3.1.2.1.2.	<i>Pruebas al medio día.....</i>	57
3.1.2.1.3.	<i>Pruebas en la tarde.....</i>	59
3.1.2.2.	<i>Pruebas con el header instalado.....</i>	61
3.1.2.2.1.	<i>Pruebas en la mañana con el header.....</i>	61
3.1.2.2.2.	<i>Pruebas al medio día con el header instalado.....</i>	63
3.1.2.2.3.	<i>Pruebas en la tarde con el header instalado.....</i>	65
3.1.3.	<b><i>Pruebas en ruta.....</i></b>	67
3.1.3.1.	<i>Pruebas con el sistema original en ruta.....</i>	67
3.1.3.2.	<i>Pruebas con el header instalado en ruta.....</i>	69
3.2.	<b>Análisis estadístico.....</b>	71
3.2.1.	<b><i>Pruebas bajo el ciclo PTEC-593.....</i></b>	71
3.2.1.1.	<i>Pruebas con el sistema original.....</i>	71
3.2.1.2.	<i>Pruebas con el header instalado.....</i>	73
3.2.2.	<b><i>Pruebas en relantí.....</i></b>	75
3.2.2.1.	<i>Pruebas con el sistema original.....</i>	75
3.2.2.1.1.	<i>Pruebas en la mañana.....</i>	75
3.2.2.1.2.	<i>Pruebas al medio día.....</i>	77
3.2.2.1.3.	<i>Pruebas en la tarde.....</i>	79

3.2.2.2.	<i>Pruebas con el header instalado</i>	80
3.2.2.2.1.	<i>Pruebas en la mañana con el header</i>	81
3.2.2.2.2.	<i>Pruebas al medio día con el header instalado</i>	83
3.2.2.2.3.	<i>Pruebas en la tarde con el header instalado</i>	84
<b>3.2.3.</b>	<b><i>Pruebas en ruta</i></b>	<b>86</b>
3.2.3.1.	<i>Pruebas con el sistema original en ruta</i>	87
3.2.3.2.	<i>Pruebas con el header instalado en ruta</i>	88
<b>3.3.</b>	<b>Discusión de resultados</b>	<b>90</b>
3.3.1.	<i>Colector de escape (Ca)</i>	90
3.3.2.	<i>Antes del catalizador (AC)</i>	91
3.3.3.	<i>Después del catalizador (DC)</i>	92
3.3.4.	<i>Final del escape (FE)</i>	94
<b>CONCLUSIONES</b>		<b>96</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>		<b>98</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Comparación de temperatura .....	10
<b>Tabla 2-1:</b>	Resumen de las propiedades físicas de los ATEG de varias investigaciones .....	20
<b>Tabla 1-2:</b>	Designación de Factores y Niveles.....	28
<b>Tabla 2-2:</b>	Puntos designados para el análisis en el escape .....	28
<b>Tabla 3-2:</b>	Número de pruebas para el análisis .....	28
<b>Tabla 4-2:</b>	Metodología a seguir para el instrumento de investigación .....	29
<b>Tabla 5-2:</b>	Características de las termocuplas existentes en el mercado local .....	31
<b>Tabla 1-3:</b>	Valores derivados de la prueba 1 con el sistema original .....	72
<b>Tabla 2-3:</b>	Valores derivados de la prueba 2 bajo en ciclo de conducción .....	72
<b>Tabla 3-3:</b>	Valores derivados de la prueba 3 bajo en ciclo de conducción .....	72
<b>Tabla 4-3:</b>	Agrupación LSD de Fisher para las pruebas bajo el ciclo de conducción.....	72
<b>Tabla 5-3:</b>	Valores derivados de la prueba 1 bajo en ciclo de conducción .....	73
<b>Tabla 6-3:</b>	Valores derivados de la prueba 2 bajo en ciclo de conducción .....	74
<b>Tabla 7-3:</b>	Valores derivados de la prueba 3 bajo en ciclo de conducción .....	74
<b>Tabla 8-3:</b>	Agrupación LSD de Fisher de las pruebas bajo el ciclo de conducción, header.	74
<b>Tabla 9-3:</b>	Valores derivados de la prueba 1 en la mañana.....	75
<b>Tabla 10-3:</b>	Valores derivados de la prueba 2 en la mañana.....	76
<b>Tabla 11-3:</b>	Valores derivados de la prueba 3 en la mañana.....	76
<b>Tabla 12-3:</b>	Agrupación LSD de Fisher para las pruebas en relantí con el escape original en la mañana.....	76
<b>Tabla 13-3:</b>	Valores derivados de la prueba 1 al medio día .....	77
<b>Tabla 14-3:</b>	Valores derivados de la prueba 2 al medio día .....	77
<b>Tabla 15-3:</b>	Valores derivados de la prueba 3 al medio día .....	77
<b>Tabla 16-3:</b>	Agrupación LSD de Fisher para las tres pruebas al medio día en relantí con el sistema de escape original .....	78
<b>Tabla 17-3:</b>	Valores derivados de la prueba 1 en la tarde .....	79
<b>Tabla 18-3:</b>	Valores derivados de la prueba 2 en la tarde .....	79
<b>Tabla 19-3:</b>	Valores derivados de la prueba 3 en la tarde .....	79
<b>Tabla 20-3:</b>	Agrupación LSD de Fisher de las pruebas en la tarde en relantí con el sistema de escape original .....	79
<b>Tabla 21-3:</b>	Valores derivados de la prueba 1 en la mañana.....	81
<b>Tabla 22-3:</b>	Valores derivados de la prueba 2 en la mañana.....	81

<b>Tabla 23-3:</b>	Valores derivados de la prueba 3 en la mañana.....	81
<b>Tabla 24-3:</b>	Agrupación LSD de Fisher para las tres pruebas en la mañana en relantí con el header instalado .....	82
<b>Tabla 25-3:</b>	Valores derivados de la prueba 1 al medio día .....	83
<b>Tabla 26-3:</b>	Valores derivados de la prueba 2 al medio día .....	83
<b>Tabla 27-3:</b>	Valores derivados de la prueba 3 al medio día .....	83
<b>Tabla 28-3:</b>	Agrupación LSD de Fisher para las pruebas del medio día, header y a relantí ...	83
<b>Tabla 29-3:</b>	Valores derivados de la prueba 1, en la tarde .....	84
<b>Tabla 30-3:</b>	Valores derivados de la prueba 2, en la tarde .....	84
<b>Tabla 31-3:</b>	Valores derivados de la prueba 3, en la tarde .....	85
<b>Tabla 32-3:</b>	Agrupación LSD de Fisher para las tres pruebas en la tarde en relantí con el header instalado.....	85
<b>Tabla 33-3:</b>	Valores derivados de la prueba 1.....	87
<b>Tabla 34-3:</b>	Valores derivados de la prueba 2.....	87
<b>Tabla 35-3:</b>	Valores derivados de la prueba 3 .....	87
<b>Tabla 36-3:</b>	Agrupación LSD de Fisher para las pruebas en ruta con el sistema de escape original.....	87
<b>Tabla 37-3:</b>	Valores derivados de la prueba 1.....	88
<b>Tabla 38-3:</b>	Valores derivados de la prueba 2.....	88
<b>Tabla 39-3:</b>	Valores derivados de la prueba 3.....	89
<b>Tabla 40-3:</b>	Agrupación LSD de Fisher, para la prueba en ruta con el header instalado .....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Partes del sistema de escape de un MCI.....	7
<b>Figura 2-1:</b>	Flujo de los gases combustionados en el catalizador .....	8
<b>Figura 3-1:</b>	Disposición del calor en el silenciado.....	9
<b>Figura 4-1:</b>	Dimensiones promedio de un header .....	11
<b>Figura 5-1:</b>	Intercambiadores de calor usados para el análisis CFD .....	18
<b>Figura 6-1:</b>	Motor diésel de inyección directa de alta presión (HDI) de cuatro cilindros.....	21
<b>Figura 7-1:</b>	Alternativas de estudio .....	23
<b>Figura 1-2:</b>	Termocupla tipo K.....	31
<b>Figura 2-2:</b>	Modulo MAX6675.....	32
<b>Figura 3-2:</b>	Diseño de la placa para su impresión.....	33
<b>Figura 4-2:</b>	Simulación del diagrama electrónico.....	33
<b>Figura 5-2:</b>	Modelado de la placa en el programa de simulación electrónica .....	34
<b>Figura 6-2:</b>	Elaboración de la placa para la recolección de datos .....	34
<b>Figura 7-2:</b>	Placa con los elementos electrónicos .....	36
<b>Figura 8-2:</b>	Comparación de temperatura con el voltaje.....	36
<b>Figura 9-2:</b>	Interfaz bluetooth de la aplicación.....	37
<b>Figura 10-2:</b>	Acceso a la aplicación creada, en el escritorio del teléfono .....	37
<b>Figura 11-2:</b>	Interfaz de medición de temperatura.....	38
<b>Figura 12-2:</b>	Catalizador. Chevrolet Spark.....	39
<b>Figura 13-2:</b>	Colector de escape Suzuki Forsa 1, con perforación para termocupla.....	39
<b>Figura 14-2:</b>	Catalizador de 3 vías, usado en el sistema de escape del vehículo de prueba....	40
<b>Figura 15-2:</b>	Header montado en el motor del vehículo de pruebas.....	40
<b>Figura 16-2:</b>	Tubería nueva para el sistema de escape del motor de prueba .....	41
<b>Figura 17-2:</b>	Resonador o bala, instalado en el sistema de escape .....	41
<b>Figura 18-2:</b>	Acople usado para la termocupla en el sistema de escape ya modificado .....	42
<b>Figura 19-2:</b>	Instalación de la porta fusible .....	42
<b>Figura 20-2:</b>	Termocupla colocada antes del catalizador.....	43
<b>Figura 21-2:</b>	Termocupla colocada después del catalizador .....	43
<b>Figura 22-2:</b>	Termocupla colocada al final del tubo de escape .....	44
<b>Figura 23-2:</b>	Placa, con su protector, instalada en el vehículo.....	44
<b>Figura 24-2:</b>	Sistema de recolección de datos en el vehículo .....	44
<b>Figura 25-2:</b>	Ruta seleccionada para las pruebas dinámicas .....	47

<b>Figura 26-2:</b>	Ruta seleccionada para las pruebas en movimiento .....	48
<b>Figura 27-2:</b>	Pruebas en movimiento .....	48

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-1:</b>	Ciclo de conducción para ecuador.....	12
<b>Gráfico 2-1:</b>	Número de publicaciones a lo largo de los años.....	13
<b>Gráfico 3-1:</b>	Temperaturas de escape ATEG bajo una prueba NEDC, arranque en frío .....	14
<b>Gráfico 4-1:</b>	Temperaturas de escape ATEG bajo una prueba NEDC, arranque en caliente	14
<b>Gráfico 5-1:</b>	Temperatura vs. Longitud .....	15
<b>Gráfico 6-1:</b>	Distribución, temperatura/flujo de calor mediante un TEG en dirección radial	17
<b>Gráfico 7-1:</b>	Análisis CFD en el campo de la temperatura, probeta #6.....	18
<b>Gráfico 8-1:</b>	Temperatura vs. Presión.....	21
<b>Gráfico 9-1:</b>	Temperatura vs. puntos de estudio .....	22
<b>Gráfico 1-2:</b>	Árbol de problemas.....	26
<b>Gráfico 2-2:</b>	Árbol de objetivos.....	27
<b>Gráfico 2-3:</b>	Temperatura en la ciudad de Latacunga .....	49
<b>Gráfico 1-3:</b>	Prueba 1 con el sistema original, en la ciudad de Latacunga .....	51
<b>Gráfico 2-3:</b>	Prueba 2 con el sistema original, en la ciudad de Latacunga .....	51
<b>Gráfico 3-3:</b>	Prueba 3 con el sistema original, en la ciudad de Latacunga .....	52
<b>Gráfico 4-3:</b>	Prueba 1 bajo el ciclo PTEC-593, Temperatura VS. Número de mediciones ...	53
<b>Gráfico 5-3:</b>	Prueba 2 bajo el ciclo PTEC-593, Temperatura VS. Número de mediciones ...	54
<b>Gráfico 6-3:</b>	Prueba 3 bajo el ciclo PTEC-593, Temperatura VS. Número de mediciones ...	54
<b>Gráfico 7-3:</b>	Prueba 1, en la mañana y con sistema de escape original .....	55
<b>Gráfico 8-3:</b>	Prueba 2 en la mañana en relantí con el sistema de escape original .....	56
<b>Gráfico 9-3:</b>	Prueba 3 en la mañana en relantí con el sistema de escape original .....	56
<b>Gráfico 10-3:</b>	Prueba 1 al medio día, Temperatura VS. Número de mediciones, Hora.....	57
<b>Gráfico 11-3:</b>	Prueba 2 al medio día, Temperatura VS. Número de mediciones, Hora.....	58
<b>Gráfico 12-3:</b>	Prueba 3 al medio día, Temperatura VS. Número de mediciones, Hora.....	58
<b>Gráfico 13-3:</b>	Prueba 1 en la tarde, Temperatura VS. Número de mediciones, Hora.....	59
<b>Gráfico 14-3:</b>	Prueba 2 en la tarde, Temperatura VS. Número de mediciones, Hora .....	60
<b>Gráfico 15-3:</b>	Prueba 3 en la tarde, Temperatura VS. Número de mediciones, Hora .....	60
<b>Gráfico 16-3:</b>	Prueba 1 en la mañana, Temperatura VS. Número de mediciones .....	61
<b>Gráfico 17-3:</b>	Prueba 2 en la mañana, Temperatura VS. Número de mediciones .....	62
<b>Gráfico 18-3:</b>	Prueba 3 en la mañana, Temperatura VS. Número de mediciones .....	62
<b>Gráfico 19-3:</b>	Prueba 1, medio día con el header, Temperatura VS. Tiempo/Mediciones .....	63
<b>Gráfico 20-3:</b>	Prueba 2, medio día con el header, Temperatura VS. Tiempo/Mediciones .....	64



<b>Gráfico 21-3:</b>	Prueba 3, medio día con el header, Temperatura VS. Tiempo/Mediciones .....	64
<b>Gráfico 22-3:</b>	Prueba 1 en la tarde, Temperatura VS. Número de mediciones.....	65
<b>Gráfico 23-3:</b>	Prueba 2 en la tarde, Temperatura VS. Número de mediciones .....	66
<b>Gráfico 24-3:</b>	Prueba 3 en la tarde, Temperatura VS. Número de mediciones.....	66
<b>Gráfico 25-3:</b>	Prueba 1 en ruta, Temperatura VS. Número de mediciones, Hora .....	67
<b>Gráfico 26-3:</b>	Prueba 2 en ruta, Temperatura VS. Número de mediciones, Hora .....	68
<b>Gráfico 27-3:</b>	Prueba 3 en ruta, Temperatura VS. Número de mediciones, Hora .....	68
<b>Gráfico 28-3:</b>	Prueba 1 en ruta, Temperatura VS. Número de mediciones .....	69
<b>Gráfico 29-3:</b>	Prueba 2 en ruta, Temperatura VS. Número de mediciones .....	70
<b>Gráfico 30-3:</b>	Prueba 3 en ruta, Temperatura VS. Número de mediciones .....	70
<b>Gráfico 31-3:</b>	Comparación entre las medias de los valores individuales de las 3 pruebas .....	73
<b>Gráfico 32-3:</b>	Comparación entre las medias de los valores individuales de las 3 pruebas .....	75
<b>Gráfico 33-3:</b>	Comparación de medias, valores individuales de las 3 pruebas en la mañana .....	77
<b>Gráfico 34-3:</b>	Comparación, de medias, valores individuales de las 3 pruebas al medio día .....	78
<b>Gráfico 35-3:</b>	Comparación de medias, pruebas individuales en la tarde, sistema de escape original.....	80
<b>Gráfico 36-3:</b>	Comparación de medias, pruebas individuales en la mañana con el header .....	82
<b>Gráfico 37-3:</b>	Comparación de medias, pruebas individuales al medio día.....	84
<b>Gráfico 38-3:</b>	Comparación de medias, en las pruebas de la tarde.....	85
<b>Gráfico 39-3:</b>	Comparación de medias, pruebas en ruta .....	88
<b>Gráfico 40-3:</b>	Comparación de medias, pruebas individuales en ruta con el header .....	89
<b>Gráfico 41-3:</b>	Sistema original VS. Header, valores más altos, variable “Ca” .....	91
<b>Gráfico 42-3:</b>	Sistema original VS. Header, valores más altos, variable “AC” .....	92
<b>Gráfico 43-3:</b>	Ciclo de conducción VS. Relantí, variable “DC” .....	93
<b>Gráfico 44-3:</b>	Pruebas bajo el ciclo de conducción, con el sistema original y el header .....	95

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** ANOVA un solo factor: Pruebas bajo el ciclo de conducción PTEC-593, con el header instalado
- ANEXO B:** ANOVA un solo factor: Pruebas en la mañana con el header instalado, en relantí
- ANEXO C:** ANOVA un solo factor: Pruebas al medio día con el header instalado, en relantí
- ANEXO D:** ANOVA un solo factor: Pruebas en la tarde con el header instalado y en relantí
- ANEXO E:** ANOVA un solo factor: Pruebas con el header instalado en ruta
- ANEXO F:** ANOVA un solo factor: Pruebas bajo el ciclo de conducción con el sistema de escape original
- ANEXO G:** ANOVA un solo factor: Pruebas en relantí con el sistema de escape original en la mañana
- ANEXO H:** ANOVA un solo factor: Pruebas al medio día, en relantí con el sistema de escape original
- ANEXO I:** ANOVA un solo factor: Pruebas en relantí con el sistema de escape original, en la tarde
- ANEXO J:** ANOVA un solo factor: Pruebas en ruta, con el sistema original de escape

## RESUMEN

El objetivo del presente proyecto de investigación fue analizar el comportamiento de la temperatura en el tubo de escape a través de termocuplas antes y después de modificar el sistema de escape basado en el ciclo de conducción PTEC-593. Para lo cual se realizó una revisión bibliográfica en la cual se determinó el funcionamiento de los termo generadores y la distribución de la temperatura a lo largo del tubo de escape, siendo así 4 puntos los seleccionados para el estudio: colector de escape, antes del catalizador, después del catalizador y al final del tubo de escape, y así colocar las termocuplas de tipo K en el sistema de escape de un vehículo de 1000cc, el cual también se lo modificó al colocar un catalizador de 3 vías y fabricar un header con una tubería de 2 pulgadas de diámetro y acero SAE J403 1008. Las pruebas realizadas bajo el ciclo de conducción se las realizo en la ciudad de Latacunga, la cual se ubica a 2800msn y con un clima andino promedio de 12 °C , también se realizaron pruebas en relanti a diferentes horas del día y una última en la ruta denominada “el chasqui”, sometiendo así al vehículo a toda clase de escenarios reales posibles. Como resultado se obtuvieron temperaturas sobre los 417°C en el colector de escape y 310°C después del catalizador con el sistema original y bajo los 160 °C con el header al final del tubo de escape , mientras que en relanti no se superaron los 230°C. Se concluye que el mejor punto para colocar un termo generador es después del catalizador ,pues en este punto no incide en cuanto a una mala lectura de la sonda lambda que a su vez generaría consumo de combustible y una alta emisión de gases contaminantes.

**Palabras clave:** < INGENIERÍA AUTOMOTRIZ> <ENERGÍA TÉRMICA>  
<TEMPERATURA DE ESCAPE> <MÚLTIPLES DE ESCAPE> <CATALIZADORES>  
<CICLO DE CONDUCCIÓN>.



HOLGER GERMAN  
RAMOS UVIDIA

0122-DBRA-UPT-2022

2022-01-25

## SUMMARY

The objective of this research project was to analyze the behavior of the temperature in the exhaust pipe through thermocouples before and after modifying the exhaust system based on the PTEC-593 driving cycle. It was carried out a bibliographic review in which the operation of thermal generators and the distribution of the temperature along the exhaust pipe were determined. Thus being 4 points were selected for the study: an exhaust manifold, before the catalyst, after the catalytic converter, and at the end of the exhaust pipe. Thus, placing type K thermocouples in the exhaust system of a 1000cc vehicle, which was also modified by placing a 3-way catalyst and manufacturing a header with a 2-inch diameter pipe and SAE J403 1008 steel. The tests carried out under the driving cycle were carried out in the city of Latacunga, which is located at 2800 meters above sea level and with an average Andean climate of 12 °C. Idle tests were also carried out at different times of the day and the last one on the route called “El Chasqui”, thus subjecting the vehicle to all kinds of possible real scenarios. As a result, temperatures above 417 °C were obtained in the exhaust manifold, and 310 °C after the catalyst with the original system, and below 160 °C with the header at the end of the exhaust pipe. While idling temperatures did not exceed 230 °C. It concluded that the best point to place a thermal generator is after the catalyst because at this point it does not affect a bad reading of the lambda probe, which in turn would generate fuel consumption and high emission of polluting gases.

**Keywords:** <AUTOMOTIVE ENGINEERING> <THERMAL ENERGY> <EXHAUST TEMPERATURE> <EXHAUST MANIFOLDS> <CATALYSTS> <DRIVING CYCLE>.



## INTRODUCCIÓN

En la época industrial se ha considerado a los motores de combustión interna, como una base fundamental, al inicio de esta época, la contaminación y la energía producida no eran factores a los que se les daba la importancia necesaria ya que el verdadero fin era lograr desplazarse inmediatamente de un sector a otro en largos tramos.

El auge de estos motores fue en la época de los años 1960 hasta 1970 donde, el tener un motor “grande” era a lo que apuntaban los fabricantes, a raíz de esto también se iniciaron las modificaciones en los motores, para así aprovechar todo lo que consumían en combustible, es ahí donde encontraron una solución, esta fue la modificación más económica y viable, la cual era modificar su sistema de escape.

Es así como (Llanes Cedeño et al. 2018) con su investigación “ Evaluación energética y exergética en un motor de combustión interna ciclo Otto de 1.6L”, determina que el calor transferido por estos gases de escape son los que causan las mayores pérdidas, seguidos del calor cedido al sistema de refrigeración con un 32% y 28 % respectivamente.

Dentro de los muchos avances tecnológicos en el campo industrial y automotriz, se encuentra el desarrollo de los tubos de escape para los motores de combustión interna.

Los colectores de escape se diseñan para soportar temperaturas de hasta 1100 °C dependiendo el material del cuál estén fabricado, debido a que según (Guamán et al., 2019), los gases de escape saldrán con mayor rapidez de la cámara de combustión al generarse las máximas potencias del motor, existiendo un menor tiempo de enfriamiento del colector.

Aunque con respecto a los tubos de escape se pueden tratar infinidad de temas, (la temperatura y el calor residual generado) en el diseño de éstos siempre ha existido un conflicto que debe balancearse para optimización de calidad y desempeño: menor contaminación auditiva y emisiones que puedan generar contaminación ambiental.

Los diferentes tratados y convenciones, durante algunos años, han tratado de disminuir los gases contaminantes y ocupar toda esta energía desperdiciada, es así como las normas EURO son las pioneras hoy en día para controlar y mitigar todo esto.

En un motor de combustión interna con encendido provocado, en cuanto a la producción de emisiones capaces de provocar contaminación, se considera como un factor significativo a la cantidad de oxígeno que ingresa a la cámara de combustión, pues esta disminuye conforme se incrementa la altura y se reduce la presión atmosférica. Los resultados de (Arroyo et al., 2020) demuestran que, a medida que se incrementan los rpm del motor aumentan las emisiones de CO.

Además, que los gases de escape varían su composición disminuyendo el porcentaje de volumen de CO<sub>2</sub>, como consecuencia de la reducción de la presión atmosférica.

Uno de los factores que afectan la salida de estos gases combustionados es la altura en la que se desarrollan los motores y si a esto lo acompañamos de un ciclo de conducción inadecuado para la ciudad, tenemos una combinación perfecta de contaminación y de energía desperdiciada

Entonces si a mayor altura tenemos más gases contaminantes, y con un diseño en el que estos gases puedan circular mejor, se obtendrían mayores cantidades de energía que se puede reutilizar.

La termoelectricidad es la perfecta solución para recuperar dicho calor perdido que generan los gases de escape, transformándolos en energía eléctrica de forma sostenible, rápido y directo; empresas multinacionales como BMW, Ford, Renault y Honda han mostrado su interés por esta aplicación y han realizado numerosos estudios para su posible implementación, y hoy en día sigue en fase de desarrollo. (Diez García 2017)

Convertir una parte de la energía térmica producida en el motor, la cual es liberada a la atmósfera a través de los gases de escape como calor residual, en electricidad por un generador termoeléctrico (TEG) es una tecnología que ha ganado mucha atención en la última década, aunque está bien explorada desde hace mucho tiempo, aún queda mucho camino de investigación y desarrollo de prototipos para mejorar la eficiencia de estos sistemas.(Saura Vidal, 2015)

Hoy en día existe un gran número de empresas destacadas en el sector de la automoción que están desarrollando sus propios proyectos de investigación respecto al tema del uso del ciclo de Rankine para la recuperación de parte del calor que se pierde en los motores de combustión interna, algunas aseguran que consiguen un aumento de entre el 10 y el 15 % de la potencia.

Es así como (Balseca Sampedro et al., 2020) en su estudio, “Proceso termodinámico que permite transformar calor residual de automóviles en energía eléctrica”; usan celdas Peltier, generando un voltaje estable de 5 voltios para cargar dispositivos electrónicos, basándose en el efecto Seebeck.

Además, esta investigación es muy importante, pues no existen datos en condiciones reales de conducción, pues (Zambrano Tenesaca , 2019) prueba en un vehículo Chevrolet Sail en ralentí, al final de su tubo de escape obtiene una temperatura de 40°C y con una carga completa, obtiene 70°C.

Por lo tanto, la presente investigación se desarrolla con el fin de conocer las secciones en donde la temperatura generada por estos gases sea la más alta dentro del sistema de escape de un automóvil, a través de la modificación del sistema de escape con un header para así con la ayuda del ciclo de conducción PTEC-593, analizar los datos y que esta investigación sea el inicio de muchas más en donde se pueda usar esta temperatura para reducir las pérdidas generadas por la combustión.

## CAPITULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Justificación

En el Ecuador existen 1'965.538 vehículos livianos, para los cuales no existe una ordenanza que delimite la temperatura en sus escapes, es por eso por lo que en nuestro país la “modificación” más común, es la implementación de un header en el sistema de escape, muchas veces sin conocer el beneficio o perjuicio que esto puede producir en cuanto a las emisiones generadas.

La pérdida de calor que provoca la combustión de motor cotidiano en nuestro país, dada la altura de nuestra región y al tener ciudades muy congestionadas, no ha sido estudiada, este es el inicio para proponer nuestra investigación.

La energía liberada al medio ambiente por medio de los gases de escape es de 30-40% (Fabian et al., 2015) cual no es aprovechada de ninguna manera, hablando de temperatura, nominalmente es de 450°C a 600°C.

España es una de las pioneras en este campo investigativo pero la mayoría de las universidades centran sus investigaciones a motores estacionarios, sin tomar en cuenta algún ciclo de conducción o aún más las condiciones de temperatura de los países andinos como el nuestro, sin embargo, el estudio más cercano a nuestras condiciones es el aplicado a un motor Wartsila en Petroamazonas donde, con una carga del 50% y a 720 rpm, se logra obtener 380 °C, al final de su sistema de escape este calor es recuperado y se emplea en el proceso de deshidratación del crudo producido. (Banda and Gutiérrez, 2016)

Algo similar nos propone la Universidad Autónoma de Nuevo León, quienes con su grupo de investigación proponen que se estudie en un motor de combustión interna de diésel de la marca Cummins modelo 6BTA, de 5.9 litros, el “Análisis numérico de la geometría de un intercambiador de calor para su acoplamiento en un sistema de generación termoeléctrica para los gases de escape de un motor de combustión interna mediante CFD”, para así obtener que la distribución de temperatura superficial de su probeta de estudio es casi uniforme(en una única sección del sistema de escape de todas las pruebas disponibles), ya que obtienen caídas de temperatura de: 17 °C para 800 rpm, 15 °C para 1200 rpm y 14 °C para 1600 y 2000 rpm. Además, esto se encuentra

relacionado con el acontecimiento de que a 800 rpm se tiene una transferencia de calor hacia el exterior mayor que a 2000 rpm. (Aguñaga Ramírez et al., 2018)

Por ello se requiere un estudio experimental para saber el punto crítico de calor que existe en este sistema de escape, pues al inicio del escape, en el colector tenemos una temperatura promedio de 200 °C, en el catalizador la temperatura baja a un promedio de 130 °C y al final llega tan solo a ser 70 °C (Balseca Sampedro et al., 2020) estos datos son teóricos.

También al no tener rangos de temperatura reales analizados no se ha podido delimitar si la gasolina usada en nuestro país ayuda para obtener un mejor rendimiento del par motor de nuestro vehículo e inclusive si es necesario prohibir esta modificación en el sistema de escape de cualquier vehículo en el país.

Algo cercano a los datos que requerimos es la investigación de la Universidad Internacional SEK, la cual evalúa en un motor de 1.6L y con rangos de velocidad parecidos al del ciclo PTEC-593, pues a 50 km/h, obtienen 362 °K en el escape, pero a la salida disminuye en 295 °K y al aumentar la velocidad a 90km/h obtienen 386 °K en el escape, pero a la salida disminuye en 296.1 °K. (Llanes Cedeño et al., 2018)

A pesar de que nuestra investigación solo se dirige al estudio de la temperatura generada y en qué punto se eleva la misma, servirá también para conocer si una modificación artesanal del sistema de escape de uno de los vehículos más comunes del país es eficaz, o si es necesario que se analice el flujo del gas y la turbulencia generada en el colector de escape o en la tubería, a través de un modelado, para además analizar si la pérdida es mayor o menor e inclusive cual es la variación de la celeridad de los gases a la salida.

## **1.2. Problema**

Los estudios desarrollados actualmente sobre la recuperación de energía mediante la aplicación de termo generadores aprovechando los gases combustionados fundamentan su aplicación mediante estudios desarrollados en como fluyen dichos gases para de esta forma ubicarlos estratégicamente.

Los ensayos de dispositivos o instrumentos para recuperar energía, por lo general se desarrollan en laboratorios o bancos de prueba. En la búsqueda de sumar resultados a estas investigaciones se desarrollará el estudio de la temperatura en el flujo de estos gases combustionados a través de toda línea de escape considerando los aspectos originales y posteriormente medicaciones el colector de escape con la aplicación de termocuplas con la ejecución de pruebas dinámicas y estáticas en un vehículo.



### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo general***

Analizar el comportamiento de la temperatura en el tubo de escape a través de termocuplas antes y después de modificar el sistema de escape basado en el ciclo de conducción PTEC-593.

#### ***1.3.2. Objetivos específicos***

- Comprender los aspectos de recuperación de energía en el sistema de escape y la distribución de temperatura en el mismo.
- Crear un sistema de adquisición de datos de la temperatura generada usando termocuplas colocadas en sitios específicos del sistema de escape.
- Recopilar datos de temperatura producida en los dos sistemas de escape en el vehículo Suzuki Forsa 1 con la ayuda de pruebas estáticas y dinámicas usando el ciclo de conducción PTEC-593.
- Analizar estadísticamente los datos proporcionados por las pruebas efectuadas, para saber cuál es el sitio donde se podría reutilizar esta energía disipada.

### **1.4. Hipótesis**

El diseño de un colector de escape tiene repercusión en la temperatura de los gases de escape en los vehículos que circulan a una altura superior a 2700 msnm.

## **1.5. Estado del arte**

### ***1.5.1. Sistema de escape***

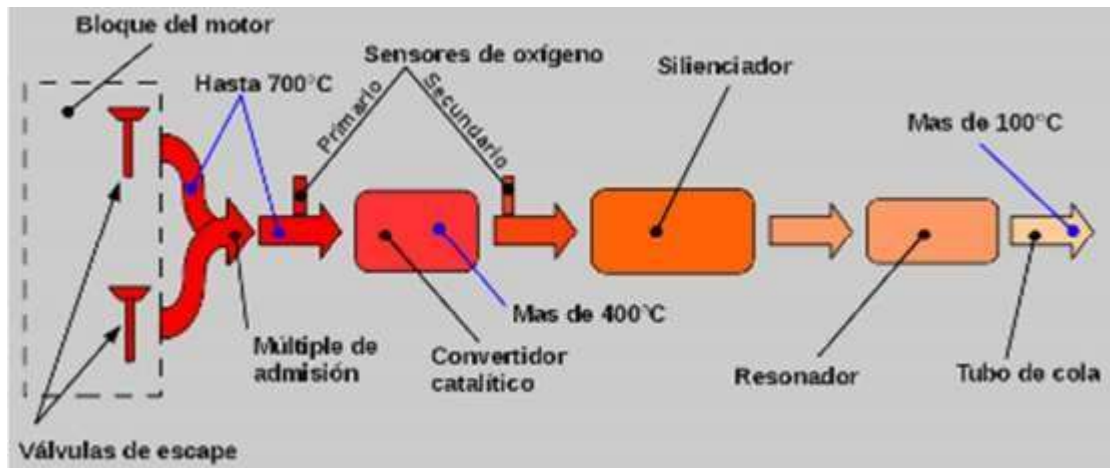
El circuito de escape es un conjunto de componentes que intervienen en la evacuación de los gases producidos por la combustión del motor hacia la atmósfera. Todos los componentes que se encuentran en contacto con estos gases deben estar diseñados para soportar altas temperaturas y no sufrir una expansión excesiva.

El sistema de escape del motor de recambio posee dos funciones, se encarga de evitar o reducir la contrapresión de escape, evacuar los gases de combustión producidos por el motor y también de reducir el ruido generado causado por el proceso que genera ondas de presión en el flujo de aire.

Como se dijo la finalidad del sistema de escape no es solo vaciar los productos de combustión, sino que también es directamente responsable de parte de la potencia disponible del vehículo. El diseño de estos sistemas debe ser cauteloso. Si tiene una gran firmeza a la resistencia de los gases de escape, el motor perderá eficiencia, y si se descargan de forma libre también, esto se debe a las características de pulsación del MCI, por lo que es bueno tener un diseño que pueda utilizar la onda pulsante del propio sistema para optimizar el vaciado del cilindro.

En algunas ocasiones evitar que se pierda temperatura de los gases en el colector de escape es lo necesario, ya que dicha temperatura va a parar al compartimento del motor haciendo así que se caliente el múltiple de escape y a la vez el aire de admisión provocando una reducción de la eficiencia del motor, (Carrera Lovato, 2019), esto cuando se tiene motores diseñados de tal forma que los colectores se encuentren juntos.

Se sabe que inclusive los motores de combustión interna (ICE) más avanzados solo pueden convertir un máximo del 35-40% de la energía del combustible en potencia mecánica. Esto inmediatamente después de abandonar la cámara de combustión del motor, los gases de escape pueden tener una temperatura que varía de 800° C a 900° C. En consecuencia, los gases de combustión tienen un alto contenido de calor, transportando hasta el 33% de la energía del combustible al medio ambiente, no solo desperdiciando recursos energéticos, sino también acelerando el grave problema de las emisiones de carbono. (Huang et al., 2018)



**Figura 1-1:** Partes del sistema de escape de un MCI.

Fuente:(Fernández Junca, 2014).

Aunque (Bai et al., 2014) nos dice que: “Después de pasar por el convertidor catalítico y varias tuberías de conexión, la caída de presión se acerca a la presión atmosférica y la temperatura disminuye a 300° C debido a pérdidas locales y por fricción y fugas de calor. El estado inicial del gas de escape en la entrada es importante como fuente de calor ya que determina el calor máximo disponible en referencia al estado de la atmósfera.”

### 1.5.2. *Colector de escape*

Llamamos colector de escape a una red de tuberías, que se conecta al tubo de escape del automóvil este se encarga de recibir el gas generado por la combustión del motor y descargarlo al exterior.

Uno de los requerimientos más importantes del colector o múltiple de escape es tener suficiente resistencia, para así mientras se den altas temperaturas de funcionamiento evitar la corrosión, también es necesario evitar un alto enfriamiento por calor, por lo que suelen tener paredes metálicas más gruesas.

Un concepto más claro es que nos brinda (Chinbolema León and Guaytoso Moreta, 2015) , pues nos dice que este se encuentra ubicado en un lateral de la culata (según el diseño del motor) y va anclado a ésta con una junta de escape que asegura acople perfecto. Ambos elementos deben estar diseñados para soportar las altas temperaturas generadas por la combustión, habitualmente son fabricados por una fundición de hierro para prevenir posibles escapes que disminuyan el rendimiento del motor.

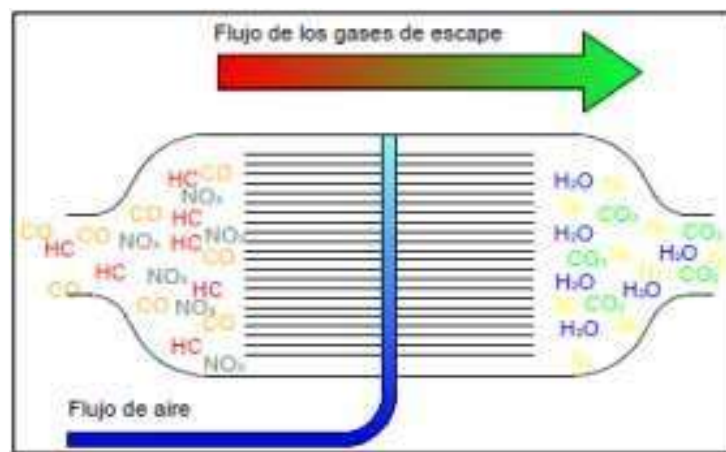
### 1.5.3. Catalizador

El convertidor catalítico es un dispositivo diseñado para convertir químicamente los contaminantes CO, HC y NO<sub>x</sub> del sistema de escape de los automóviles en emisiones menos dañinas, como H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> mediante reacciones de oxidación (CO y HC) y reducción (NO<sub>x</sub>).

La transformación de los gases tóxicos a no tóxicos es más eficiente cuando el catalizador alcanza una temperatura de alrededor de 750°C, misma temperatura que llegan a obtener los gases combustionados. (Carrera Lovato, 2019)

Los más comunes son los catalizadores de 3 vías (TWC)

Los TWC tienen la ventaja de realizar la oxidación de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y la reducción de óxidos de nitrógeno simultáneamente. Los metales nobles se utilizan generalmente como fase activa en los TWC. Los catalizadores de Pd son especialmente atractivos ya que el Pd es, con mucho, el metal noble económico en el mercado y tiene una buena selectividad y actividad para los hidrocarburos. El rodio, el otro componente vital de los catalizadores de tres vías, es ampliamente reconocido como el catalizador más eficaz para promover la reducción de NO a N<sub>2</sub>. El rendimiento de los TWC en cuanto al control de emisiones puede verse afectado si se hace funcionar el catalizador a temperaturas elevadas superiores a 625 ° C. (Kumar, Kumar and Singh, 2017)



**Figura 2-1:** Flujo de los gases combustionados en el catalizador

Fuente:(Mena Carrera, 2020).

Aunque según (Balseca Sampedro et al., 2020) su investigación nos dice que, esta parte del sistema de escape se encuentra a una temperatura de 154.6°C a 118.6°C.

### 1.5.3.1. Normas Euro

Estados Unidos es uno de los pioneros en cuanto al control de emisiones generadas por automóviles, ya que publicó la "Enmienda de la Ley de Aire Limpio". En la cual se tenía como objetivo principal que las emisiones de HC, NOX y CO sean menores al 90% dentro de los últimos años, 1975 y 1976. El Nivel II estándar se estableció en 2004. En comparación con el estándar en la década de 1970, el HC se ha reducido en un 98% y el CO en un 95%.

El nivel EURO I se introdujo en 1992, EURO II en 1996, EURO III en 2000, EURO IV en 2005, EURO V en 2009 y EURO VI en 2014 reduciendo más del 90 % de gases tóxicos de los vehículos con relación a periodos anteriores.

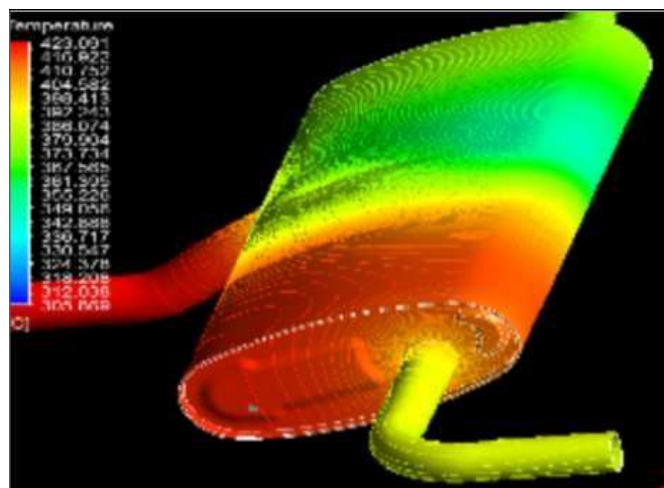
### 1.5.4. Tubería

Está compuesto o repartido en varias partes como, la conexión entre el múltiple y el catalizador, el catalizador y el silenciador y el final del tubo.

Su función es expulsar definitivamente los humos que emanan del motor y evitar que se queden debajo del vehículo.

### 1.5.5. Silenciador

Reduce los sonidos, producidos por la combustión, cabe recalcar que esta parte amenora el rendimiento al motor, puesto que limita la salida de gases del motor, esto se encuentra a una temperatura de 94.53°C a 58.47°C.(Balseca Sampedro et al., 2020)



**Figura 3-1:** Disposición del calor en el silenciado.

Fuente:(Montúfar Paz et al., 2018).

**Tabla 1-1:** Comparación de temperatura

Temperatura en el punto de prueba				
		1.7m/s- 800rpm	5.2m/s- 3500rpm	7.1m/s- 5000rpm
Original	Temperatura ° C	418.364	421.312	421.321
Alternativa 1	Temperatura ° C	415.974	419.804	420.429
	Diferencia original	0.57%	0.36%	0.21%
Alternativa 2	Temperatura ° C	395.354	406.386	408.162
	Diferencia original	5.50%	3.54%	3.12%

**Fuente:** Análisis del comportamiento acústico y optimización del material del escape de automóviles livianos equipados con turbo compresor mediante herramientas de dinámica de fluidos computacionales.

**Realizado por:** (Montúfar Paz et al., 2018)

**Nota:** Según el estudio hecho de su prototipo obtuvieron diferentes valores de temperatura transferida al sólido en un punto de la tapa lateral silenciador original y las alternativas.

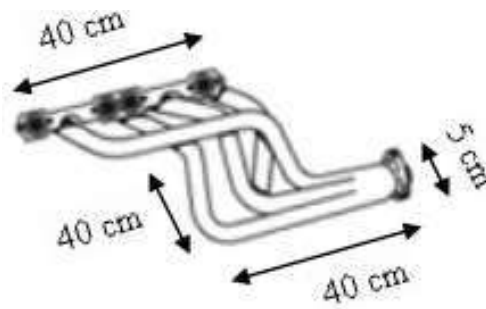
### **1.5.6. Header**

La función del header es eliminar la contrapresión del colector, esto se logra brindándole un tubo de escape a cada cilindro, y no solo uno para todos los cilindros. Estos tubos se juntan en un conducto más grande llamado colector. Cada tubo debe tener el mismo tamaño y longitud porque son iguales, lo que asegura que el gas en cada cilindro se mueva al colector de manera justa con suficiente espacio, evitando así la contrapresión de los cilindros que comparten el mismo colector.

La alta temperatura del colector de escape hace que pierda calor de forma apreciable hacia al ambiente, tanto por convección, como por radiación, salvo que se aíse térmicamente el múltiple de escape, labor un tanto inconveniente por la escasa duración de los materiales a temperaturas altas, que pueden llegar a los 1.000 °C en motores rápidos de gasolina. (Lecuona and Legrand, 2015)

El sistema de escape influye directamente sobre el funcionamiento del motor si es demasiado libre el motor aumenta su potencia, es decir, el cilindro se vacía mejor después de cada explosión. Si está demasiado obstruido el motor muestra falta de potencia. (Carrera Lovato, 2019)

Razón por la que se realizan modificaciones a la salida de los gases de escape de diferentes maneras, con el fin de ganar potencia en el vehículo.



**Figura 4-1:** Dimensiones promedio de un header

Fuente:(Imbaquingo Taimal, 2010)(Anida and Salisa, 2019)(Montúfar Paz et al., 2019)

### **1.5.7. Tipos de configuración de salidas de escape**

#### **1.5.7.1. Configuración 4-2-1**

La configuración 4-2-1 consta de dos partes de un colector cuya salida está conectada en un solo tubo para ingresar al silenciador. Esta configuración también se denomina "3Y" debido a la forma de sus juntas.

En esta configuración, se generan dos ondas de presión, que dan como resultado una potencia máxima en el rango de revoluciones medias.

#### **1.5.7.2. Configuración 4-1**

En la disposición 4-1, los cuatro tubos principales del colector se fusionan en forma de cono y convergen con el diámetro del silenciador.

En esta configuración, se generará una única onda de presión con mayor amplitud, que actuará en un único intervalo de rotación, generalmente a mayores velocidades del motor.

Es de uso común en motores de competición.

### **1.5.8. Ciclo de conducción**

Un ciclo de conducción es una serie de parámetros que se utilizan principalmente para evaluar el rendimiento del vehículo, emisiones de este, consumo de combustible, estado del tráfico y también para el diseño, desarrollo y modelado del nuevo vehículo o de su motor tomando en cuenta la velocidad versus el tiempo. Gran parte de la información existente sobre el ciclo de conducción se basa en las condiciones del vehículo en una ubicación específica, como lo es el

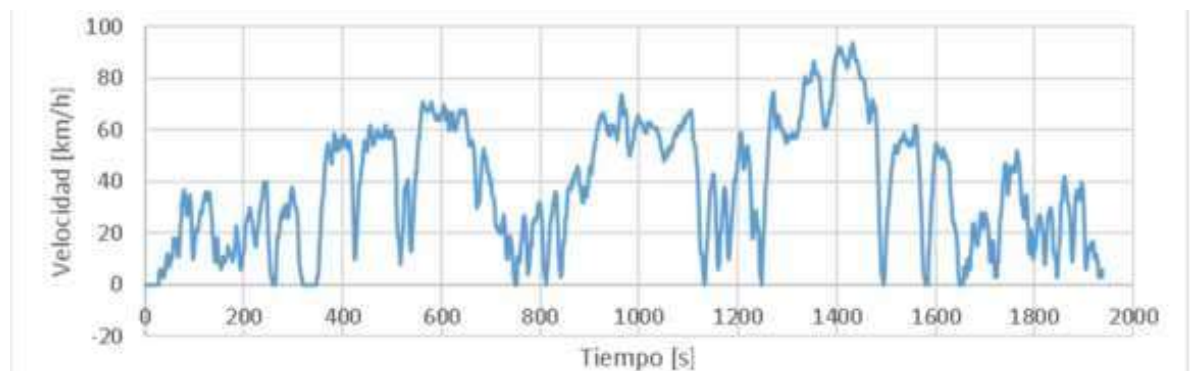
ciclo FTP75 de Estados Unidos, el ECE15 de Europa, en Japón el 10115 y otros. (Montúfar Paz et al., 2019)

### **1.5.9. Ciclo de conducción PTEC-593**

Creado por docentes pertenecientes a la ESPOCH, como consecuencia de la necesidad de un ciclo de conducción que se pueda aplicar en nuestro país.

Dicho ciclo estima dos fases de circulación dentro de una ciudad a velocidades moderadas (40 y 50 km/h) y una fase final de carretera con una disminución de aceleraciones y velocidades de punta (hasta 90 km/h). (Fernández Junca, 2014)

Se toma en cuenta además un ciclo de conducción para nuestra investigación ya que, en el proceso de conducción real, la temperatura a lo largo del sistema de escape y la temperatura del gas producido cambiarán según las condiciones de funcionamiento del motor.



**Gráfico 1-1:** Ciclo de conducción para Ecuador

Fuente:(Picco et al., 2016)

### **1.5.10. Recuperación de energía**

Al calor contenido tanto en los productos como en los subproductos del proceso, se conoce como calor residual, mismo que elevará su temperatura por encima de la temperatura adecuada para la descarga o el almacenamiento. Este calor se puede utilizar para lograr dos objetivos al mismo tiempo:

- Recolectar y dispersar el calor, con la finalidad de reutilizarlo en otros dispositivos o en el mismo dispositivo.
- Disminuir la temperatura de descarga del fluido y así limitar la contaminación térmica.

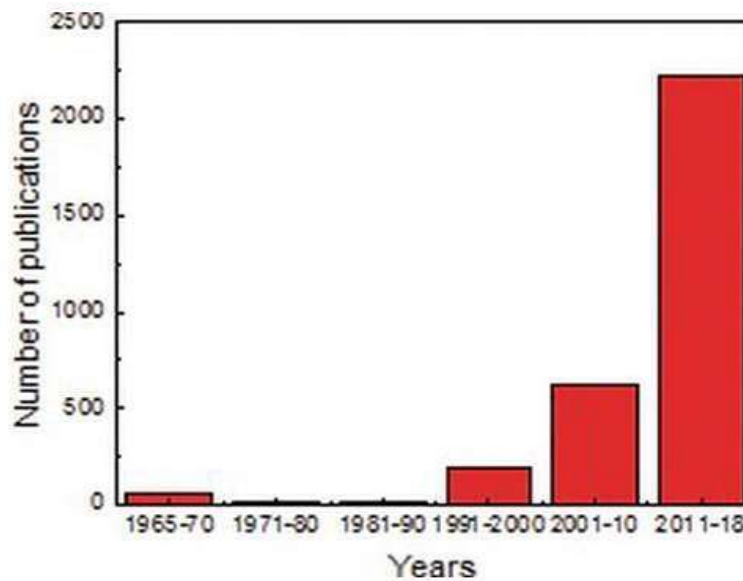


Tanto la eficiencia general de la planta, como la eficiencia energética del equipo pueden tener una mejora significativa mediante el uso de este calor. La capacidad de utilizar ese calor aumenta mientras mayor sea la temperatura de la fuente de calor residual.

La indagación realizada por (Fernández Junca, 2014) aclara que las líneas de aprovechamiento de calor residual son dos principalmente:

- La recuperación del calor residual generada por los gases de combustión, así una reducción en la temperatura de emisión de estos gases (aproximadamente 20°C) involucra un incremento del rendimiento energético de 1% en una caldera. Se pueden generar ahorros significativos debido a que los gases de combustión al salir poseen elevadas temperaturas, generando mayor posibilidad en cuanto a disminuir la temperatura.
- La recuperación del calor residual de otros fluidos, esto incluye aprovechar el calor de las aguas residuales calientes, generadas en los procesos de refrigeración de los equipos. Aquí existe una menor posibilidad de aprovecharlos, además las temperaturas son inferiores a la de los gases que son producto de la combustión.

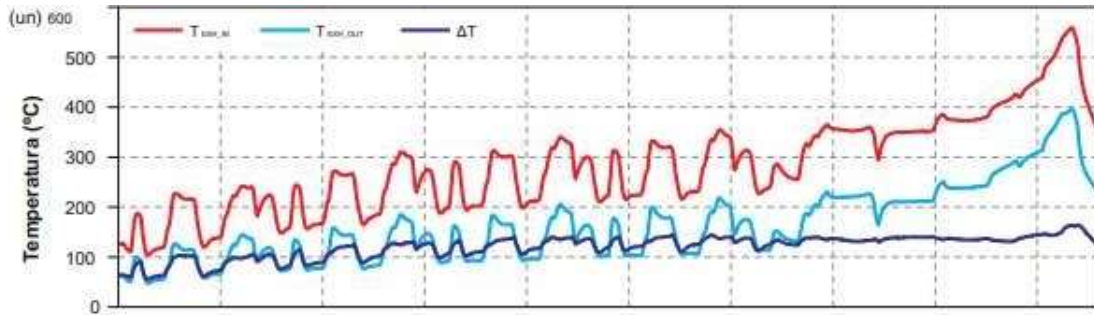
Estas investigaciones se han intensificado con el transcurrir de los años.



**Gráfico 2-1:** Número de publicaciones a lo largo de los años

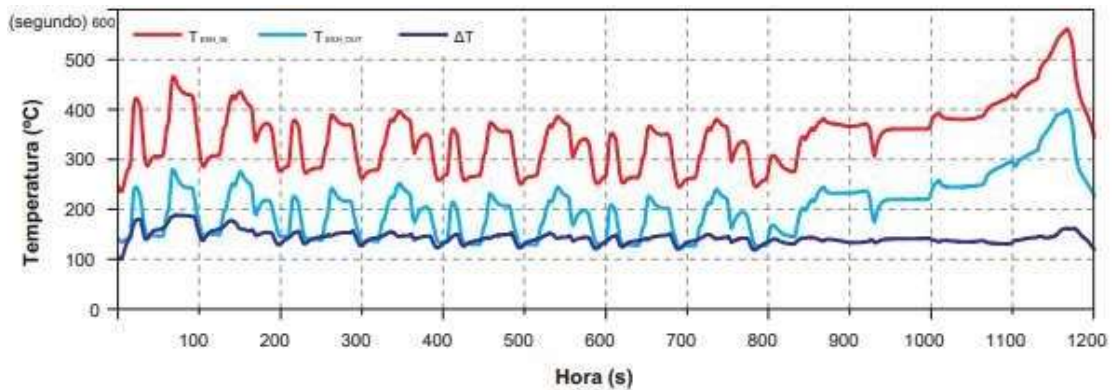
Fuente:(Balseca Sampedro et al., 2020)

Como ejemplo de este afán y necesidad de reutilizar la energía tenemos a (Massaguer et al., 2017), que en su investigación “Transient behavior under a normalized driving cycle of an automotive thermoelectric generator” utiliza los ciclos de conducción para analizar entre otras variables, la temperatura producto de la combustión en el sistema de escape del vehículo.



**Gráfico 3-1:** Temperaturas de escape ATEG bajo una prueba NEDC, arranque en frío

Fuente:(Massaguer et al., 2017)



**Gráfico 4-1:** Temperaturas de escape ATEG bajo una prueba NEDC, arranque en caliente

Fuente:(Massaguer et al., 2017)

#### 1.5.11. *Control de temperatura de los gases de salida de un motor de combustión interna, combustión pobre*

Como una de las formas de canalizar toda esa energía perdida, se han realizado múltiples investigaciones e incluso se han patentado ya nuevas tecnologías, una de ellas esta patente, “CLEAN BURN INTERNAL COMBUSTION ENGINE EXHAUST GAS TEMPERATURE CONTROL”, la cual se usa en un camión en el cual el controlador del motor calculara la fracción del pulso de inyección en un determinado tiempo también contiene un módulo de ajuste de parámetros del tren de potencia, una unidad de control de pulso de inyección y un monitor de post tratamiento, a través del cual se visualizarán los datos.

El monitor representa cualquier módulo, mecanismo y / o sensor (es) adecuado (s) que obtiene datos relacionados con la temperatura de un elemento de post tratamiento.(Younkins, Chen and Wilcutts, 2019)

Según (Younkins, Chen and Wilcutts, 2019) nos dice que:” Para limitar con éxito las emisiones del motor, todos los elementos del sistema de post tratamiento deben operar en un cierto rango de

temperatura elevada para funcionar de manera más eficiente. Dado que los catalizadores de 3 vías se utilizan en motores cuyo encendido es por chispa donde se controla el flujo de aire del motor, es relativamente fácil mantener una temperatura de escape del motor suficientemente elevada, en el rango de 400 C, para facilitar la eliminación eficiente de contaminantes en un catalizador TWC. Mantener un rango de temperatura aceptable de los gases de escape en un motor de combustión pobre es más difícil, ya que las temperaturas de escape se reducen por el exceso de aire que fluye a través del motor. Existe la necesidad de métodos y aparatos mejorados capaces de chequear la temperatura de los gases de escape generados por un motor de combustión pobre en una amplia gama de condiciones de funcionamiento del motor.”

### 1.5.12. Efecto Peltier

Descubierto por el físico, relojero y meteorólogo francés Jean Charles Athanase Peltier, en el año 1834. La esencia del efecto Peltier, surgió del descubrimiento del físico alemán Seebeck, es el contrario del efecto Seebeck. Se basa en pasar una corriente proveniente de una fuente de energía eléctrica continua, a través de un circuito formado por dos conductores mismos que deben ser de distinta naturaleza, así una de sus uniones absorbe calor y la otra lo cede. El calor que cede el foco caliente será la suma de la energía eléctrica dada al termoelemento y el calor que el foco frío absorbe. (Huang et al., 2018)

Por otro lado, entre las aplicaciones de este efecto, para aprovechar la energía desperdiciada, en el tubo de escape es la que logran generar (Balseca Sampedro, Mayorga Pérez and Viteri Núñez, 2019) pues logran 2.5 voltios usados para cargar dispositivos electrónicos, cabe recalcar que este sistema fue probado en con un ventilador que brindaba aire caliente luego de la simulación en ANSYS, nunca en el vehículo.

Los datos que arrojo dicha investigación fueron:



**Gráfico 5-1:** Temperatura vs. Longitud

Fuente:(Huang et al., 2018)

En donde en base a la distancia del calor provocado obtienen una temperatura.

Como resultados se puede decir que:

Según los datos mostrados se puede observar que experimentalmente hay una variación de temperatura de  $70.4^{\circ}\text{C}$ , obteniendo una tensión de  $2.5\text{V}$  y una corriente de  $7.35\text{mA}$ . El cual es semejante al valor obtenido en los datos teóricos y en la simulación, esto permite verificar la viabilidad en cuanto a aprovechar de mejor manera la energía residual del tubo de escape en un dispositivo para cargar celulares.

Al realizar el experimento en un rango inferior al que estaría sometido en la realidad se asegura el correcto funcionamiento del dispositivo, ya que las pruebas fueron realizadas con una velocidad de viento de  $2.5\text{ m/s}$  dentro de un ambiente cerrado, esto significa que al estar a la intemperie la variación de temperatura se producirá en un menor tiempo.

Mediante la experimentación se comprobó que el disipador empleado en este dispositivo cumple con las necesidades requeridas para disipar el calor que permite obtener la diferencia de temperatura necesaria para el funcionamiento del dispositivo.

Por la experimentación realizada se pudo comprobar que el voltaje obtenido por una celda es de  $2.5\text{V}$ , por lo tanto, para alcanzar el objetivo se debe conectar tres dispositivos en serie a lo largo del tubo de escape.

### **1.5.13. TEG**

El dispositivo generador de calor (TEG) se basa en el efecto Seebeck.

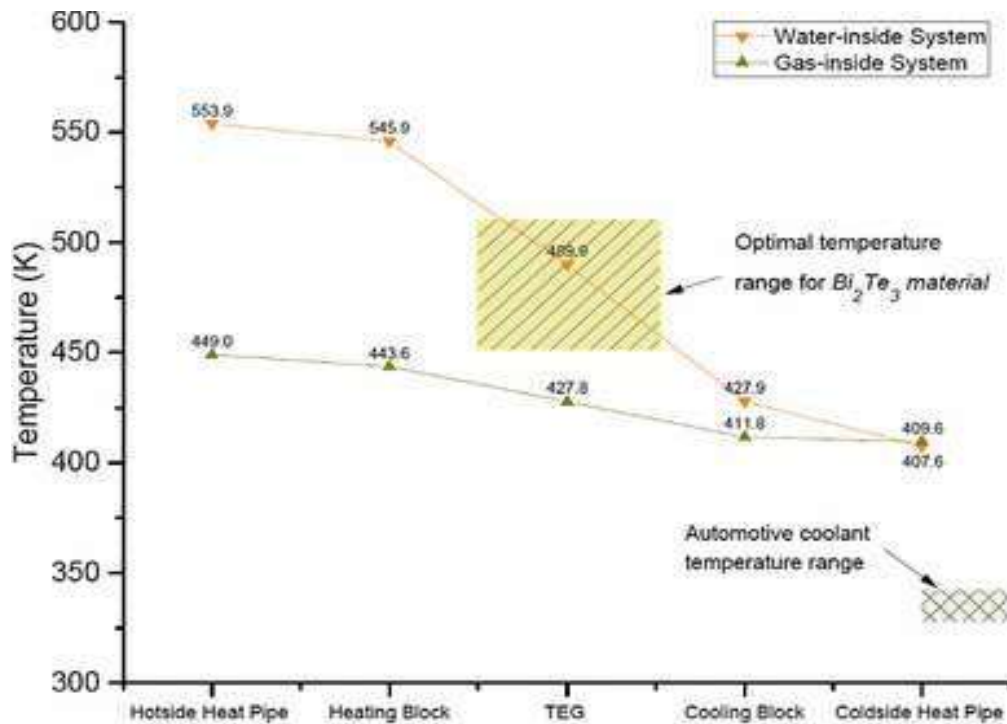
Puesto que, en los motores de combustión interna, alrededor del 40% de la energía del combustible se desperdicia en los gases de escape, el 30% se disipa en el refrigerante del motor, el 5% se pierde como radiación y fricción, y el 25% está reservado tanto para los accesorios del vehículo como para su movilidad.

Debido al espacio que se tiene disponible en el sistema de escape, esta es una tecnología muy llamativa y funcional, pero muy poco discutida en cuanto al espacio ocupado.

En el estudio “Un nuevo diseño de generador termoeléctrico para la recuperación de calor residual automotriz”, se presenta un diseño novedoso para un sistema TEG cilíndrico concéntrico. Este nuevo sistema utiliza las ventajas del tubo de calor para obtener mejores resultados en cuanto a la transmisión de calor en la dirección radial. Se llevó a cabo simulaciones para verificar el rendimiento del sistema TEG propuesto y se comparó las disposiciones del interior del gas y del agua. Los resultados encontrados, mostraron que el sistema de interior de agua produjo un

gradiente de temperatura más alto entre los lados fríos y calientes del módulo termoelectrico a 118 °K, que fue 86.2 °K más alto que para el sistema de interior de gas.(Picco et al., 2016)

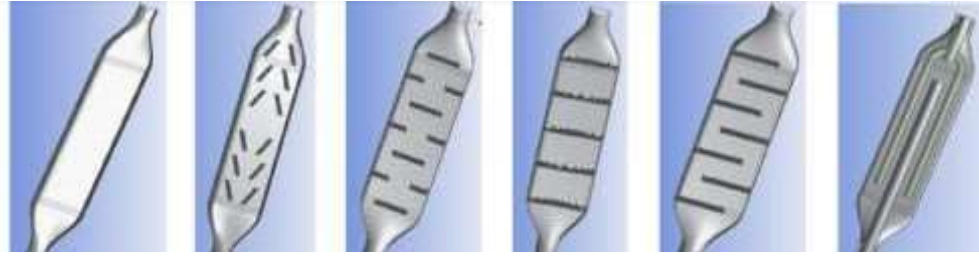
Cabe recalcar que, en dicha investigación, se usaron los ductos de refrigeración y el sistema de escape para llegar a la conclusión de que, en su nuevo diseño, por la geometría, el sistema de refrigeración o de agua, como lo llaman los autores, produce más calor y puede ser usado, para brindar mayores prestaciones, como se muestra en el siguiente gráfico.



**Gráfico 6-1:** Distribución, temperatura/flujo de calor mediante un TEG en dirección radial

Fuente:(Picco et al., 2016)

Otra de las investigaciones interesantes es la de (Bai et al., 2014), quien analiza seis intercambiadores de calor de escape diferentes dentro de la misma carcasa, y sus modelos de dinámica de fluidos computacional (CFD) se producen para después analizar la transferencia de calor y la caída de presión en los ciclos de conducción típicos de un vehículo con un motor de gasolina de 1.2 L.

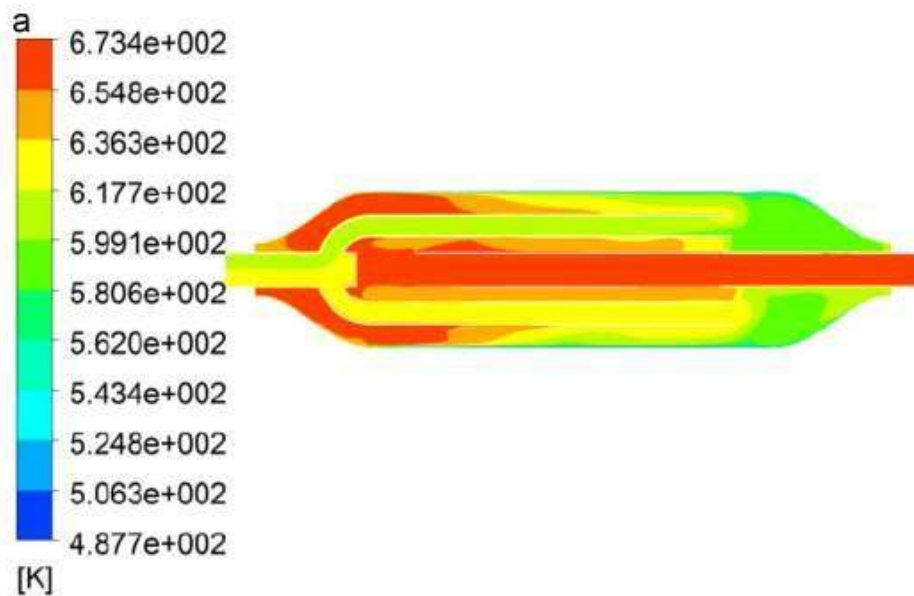


**Figura 5-1:** Intercambiadores de calor usados para el análisis CFD

Fuente: (Bai et al., 2014)

Donde uno de sus resultados fue en el campo de la temperatura, según (Bai et al., 2014):” Era relativamente uniforme en su conjunto; sin embargo, liberó el calor de 805 W, solo el 46.3% del total de la placa producida, mientras que la caída de presión de esta fue de 6.5 kPa, el 66.8% de. Los agrandamientos y contracciones repentinos de la entrada o salidas produjeron una caída de presión mayor que en otras estructuras.”

Siendo esta la probeta que más temperatura alcanzo, aunque no satisfacía al investigador.



**Gráfico 7-1:** Análisis CFD en el campo de la temperatura, probeta #6

Fuente: (Bai et al., 2014)

#### 1.5.14. AETEG

Implica convertir el calor residual disponible generado por los gases de escape en energía eléctrica, que se puede almacenar y utilizar para diversas entradas eléctricas de los vehículos para mejorar la eficiencia del combustible.

La distribución de temperatura en el intercambiador de calor a lo largo de la dirección del flujo de escape por lo general suele ser inferior en la región de entrada de gas debido a que existe pérdida de calor en el módulo TE, mismo que se encuentra ubicado cerca de la entrada. Esta falta de uniformidad en la distribución de la temperatura reduce la potencia de salida de los módulos de prueba, que supera una cierta longitud en el flujo aguas abajo.

Ahora como una breve reseña histórica de estos sistemas (Saura Vidal, 2015) nos dice que:

El primer intento de construir un AETEG y probar el escape de un motor fue realizado por Neild AB Jr. en el año 1963, posteriormente, se desarrolló un sistema para convertir los residuos producidos por la combustión, Takanose y Tamakoshi desarrollaron un TEG y lo demostraron en el escape de un automóvil. Este sistema generaba entre 100 y 130 W de potencia en diversas condiciones de conducción. Durante el mismo período, Bass y sus compañeros de trabajo desarrollaron una unidad de 1 kW usando 72 unidades de módulos HZ-13 y la probaron en un motor de camión diésel Cummins de 1.4 L. Los módulos BiTe fabricados por Hi-Z Technology Inc. USA, se dispusieron en una estructura de soporte de acero al níquel con una sección transversal octaédrica a través de la cual los gases generados fluyen cercanamente de la superficie interna, donde el lado frío de los módulos de pruebas lograron su objetivo usando el disipador de calor de aluminio.

Después de estas pruebas tenemos que, según (Saura Vidal, 2015) :

La primera evaluación cualitativa del efecto del sistema AETEG sobre la eficiencia de combustible del vehículo y las pérdidas parasitarias fue realizada, pero Thatcher et al, en una camioneta pickup ligera GMC Sierra modelo 1999. El estudio también enfatizó cuán importante fue la temperatura del lado frío en la salida de potencia general del TEG, con un sistema de capacidad de 330 W construido con 16 unidades de módulos HZ-20 fabricados por Hi-Z Technology Inc. EE. UU. El TEG produjo 117 W a una velocidad del motor de 112.6 km / h con el lado caliente y el lado del refrigerante de temperatura alrededor de 300 y 80 ° C, respectivamente. Después de disminuir la temperatura del lado frío a 15 ° C aumentó la potencia de salida a 229 W, lo que mostró que disminuir la temperatura del lado frío del módulo parece ser más beneficioso, a contrario a lo que sucedido en el lado caliente. que puede tener un efecto adverso en la durabilidad del módulo.

**Tabla 2-1:** Resumen de las propiedades físicas de los ATEG de varias investigaciones

Heat source	Max. ATEG power [W]		Temperatures [°C]			Cooling temperature [°C]	TE material	Exhaust flow rate [g/s]	Pressure loss [mbar]
	Steady-state eng. cond.	Transient engine conditions	TE hot side	TE AT	Exhaust gases				
Cummins NTC350 14l 300HP Diesel truck engine	1068	-	-	175	-	-	BiTe	-	-
Toyota 2l	266	-	-	270	650	25	Skutterudites/BiTe	-	-
Ruston 3YDA 3, 6l	42.3	-	-	237	650	-	BiTe	-	-
Ford Lincoln BMW X6	700	450 (US06 Driving Cycle)	-	-	625	20	Skutterudites	45	-
Combustor bench	35.6	-	-	396	595	25	SiGe	50	-
GMC Sierra 5.3l	177	-	283	-	550	88	BiTe	-	-
Chevy suburban	235	-	420	-	600	-	Skutterudites/BiTe	-	-
Engine simulator	350	-	-	-	600	10	BiTe	-	-
Experimental rig	250	-	-	-	600	-	Silicide	-	< 30
Light Duty Truck 2.3l diesel engine	500	150 (NEDC) 200 (WLTP)	-	-	450	-	BiTe	-	< 30
Golf 1.4 TSI	111	30	344	260	557	65	BiTe + PbTe	37	36

**Fuente:** Transient behavior under a normalized driving cycle of an automotive

**Realizado por :**(Massaguer et al., 2017)

**Nota:** La tabla 1-2 nos resume las investigaciones que se basaron en analizar la transferencia de calor del sistema de escape, dichas investigaciones se enfocaron en elementos como: el diseño de empaque del múltiple de escape, el catalizador y el tubo de escape en sí.

### 1.5.15. Ciclo Rankine

Debe su nombre al ingeniero y físico escocés William John Macquorn Rankine, quien fue su desarrollador.

El ciclo Rankine es un ciclo que opera con vapor que se utiliza en las centrales termoeléctricas, las cuales producen actualmente la mayor parte de energía, en este caso, eléctrica que se usa en el planeta. La idea básica detrás de todas las modificaciones en las que se busca incrementar el rendimiento de un ciclo de potencia es aumentar la temperatura promedio en la cual el calor se transfiere al fluido de trabajo en la caldera, o reducir la temperatura promedio del fluido de trabajo que libera calor al condensador.

Para llegar a cabo este ciclo se utiliza un fluido de trabajo que alternativamente evapora y condensa, típicamente agua o como es nuestro caso, combustible. El vapor de baja presión procedente de la turbina se introduce en un condensador donde el vapor cambia al estado líquido.

Hay estudios donde se demuestra que, para la recuperación de calor generado por estos gases es más eficiente el uso de un ciclo de Rankine que el de otros como el sistema Turbocompoundig, este sistema se basa en recuperar la energía de los gases de escape usando una turbina conectada directamente al cigüeñal.(Punov et al., 2017)



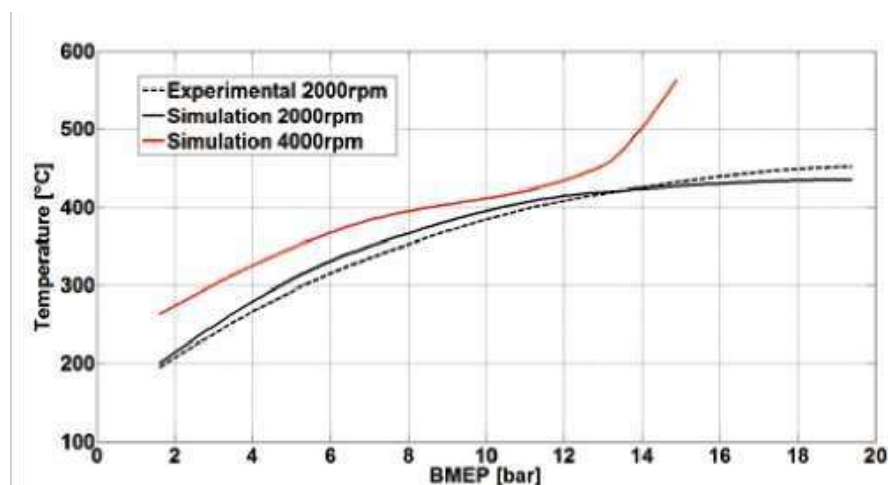
En un estudio efectuado por la Universidad Técnica de Sofía, que fue realizado en un motor estacionario a diésel de forma matemática y experimental, se optó por una velocidad igual a 2000 rpm, perteneciente a la eficiencia térmica máxima del motor y al par motor máximo.



**Figura 6-1:** Motor diésel de inyección directa de alta presión (HDI) de cuatro cilindros.

Fuente:(Punov et al., 2017)

Luego, para definir la tasa de liberación de calor a la velocidad del motor y las diferentes cargas en estudio se usa la presión en el cilindro. Esto se ejecuta utilizando el modelo de simulación del motor en AVL Boost, donde la temperatura del gas se mide 1.5 m después del turbocompresor. Esta parte del sistema de escape se considera adecuada para intercambiadores de calor que usan el ciclo Rankine, donde la temperatura de escape es de 196 ° C a 451.8 ° C y el caudal másico de escape es de 87.6 kg / ha 270.9 kg / h.



**Gráfico 8-1:** Temperatura vs. Presión

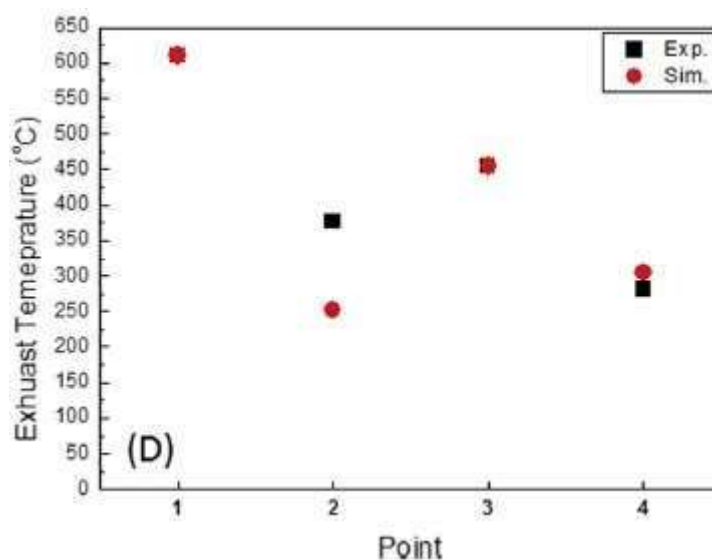
Fuente: (Punov et al., 2017)

En la gráfica de resultados se puede prestar atención que la temperatura de los gases de escape osciló entre 195 ° C y 451.8 ° C mientras que la masa del flujo está en el rango de 87.6 kg/h a 270.9 kg/h.

Significa que, la entalpía de escape en la sección analizada del sistema de escape está dentro del rango de 4.6kW a 37.3kW.

Mediante el modelo de simulación de motor, se analizaron los parámetros entre los cuales se encuentran los gases de escape con una velocidad del motor igual a 4000 rpm. También se observó que la temperatura de los gases de escape osciló entre 263 ° C y 563 ° C, mientras que el flujo másico osciló entre 244.4 kg/h a 490.3 kg/h. Por lo tanto, la entalpía de escape varió de 16.9 kW hasta 83.5 kW.

Otra investigación realizada en la universidad de Chungbuk , declara que aplicando un ciclo de conducción en un motor a gasolina se puede usar el ciclo Rankine para obtener mejor eficiencia energética y también que mientras más cerca estén los recuperadores o sobre calentadores , del colector de escape, lo que contradice un poco a la teoría de que antes del catalizar se puede encontrar una mayor temperatura, como podemos observar en la gráfica de sus resultados, siendo el punto 1 , el más cercano al múltiple de escape o colector de escape.



**Gráfico 9-1:** Temperatura vs. puntos de estudio

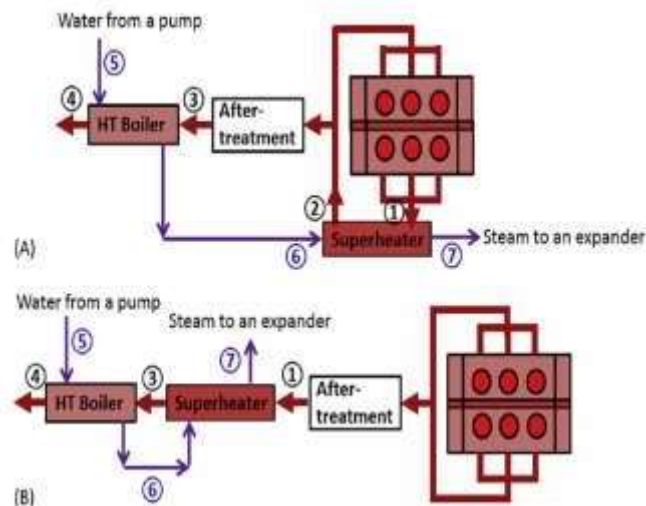
Fuente:(Kim et al., 2016)

Se realizó un estudio computacional para determinar la posición óptima de un sobre calentador usado en un sistema automotriz WHR integrado con un motor alimentado por inyección directa

de gasolina V6 de 3.3 L. y los resultados fueron validados mediante un estudio experimental. Independientemente de utilizar solo la mitad de flujo másico de escape, se descubrió que el sobre calentador montado cerca del colector de escape podía recuperar aproximadamente 3,8 kW más de calor residual del escape del motor en particular. La temperatura y el caudal másico del motor. En conclusión, el sistema Rankine de doble bucle es más ventajoso para los vehículos conducidos en los Estados Unidos o Europa en términos de mejorar el ahorro de combustible de motor. (Kim et al., 2016)

Para sus pruebas usa dos alternativas:

- a) El sobre calentador se coloca lo más cerca posible del colector de escape para lograr un gradiente de alta temperatura entre el escape y el combustible.
- b) El sobre calentador esté ubicado en una unión para recolectar el calor residual de todo el flujo de gas.



**Figura 7-1:** Alternativas de estudio

Fuente:(Kim et al., 2016)

## CAPITULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Diseño metodológico

##### 2.1.1. *Tipo de investigación*

Con la problemática planteada y los objetivos de esta investigación por alcanzar, se puede señalar que esta investigación es descriptiva, también es de carácter cuasi experimental y a la cual se le aplicó un método cuantitativo.

##### DESCRIPTIVA

Se considera una investigación descriptiva ya que, gracias a los resultados obtenidos se podrá interpretar y señalar la máxima temperatura que puede alcanzar el flujo de los gases de escape, el sitio exacto y bajo qué circunstancias se las obtienen.

Con los resultados a obtener se opta este tipo de posturas y aspectos relevantes ya que según (Cardona Arias, 2015), la investigación descriptiva es la más próxima a la realidad del fenómeno estudiado, dado que su finalidad es determinar qué está ocurriendo y cuáles son los subgrupos más afectados; investigando múltiples factores de exposición e incluso múltiples efectos.

##### CUASIEXPERIMENTAL

La investigación cuasi experimental tiene como objetivo probar hipótesis causales manipulando (al menos) una variable independiente en la que la unidad de investigación no puede asignarse aleatoriamente a cada grupo por razones lógicas o éticas. (Fernández García et al., 2014)

Es cuasi experimental porque tenemos dos variables generales (Rocha-Hoyos et al., 2019), las cuales las someteremos a diferentes pruebas, las cuales en ciertos parámetros serán controlados, pero no se puede tener el control de varios aspectos, cómo el clima o el tráfico exacto, mientras se realizan las pruebas.

##### CUANTITATIVA

La investigación cuantitativa se ocupa de cuantificar y analizar variables para obtener resultados, implica la utilización y el análisis de datos numéricos utilizando técnicas estadísticas específicas para responder preguntas como quién, cuánto, qué, dónde, cuándo, cuántos y cómo, también

describe los métodos para explicar un problema o fenómeno mediante la recopilación de datos en forma numérica. (Apuke, 2017)

Es una investigación cuantitativa ya que se va a determinar las máximas temperaturas generadas por estos gases, así mismo para estudiar el punto donde se obtienen estas y bajo qué circunstancias, etc.

### **2.1.2. Población y muestra**

#### **2.1.2.1. Población**

La población se encuentra conformada por aquellos motores de combustión interna a gasolina que funcionan sobre los 2700 msnm en el Ecuador, ya sean estos de 3 o 4 cilindros, con su sistema de escape modificado u original.

#### **2.1.2.2. Muestra**

Según la base de datos del INEC, los vehículos inferiores al año 2003, son los que lideran las encuestas de matriculación en el Ecuador, siendo el 24.4% de vehículos que circulan en el país.

De esta misma base de datos se extrae que la marca Suzuki es la tercera más usada en el Ecuador con el 7%, es por ello por lo que se ha seleccionado esta marca de vehículo pues cumple con el requisito de ser inferior al año de fabricación 2003 y ser uno de los más frecuentados por los ecuatorianos.

#### **2.1.2.3. Unidad de muestreo**

La unidad de muestreo viene a ser el vehículo Suzuki Forsa 1, al cual se le modificara su sistema de escape y en el cual se realizarán las pruebas de temperatura.

#### **2.1.2.4. Unidad de análisis**

La unidad de análisis viene a ser cada una de las temperaturas, en grados centígrados, que se obtienen en las diferentes pruebas y en los diferentes puntos dispuestos.

#### **2.1.2.5. Tipo de muestreo**

El método elegido para la muestra es el muestreo probabilístico, del tipo incidental.

Muestreo probabilístico debido a que, por los datos del INEC, se escogió un vehículo común en el país.

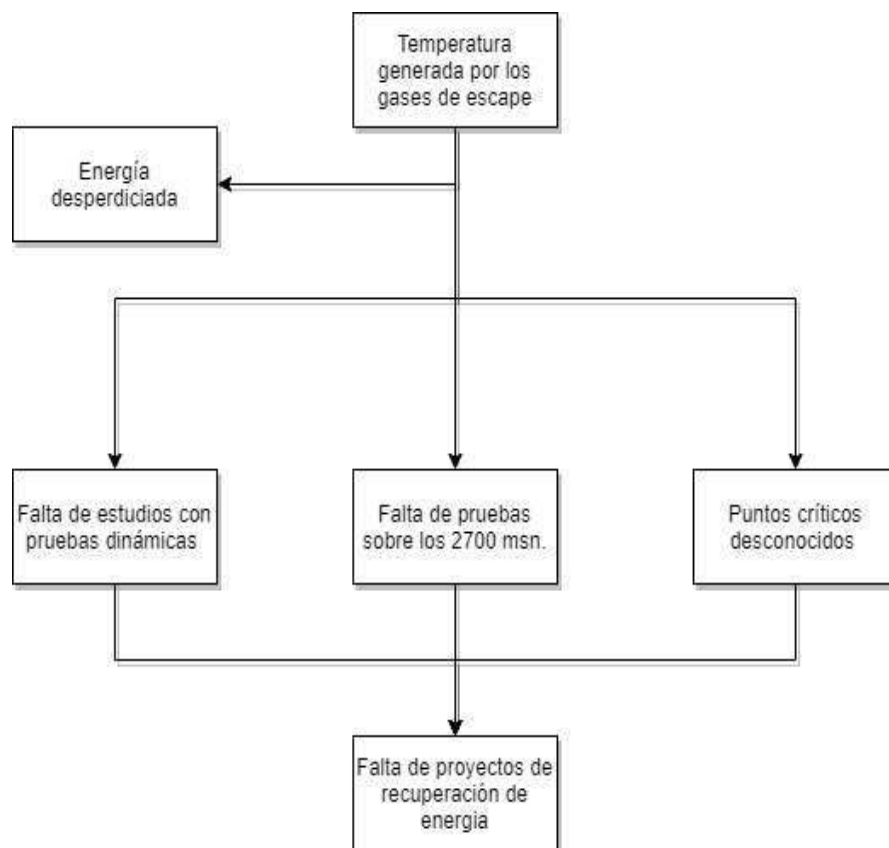
Del tipo incidental o casual porque para la toma de datos la población fue directamente escogida, ya que se tiene un fácil y directo acceso a él.

#### 2.1.2.6. Método de selección de la población

Según el INEC los vehículos de marca Suzuki son el tercer vehículo más usado en el país, al ser un vehículo accesible y fácil manipulación, es el ideal para nuestra investigación.

Después de revisión bibliográfica se procedió a seleccionar cuatro sectores donde se obtienen altas temperaturas de los gases de escape.

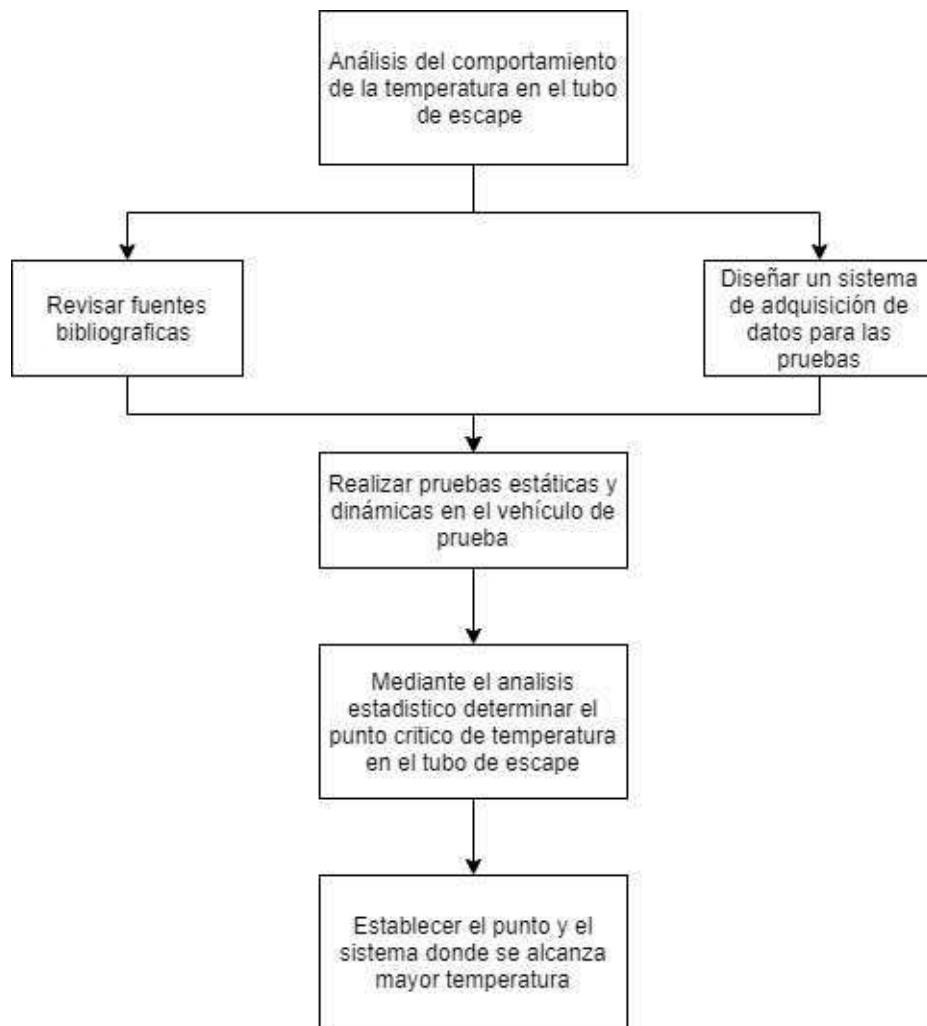
#### 2.1.3. Árbol de problemas



**Gráfico 1-2:** Árbol de problemas

*Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021*

#### 2.1.4. *Árbol de objetivos*



**Gráfico 2-2:** Árbol de objetivos

*Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021*

#### 2.1.5. *Análisis de variables*

Para la obtención de datos se realizó pruebas a través del ciclo de conducción PTEC-593 en la ciudad de Latacunga, pruebas en relantí y una prueba en ruta a fin de sacar todo el potencial que nos brinda un header en cuanto a la liberación de gases de escape, la obtención de datos se llevara a cabo a través de termocupla situadas en distintos sitios del tubo de escape y de una aplicación que nos permitirá ver en tiempo real las temperaturas y seguir almacenando para después ser estudiadas y analizadas.

Para realizar un análisis estadístico de los resultados obtenidos, primero es necesario captar los factores y niveles que inciden en el proceso de análisis de resultados, de manera que se promueva una serie de combinaciones que ayuden a visualizar los resultados. Hay que tener diferencias relativas para cada muestra. («Termocuplas» 2005)

**Tabla 1-2:** Designación de Factores y Niveles

Factores	Niveles	Designación
Escape	Original	A
	Header	B

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

### 2.1.6. *Nomenclatura usada*

Para hacer del análisis del estudio más fácil se designó una nomenclatura específica en los puntos de prueba.

**Tabla 2-2:** Puntos designados para el análisis en el escape

Sector	Nominación
Colector de escape	Ca
Antes del catalizador	AC
Después del catalizador	DC
Final del tubo de escape	FE

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

### 2.1.7. *Número de pruebas*

El total de pruebas realizadas se especifica en la siguiente tabla, ya que los datos que se obtendrá en cada prueba que tiene como un promedio de duración una hora, se realizaron tres pruebas, para un correcto análisis.

**Tabla 3-2:** Número de pruebas para el análisis

Niveles	Pruebas		
	Original	3	3
Header	3	3	3
Total	6	6	6

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021



## 2.1.8. Método de recolección de información

### 2.1.8.1. Procedimiento para la selección de la muestra

La temperatura será medida en cuatro puntos del sistema de escape

- Colector de escape (Ca).
- Antes del catalizador (AC).
- Después del catalizador (DC).
- Final del tubo de escape (FE).

Todas estas temperaturas serán tomadas en diferentes circunstancias provocadas para que sean altas.

### 2.1.8.2. Diseño del instrumento para la recolección de información

El instrumento diseñado para la recopilación de información es una aplicación en Android, que en tiempo real nos permite observar la temperatura en los cuatro puntos planificados para posteriormente realizar el análisis de temperatura obtenida, los datos se almacenan en un intervalo de 50 segundos, para que después puedan ser exportados para su análisis al culminar cada prueba, con la finalidad de obtener más datos, poder analizarlos estadísticamente y el estudio sea más fiable.

**Tabla 4-2:** Metodología a seguir para el instrumento de investigación

Creación del sistema de prueba (mecánico)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Selección del vehículo que sea más factible (varios puntos de vista)</li><li>• Adaptación de un catalizador al sistema original</li><li>• Fabricación del header para el vehículo de prueba</li><li>• Selección de sitios donde se instalarán los sensores</li></ul>
Creación del sistema de prueba (electrónico)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Selección de las termocuplas necesarias para el trabajo</li><li>• Creación de la placa que permitirá acoplar los sensores(termocuplas)</li><li>• Creación de la aplicación para observar en tiempo real los datos de temperatura</li><li>• Pruebas en un sistema fuera del automóvil</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Montaje de un sistema electrónico hacia sistema de escape del vehículo</li> </ul>
Pruebas (3)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pruebas de fiabilidad del sistema de obtención de datos</li> <li>• Pruebas bajo el ciclo de conducción PETC-593 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Con el sistema de escape original del vehículo</li> <li>○ Con la modificación del sistema de escape (header)</li> </ul> </li> <li>• Variantes de pruebas <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Estáticas (en relantí), con header y sin header</li> <li>○ En carretera (tramo largo, no ciudad)</li> </ul> </li> </ul>
Análisis de datos estadísticamente (Excel o mejor)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exportación de datos desde la aplicación.</li> <li>• Graficación de datos bajo el ciclo de conducción.</li> <li>• Graficación de datos de las variantes en otras pruebas</li> <li>• Análisis de las gráficas e interpolaciones de las dos variantes de probetas</li> <li>• Selección del punto donde se encuentre la mayor temperatura y bajo que circunstancia</li> <li>• Conclusiones del estudio</li> </ul>

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

### 2.1.8.3. Selección de los sensores

#### Termocuplas

Se conoce como termocuplas o termopares a los sensores de temperatura más utilizados en la industria.

Las termocuplas están hechas de dos cables de diferentes materiales conectados en un extremo (generalmente soldados). Cuando se aplica temperatura en la punta del termopar este genera voltaje a través de sus cables (efecto Seebeck), que aumenta con la temperatura.

Generalmente, los termopares industriales se colocan dentro de un tubo de acero inoxidable o de algún otro material, en el cual un extremo se considera como un conector (esta superficie es la que se encuentra en contacto), y el otro extremo encontramos un terminal eléctrico del cable, que está protegido en una caja de aluminio, regularmente redonda acompañada de una rosca.

**Tabla 5-2:** Características de las termocuplas existentes en el mercado local

Termocuplas metálicas				
Tipo ANSI-ISA	Combinación de metales	Sensibilidad	Composición química	Rangos de temperatura
J	Hierro/ constantan	5,6 mV/ 100 ° C	Fe 44 Ni:55 Cu	-40 a + 750
K	Cromel/ Alumel	3,6 mV/ 100 ° C	90 Ni:9 Cr 94 Ni:Al:Mn:Fe	-40 a +1200
T	Cobre/ constantan	4,5 mV/ 100 ° C	Cu 44 Ni:55 Cu	-50 a + 400
E	Cromel/ constantan	7,9 mV/ 100 ° C	90 Ni:9 Cr 44 Ni:55 Cu	-40 a +900

**Fuente:** Física II. Diseño Industrial

**Realizado por:** («Termocupla K con Rosca» reference)

Luego de analizar la tabla de características y encontrar en el mercado a disposición rápida, se eligió la termocupla tipo K, pues según lo encontrado en el capítulo anterior encontraremos temperaturas aproximadas a 800° C.

Además de ser las únicas que cuentan con su cable originalmente largo, para que el momento de la instalación en el sistema de escape y con el campo magnético que genera el motor, no se vea interrumpida la señal y nos arroje datos “basura”.



**Figura 1-2:** Termocupla tipo K

**Fuente:** («Módulo MAX6675 para Termocupla 0 - 800 Grados Celcius» reference)

Usamos cuatro termocuplas junto con su módulo MAX6675 de control al sistema Arduino.



**Figura 2-2** Modulo MAX6675

**Fuente:** (CARS-Y-TRUCKS, reference)

Este módulo de interfaz es un convertidor de analógico a la digital, dedicado a termopares tipo K. Con este módulo, la termocupla se puede conectar fácilmente a cualquier micro controlador a través de una interfaz SPI unidireccional. En este pequeño circuito se encuentra el equipo electrónico necesario para amplificar, compensar y digitalizar el voltaje generado por el termopar, lo que hace muy sencilla la tarea de conectar la termocupla al micro controlador.

#### 2.1.8.4. Creación de la placa madre

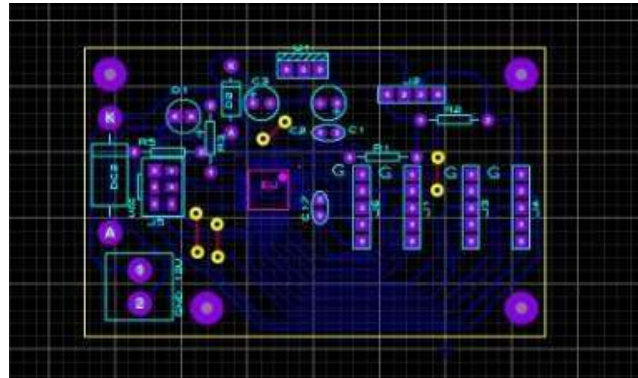
Para controlar todos los sensores y que estos trabajen en conjunto se creó una placa madre, la cual ayuda a que no tengamos datos “basura” el momento de las pruebas.

Se usaron los siguientes componentes:

- Arduino Bluetooth
- 8 borneras
  - 4 borneras macho de 5 pines
  - 4 borneras hembra de 5 pines
- 4 capacitor
  - 2 capacitores de 220  $\mu$ F
  - 2 capacitores de 1nF
- 1 placa de baquelita de 43mm X 70 mm
- 4 resistencias
  - 2 de 10k $\Omega$
  - 1 de 220  $\Omega$
  - 1 de 10 k $\Omega$
- 2 diodos
  - 1N4007
  - Led color verde
- 2 circuitos integrados
  - 7805

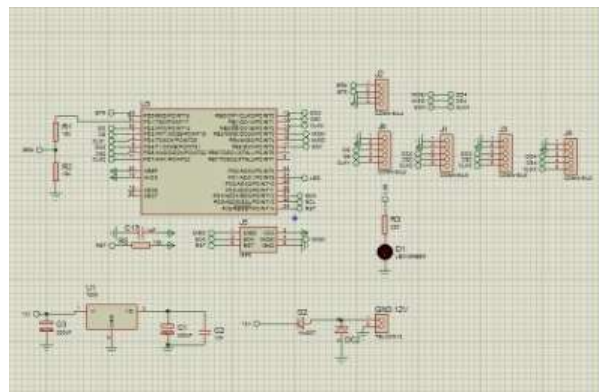
- ATMEGA328P
- 2 socket de 2 terminales
  - 1 socket de 2 terminales hembra
  - 1 socket de 2 terminales macho

Se diseñó el diagrama electrónico en Un programa de simulación electrónica, donde se simulo la corriente generada.



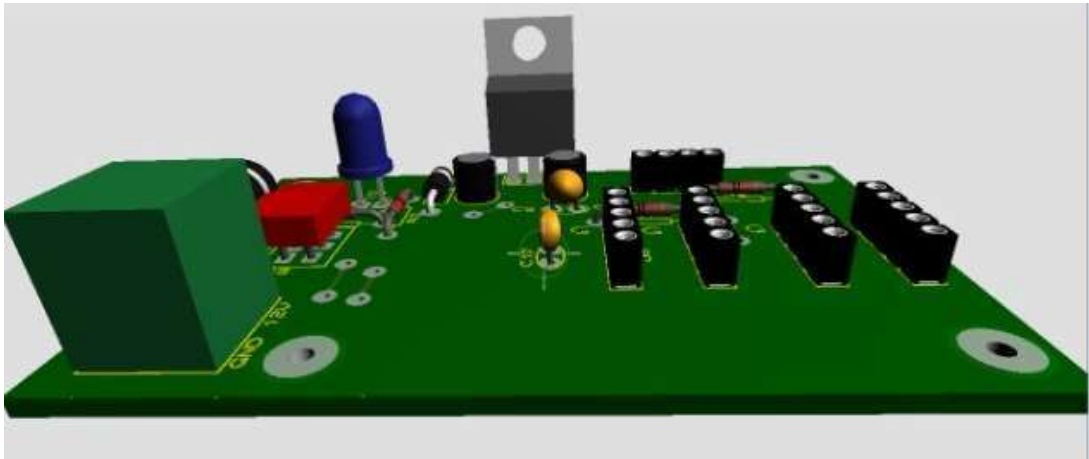
**Figura 3-2:** Diseño de la placa para su impresión

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021



**Figura 4-2:** Simulación del diagrama electrónico

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021



**Figura 5-2:** Modelado de la placa en el programa de simulación electrónica

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021



**Figura 6-2:** Elaboración de la placa para la recolección de datos

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

La programación para que se pueda conectar el Arduino con la aplicación se la hizo en la misma plataforma Arduino, pues su interfaz es mucho más amigable.

Para lo cual se usó el siguiente código de programación en Arduino:

```
#include "max6675.h"
```

```
int thermoDO = 4;
```

```
int thermoCS = 3;
```

```
int thermoCLK = 2;
```

```
int thermoDO2 = 7;
```

```

int thermoCS2 = 6;

int thermoCLK2 = 5;

int thermoDO3 = 10;

int thermoCS3 = 9;

int thermoCLK3 = 8;

int thermoDO4 = 13;

int thermoCS4 = 12;

int thermoCLK4 = 11;

MAX6675 thermocouple(thermoCLK. thermoCS. thermoDO);

MAX6675 thermocouple2(thermoCLK2. thermoCS2. thermoDO2);

MAX6675 thermocouple3(thermoCLK3. thermoCS3. thermoDO3);

MAX6675 thermocouple4(thermoCLK4. thermoCS4. thermoDO4);

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  // wait for MAX chip to stabilize

  delay(500);

}

void loop() {

  // basic readout test. just print the current temp

  Serial.print(thermocouple.readCelsius());

  Serial.print(" ");

  Serial.print(thermocouple2.readCelsius());

  Serial.print(" ");

  Serial.print(thermocouple3.readCelsius());

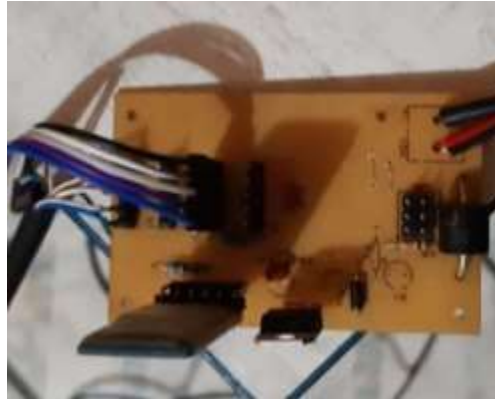
  Serial.print(" ");

  Serial.println(thermocouple4.readCelsius());

```

```
delay(300);  
}
```

Para finalmente armar los componentes en la placa y cargar nuestro código en la placa Arduino.



**Figura 7-2:** Placa con los elementos electrónicos

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

Cabe recalcar que se tuvo que realizar pruebas a fuera del vehículo en las cuales se comprobó que la temperatura que indicaba la termocupla es real, en base al voltaje que estas brindan.



**Figura 8-2:** Comparación de temperatura con el voltaje

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

#### 2.1.8.5. Creación de la aplicación

La adquisición de los datos mediante termocuplas es una parte fundamental de esta investigación, ya que de ellas depende nuestro estudio.



Por ello la solución más viable fue, la de crear una aplicación que nos diga en tiempo real los valores y que cada 50 segundos vaya guardando los datos.

Se usó la plataforma Android por tener un código abierto y que no necesita de muchas licencias en su uso.

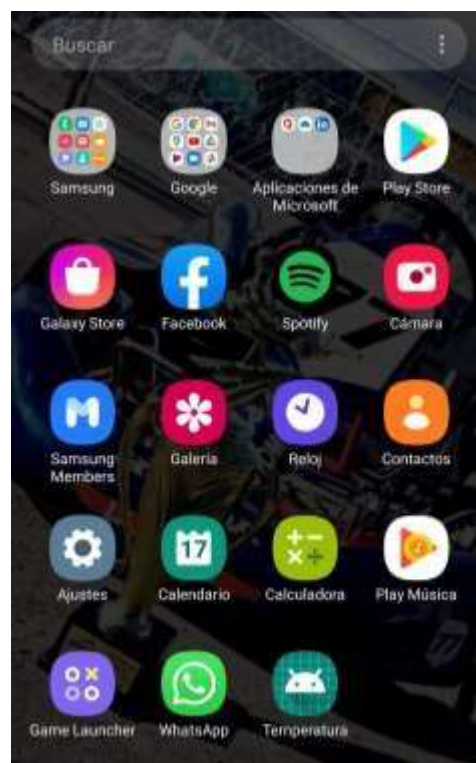
La cual para su conexión se usará la red bluetooth, que trabajará en conjunto con la placa madre, esta red ya viene nombrada de fábrica, pues es parte de la interfaz Arduino.



**Figura 9-2:** Interfaz bluetooth de la aplicación

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

Para al final tener nuestra interfaz disponible en cualquier dispositivo Android.



**Figura 10-2:** Acceso a la aplicación creada.

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021



**Figura 11-2:** Interfaz de medición de temperatura

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

Donde:

- Temperatura 1: Es el indicador del sensor número 1, colocado en el colector de escape o header.
- Temperatura 2: Es el indicador del sensor número 2, colocado antes del catalizador.
- Temperatura 3: Es el indicador del sensor número 3, colocado después del catalizador.
- Temperatura 4: Es el indicador del sensor número 4, colocado al final del tubo de escape.

Y para iniciar la prueba damos clic en “REGISTRAR” y al finalizar la prueba seleccionamos “EXPORTAR DATOS”, lo cual genera un archivo de Excel para su análisis.

Después para iniciar otra prueba seleccionamos “BORRAR DATOS” y cambiamos de nombre al archivo en “NOMBRE FILE”.

#### *2.1.8.6. Adecuación al sistema de escape original del vehículo.*

Como sabemos el sistema original del vehículo Suzuki Forsa 1, no tiene catalizador, esta fue la primera modificación que se realizó.

Debido a las características del motor se vio conveniente instalar un catalizador de 3 vías de un vehículo Chevrolet Spark.



**Figura 12-2:** Catalizador. Chevrolet Spark

**Fuente:** («Termocupla K con Rosca» reference)

Luego de esto se procedió a perforar en 4 puntos, como ya se había planificado, para posteriormente poder colocar las termocuplas en su sitio.



**Figura 13-2:** Adaptación para termocupla

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

Por la disposición del motor y la falta de espacio, el catalizador fue ubicado en el centro del vehículo y no como originalmente vienen en otros vehículos, que es a la salida del múltiple.



**Figura 14-2:** Catalizador de 3 vías, usado en el sistema de escape del vehículo de prueba.

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

#### 2.1.8.7. *Sistema de escape modificado*

Se fabricó un header de competencia acorde al motor usado para nuestras pruebas.



**Figura 15-2:** Header montado en el motor del vehículo de pruebas

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

Aparte de esto se usó tubería nueva, con la finalidad de facilitar el montaje y desmontaje del sistema para las pruebas.



**Figura 16-2:** Tubería nueva para el sistema de escape del motor de prueba

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

Como es un header de competencia, se suprime el catalizador del sistema, para que los gases circulen con mayor libertad, por lo que se instaló una bala, para que genere turbulencia y dichos gases salgan más rápido.



**Figura 17-2:** Resonador o bala, instalado en el sistema de escape

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

Luego de esta modificación, se procedió a ubicar las perforaciones para los sensores, en las mismas posiciones que en el sistema original.

El fin de colocarlas a la misma distancia, fue para que no haya variantes extremas al momento de realizar las mediciones.



**Figura 18-2:** Acople usado para la termocupla en el sistema de escape ya modificado

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

#### 2.1.8.8. *Montaje en el vehículo*

Primero se realizó el montaje del sistema de pruebas en el vehículo con su sistema de escape sin modificación, donde para su instalación se tomó corriente de la línea 50, la cual se activa cuando se abre el contacto.

Luego se procedió a la instalación de un fusible de protección para el sistema de la placa madre, conectado en serie y con un fusible de 15amp.



**Figura 19-2:** Instalación de la porta fusible

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

Para luego llevar el cable de alimentación a la mitad del vehículo, donde se ubicó el controlador en con una caja de protección, pues este sitio era el más cercano para todos los sensores.

Después de esto procedimos a colocar los sensores en el vehículo.



**Figura 20-2:** Termocupla colocada antes del catalizador.

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021



**Figura 21-2:** Termocupla colocada después del catalizador.

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021



**Figura 22-2:** Termocupla colocada al final del tubo de escape.

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

Inmediatamente luego de haber instalado los sensores, colocamos la placa fabricada, en el vehículo



**Figura 23-2:** Placa, con su protector, instalada en el vehículo.

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

Finalmente tenemos el sistema completo funcionando en el vehículo y listo para poder recolectar los datos generados en las pruebas.



**Figura 24-2:** Sistema de recolección de datos en el vehículo.

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021



### **2.1.9. Pruebas bajo el Ciclo de conducción PTEC-593**

Se desarrollaron pruebas bajo el ciclo de conducción, el cual aplica para cualquier ciudad que sobrepase los 2700msn.

Se tomó en cuenta este ciclo pues en Ecuador y especialmente en la región interandina los desniveles en las ciudades son prominentes, si a eso le sumamos el tráfico en horas pico, obtenemos más calor en la zona del motor.

En este ciclo se consideran dos fases de circulación; una dentro de la ciudad con una velocidad entre 40 y 50 km/h, y otra fase con una velocidad de punta, hasta 90km/h, que se pretende alcanza un vehículo en la zona perimetral de una ciudad.

La ciudad de Latacunga se encuentra a una altitud de 2850 . , con un clima andino de 12 °C en promedio y con una extensión de 1 377.2 km<sup>2</sup>

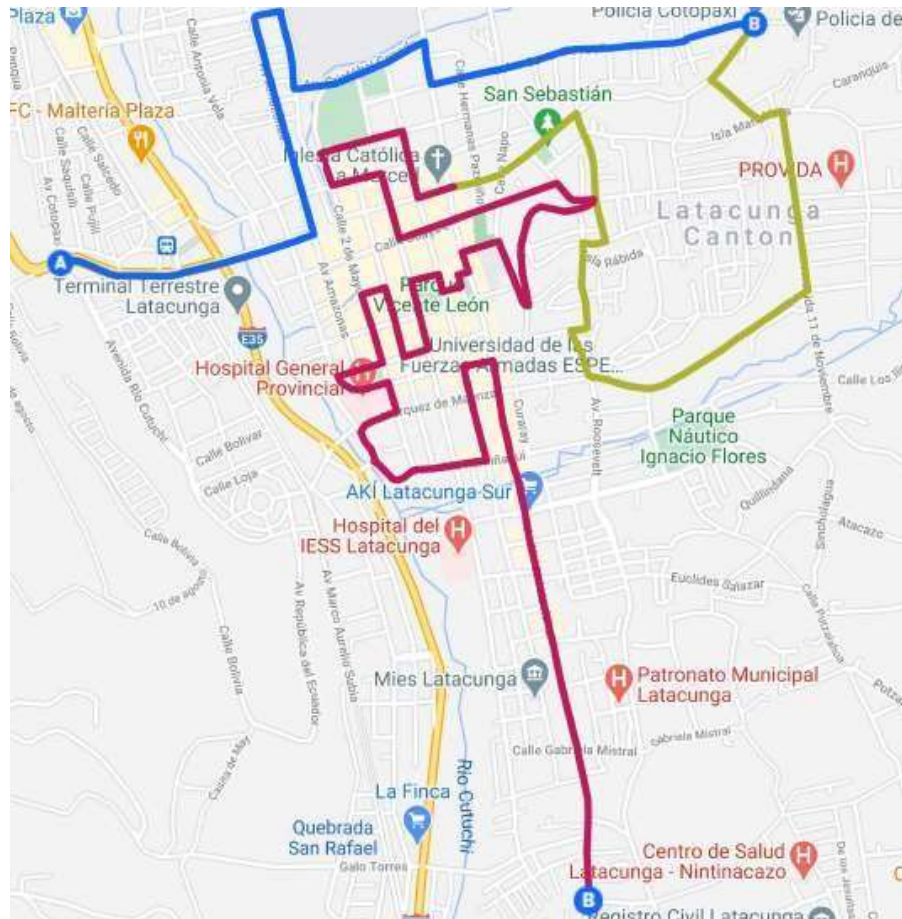
La cual cuenta con 12 avenidas importantes, las cuales atraviesan la ciudad de norte a sur, este y oeste, por las cuales el tráfico es intenso

- Amazonas
- Eloy Alfaro
- Rumiñahui
- Miguel Iturralde
- 11 de noviembre
- General Proaño
- 5 de junio
- Quijano y Ordoñez
- Márquez de Maenza
- Juan Abel Echeverría
- 2 de mayo
- Antonia Vela

El recorrido empieza en la avenida Cotopaxi atravesando la avenida 5 de junio para al final de esta tomar la avenida Amazonas en sentido sur-norte, hasta llegar al redondel del AKI del norte. Para girar hacia la derecha por la avenida Benjamín Terán y luego tomar la avenida Antonio Clavijo dirigiéndose en sentido norte sur hasta llegar a la intersección de la avenida Cristóbal Cepeda para en el fin de esta avenida dirigirse por la calle Quijano y Ordóñez hasta llegar al semáforo donde se toma la avenida General Proaño en sentido este-oeste hasta llegar al Comando de Policía de Cotopaxi donde tomaremos la calle Juan Abel Echeverría hasta la intersección con

la calle San Isidro Labrador misma que nos lleva hasta la avenida 11 de noviembre pasando por la plaza de toros de la ciudad de Latacunga hasta llegar a la esquina del colegio Luis Fernando Ruiz donde tomaremos la calle Marqués de Maenza en sentido oeste-este hasta llegar al redondel donde tomaremos la avenida Roosevelt para llegar a la calle isla San Salvador con dirección hacia la calle isla Española donde recorreremos esta calle hasta llegar a la avenida Oriente hasta llegar a la intersección con la calle Juan Abel Echeverría donde nos dirigiremos con sentido este oeste- hasta llegar a la plaza “La Merced”, dónde pasando unos metros tomaremos la calle Fernando Sánchez de Orellana hacia su intersección con la calle Calixto Pino donde giraremos hacia la izquierda para llegar hasta la calle 2 de mayo donde retomaremos el sentido norte-sur dirigidos a la calle Félix Valencia donde después de circularla ,tomaremos el sentido este-oeste hasta llegar a la calle Quito dónde avanzaremos de norte a sur hasta la calle Guayaquil dónde al final de esta calle tomaremos hacia la izquierda para recorrer la calle Isla Seymour con dirección hacia la avenida Oriente en sentido oeste-este recorriéndola hasta llegar a la intersección con la calle Napo y tomar el sentido sur-norte para llegar a la calle Fernando Vivero donde nos dirigiremos así el parque Vicente León para tomar la calle Quito en sentido norte-sur hasta la intersección con la calle Tarqui donde giraremos hacia la izquierda y tomaremos la calle Belisario Quevedo para llegar a la calle Padre Salcedo para dirigimos a la calle 2 de Mayo en sentido norte-sur para así llegar a la calle Antonia Vela y recorrerla hasta que se forme la calle Hermanas Páez y volver a retomar la calle 2 de mayo para recorrer la calle Marqués de Maenza hasta que se forme la avenida Rumiñahui y recorrerla hasta que interseque con la calle Fernando Sánchez de Orellana, para tomar esta calle y llegar hasta la siguiente que es la calle Hermanas Páez por donde subiremos en sentido este-oeste hasta llegar a la calle Quijano y Ordóñez donde retomaremos el sentido norte-sur para recorrerla hasta su fin donde se forma la avenida Unidad Nacional y así circularla hasta llegar a la avenida primero de abril donde finaliza nuestro recorrido .

Todo este tramo tiene 14 km de distancia y la velocidad promedio que se alcanza es de 44.8km/h.



**Figura 25-2:** Ruta seleccionada para las pruebas dinámicas

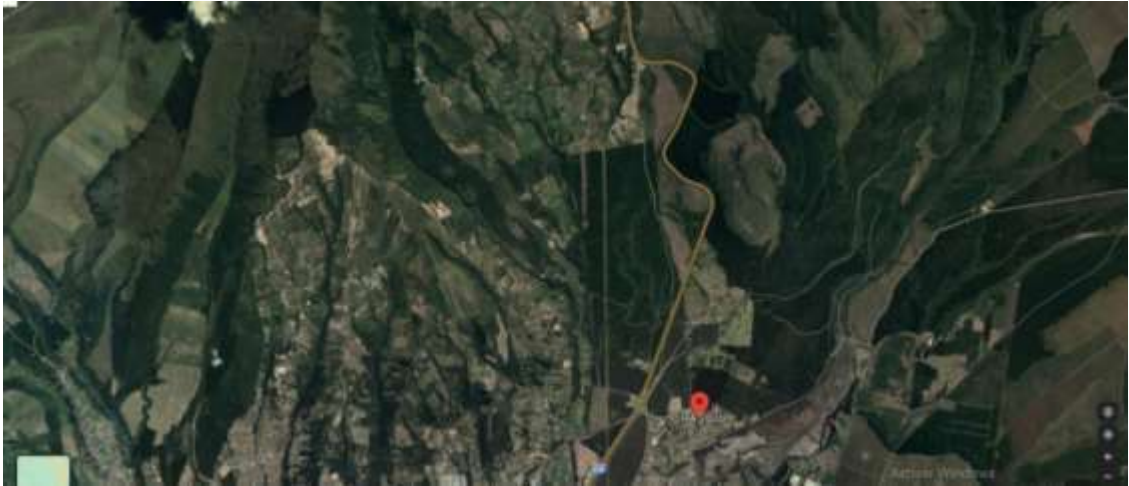
**Fuente:** Google Maps

### 2.1.10. Pruebas en ruta

Esta es una variante de una de las fases del ciclo de conducción PTEC-593, pues en su investigación (Picco et al. 2016) nos dice que: “a 80km/h la concentración de hidrocarburos en el escape aumentan”.

Más como por la disposición de las ciudades en el Ecuador solo encontramos 3 ciudades importantes y suficientemente grandes para tener una vía perimetral extensa, por ello se pretende realizar una prueba para medir la temperatura en la ruta E35, específicamente en el tramo Latacunga-Quito, sector el chasqui, que se encuentra a 3139 m.

De igual manera se realizaron pruebas con los 2 sistemas de escape y con una velocidad promedio de 100 km/h.



**Figura 26-2:** Ruta seleccionada para las pruebas en movimiento

**Fuente:** Google Maps

La prueba iniciara en la entrada al Parque Nacional Cotopaxi en sentido sur-norte hacia Quito atravesando toda la carretera E-35 por el sector del “chasqui” hasta llegar a la gasolinera de Petroecuador, donde termina el tramo de subida.



**Figura 27-2:** Pruebas en movimiento.

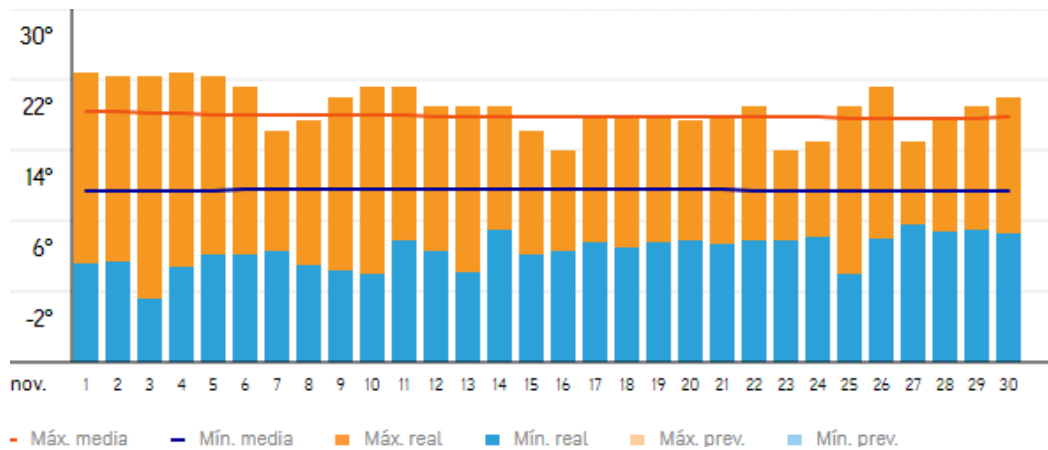
**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

### **2.1.11. Pruebas en relantí**

Esta es otra de las variantes del ciclo de conducción seleccionado para las pruebas, pues no especifica la hora del día en el que el vehículo debe estar en relantí.

Pues como se sabe el clima de la zona interandina del país ha sido muy cambiante en los últimos meses, llegando a tener en la ciudad de Latacunga, temperaturas de  $0.6^{\circ}\text{C}$ , en la mañana y a

medio llegando a temperaturas de entre 20 ° C y 25° C, según el INAMHI.



**Gráfico 3-2:** Temperatura en la ciudad de Latacunga

*Fuente:* (Rocha-Hoyos et al., 2019)

Es por ello por lo que las pruebas en ralentí se realizaron en 3 horas del día.

En la mañana a las 8 am.

En la tarde a las 12 pm.

En la noche a las 6 pm.

De igual manera con la variante de los 2 sistemas de escape, donde el vehículo se dejará en ralentí durante 60 minutos.

### **2.1.12. Método de análisis estadístico**

Para llegar a los resultados esperados se emplea la estadística descriptiva, puesto que por este método permite determinar respuestas puntuales y entendibles al lector.

Se usará el análisis estadístico por el método ANOVA sugerido por (Rocha-Hoyos et al., 2019) en su investigación, y aplicar un análisis simple de la varianza.

Este análisis se realizó en base a todos los datos obtenidos en las diferentes pruebas realizadas, para con ellos obtener y realizar:

- Revisión y demostración de los datos
- Tabulación de los datos obtenidos
- Obtención de porcentajes
- Interpolación de datos
- Interpretación de resultados

## CAPITULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Resultados

Dentro de los efectos de la investigación podemos notar como la temperatura varía dependiendo de la prueba a la que fue sometido el vehículo y cómo se puede obtener una comparativa en los mismos puntos en los que se registran los datos, una vez modificado el sistema de escape.

##### 3.1.1. Pruebas bajo el ciclo PTEC-593

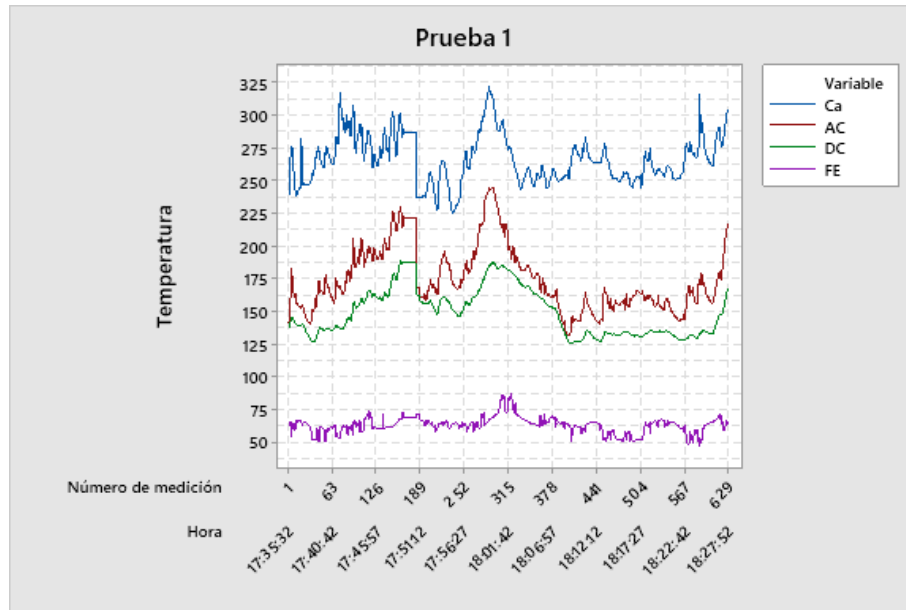
###### 3.1.1.1. Pruebas con el sistema original

Para iniciar con estas pruebas el vehículo empezó con su temperatura de funcionamiento de motor ideal con la cual se pudo empezar la ruta seleccionada en dónde según el gráfico 3-1 podemos observar que se llegó a un total de 629 mediciones con una duración de 52 minutos y 20 segundos, así pues, la variable que más temperatura alcanzo fue “Ca” con 322 °C mientras que la variable “FE” mantuvo temperaturas inferiores a los 86.50 °C.

Acto seguido se obtuvo la información de la prueba dos la cual se procedió a realizar al mediodía y nos arrojó 515 datos ,obteniendo 18.12% menos datos en comparación a la primera medición, esto se puede explicar ya que el tráfico en esta prueba fue medio, pues como se ve en el gráfico 3-2 su duración fue de 43 minutos y 3 segundos, siendo así la prueba con menores datos obtenidos de las tres realizadas, en el transcurso de la prueba observamos que la variable “AC” y” “DC” se mantienen en un rango de 153.5 °C entre estas dos ,mientras que la variable “Ca” obtuvo una vez más la temperatura más alta de 351.25 °C.

Finalmente, en el gráfico 3-3 visualizamos un total de 519 datos en un lapso de 43 minutos y 24 segundos; donde podemos prestar atención que la variable “AC” llega a alcanzar una de las temperaturas de “Ca”, siendo esto muy efímero, mientras que “Ca” tiene una temperatura máxima de 386.25 °C.

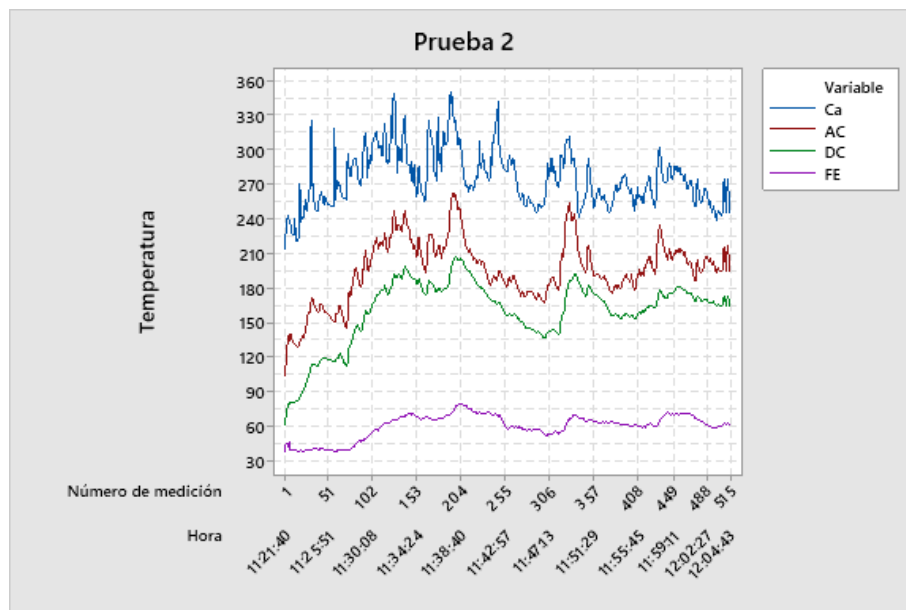
Siendo esta ultima la máxima de estas tres pruebas realizadas y de las cuatro variables, mostrándonos que este es el punto donde más se concentra la temperatura y más se eleva.



**Gráfico 1-3:** Prueba 1 con el sistema original, en la ciudad de Latacunga.

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

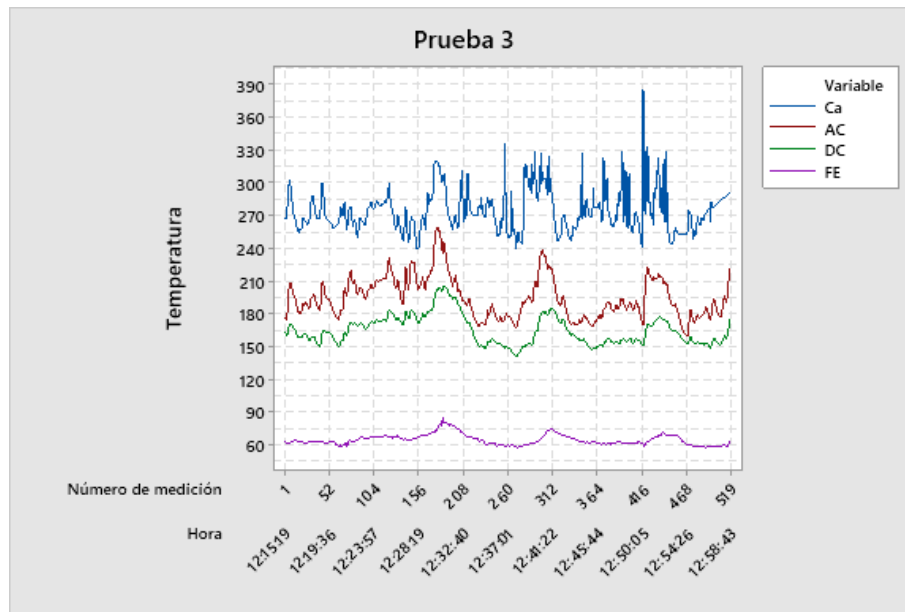
**Nota:** A partir de estos datos podremos observar cómo se comportan los gases a lo largo de su trayectoria, la prueba se la realizó en horario de tráfico.



**Gráfico 2-3:** Prueba 2 con el sistema original, en la ciudad de Latacunga.

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** De manera similar, esta prueba se llevó a cabo en con tráfico en la ciudad, y en un día donde el comercio en la ciudad es muy evidente, lo cual se ve reflejado en la cantidad de datos obtenidos.



**Gráfico 3-3:** Prueba 3 con el sistema original, en la ciudad de Latacunga.

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** La forma en cómo se comportan los gases al final del tubo de escape, según la gráfica, nos indica que aquí su comportamiento fue más constante, sin tantos picos en su gráfica, contrastando con los otros puntos escogidos para el análisis.

### 3.1.1.2. Pruebas con el header instalado

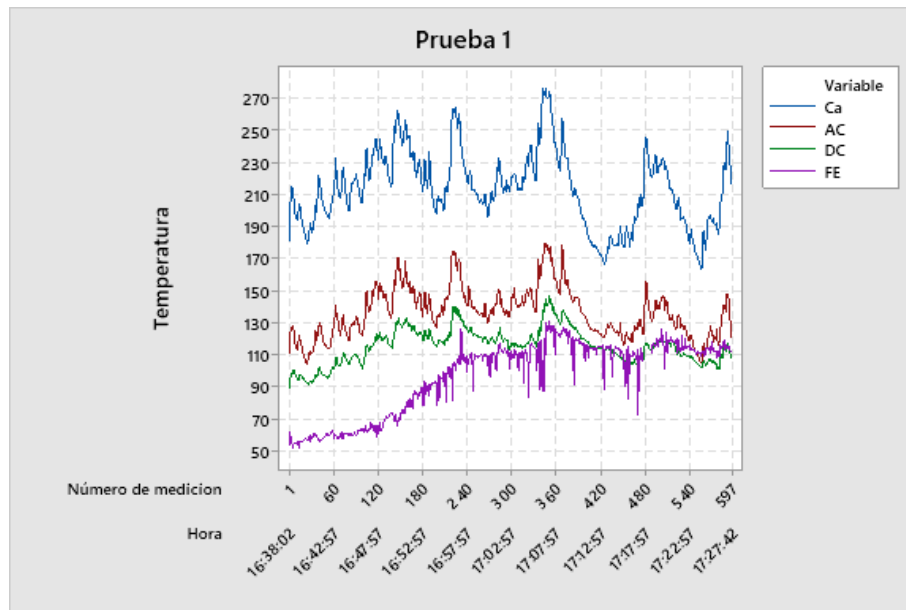
Se realizaron un total de 3 pruebas con el header instalado bajo el ciclo de conducción PTEC-593, las cuales nos dieron como resultado las gráficas: 3-4, donde apreciamos que la variable "Ca", de esta prueba, es la que más temperatura logra alcanzar, con una máxima de 276 °C, mientras que la variable "FE" no logra superar los 130.75 °C, siendo así esta última 47.37% menos que la variable "Ca", recordando que esta variable se encuentra más alejada del motor.

Después tenemos la gráfica 3-5 ,en donde con un total de 1 hora 9 minutos y 15 segundos de duración se obtuvo un total de 832 mediciones ,siendo así esta , la prueba con más datos recolectados de entre las tres realizadas bajo esta modalidad, pues en el momento de realizar esta prueba el tráfico fue muy eminente ,además de encontrarnos con varios retenes de control en la ciudad, con todos estos antecedentes se logró una vez más observar que la mayor temperatura en la variable "Ca" ,de esta prueba ,312 °C y una media de 200.97 °C.

Finalmente, en la gráfica 3-6, que pertenece a la tercera prueba se observa 612 datos siendo esta la segunda prueba con más datos registrados, no se presentó alguna novedad en esta prueba, así al concluirse se obtuvo una vez más la temperatura más alta en la variable "Ca" con 316 °C y un rango de variación de 157.25 °C, entre su mínima y máxima.



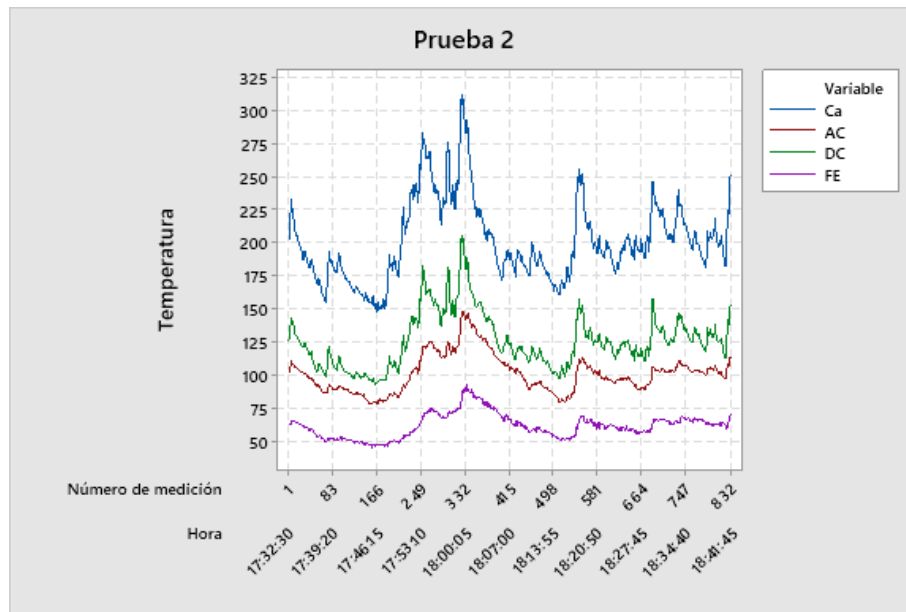
Tal y como sucedió en la prueba anterior la variable “Ca”, de esta prueba, es la que alcanza mayores temperaturas sin importar cuanto se tiempo se la lleve a cabo.



**Gráfico 4-3:** Prueba 1 bajo el ciclo PTEC-593, Temperatura VS. Número de mediciones.

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

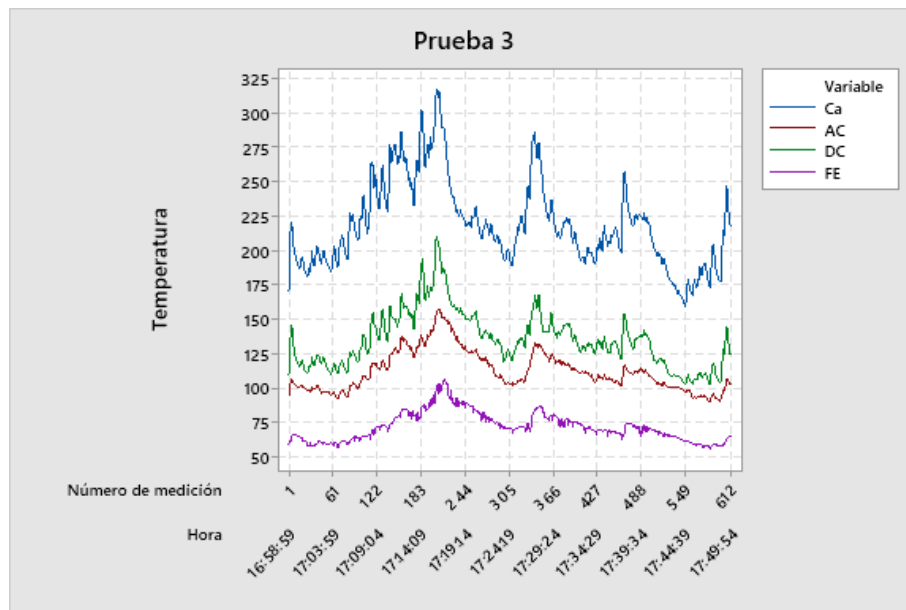
**Nota:** Esta prueba conto con mediciones de temperaturas al final del escape bajas e inclusive similares a las registradas por el sensor ubicado después del catalizador , lo cual podemos justificar por , haberla realizado en un día de comercio en la ciudad, en un horario de tránsito pesado contrastando con esto el día fue lluvioso , lo que genera, además de más gastos energéticos en el vehículo (motor de plumas activado ,desempañador del vidrio trasero y calefacción para el parabrisas ), un mayor tiempo en dicha prueba y un consumo de gasolina mayor, además de que los charcos de agua enfriaban la tubería del escape.



**Gráfico 5-3:** Prueba 2 bajo el ciclo PTEC-593, Temperatura VS. Número de mediciones.

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** Esta prueba fue peculiar, pues el sensor ubicado antes del catalizador, registro temperaturas más bajas que el siguiente sensor ubicado después del catalizador, contrastando con la prueba anterior que de igual manera conto con un tráfico elevado.



**Gráfico 6-3:** Prueba 3 bajo el ciclo PTEC-593, Temperatura VS. Número de mediciones.

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** De igual forma, como en la prueba anterior, las variables ubicadas antes y después del catalizador, se comportaron de manera distinta, pues a pesar de coincidir en algunos puntos, nunca se mantienen estables en un mismo valor de temperatura y tampoco se cruzan, siendo este comportamiento, junto con el anterior, los únicos registrados de esta forma.

### 3.1.2. Pruebas en relantí

Las pruebas en relantí se realizaron como nos sugiere el ciclo de conducción, incluyendo algunas variantes como ya se explicó en el capítulo anterior.

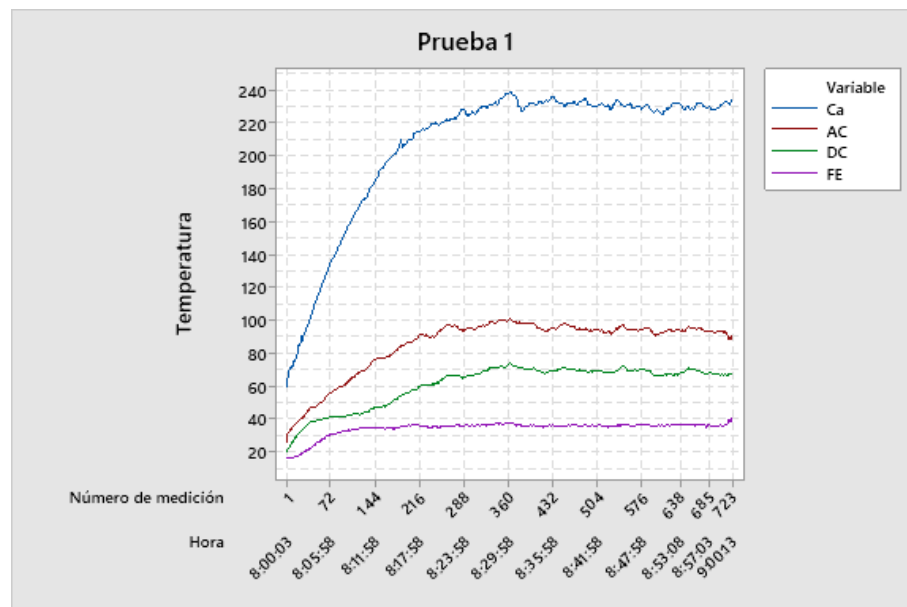
#### 3.1.2.1. Pruebas con el sistema original

##### 3.1.2.1.1. Pruebas en la mañana

Luego de que el motor del vehículo haya alcanzado su temperatura de funcionamiento adecuado se registran 723 datos, pertenecientes a la gráfica 3-7, la cual se obtuvo de la prueba número 1 en donde se registra en la variable “AC” un rango, entre su mínima y su máxima, de 75 °C, siendo este el rango más elevado de la prueba, mientras que, como podemos observar en los datos de la prueba 2 este mismo rango fue de 85.25 °C.

En la prueba 2 de igual forma se registró la temperatura máxima perteneciente a la variable “AC”, 107.25 °C, mostrando que en esta prueba se registra la temperatura más baja de las tres realizadas, ubicada en la variable “FE”, siendo de 13.50 °C.

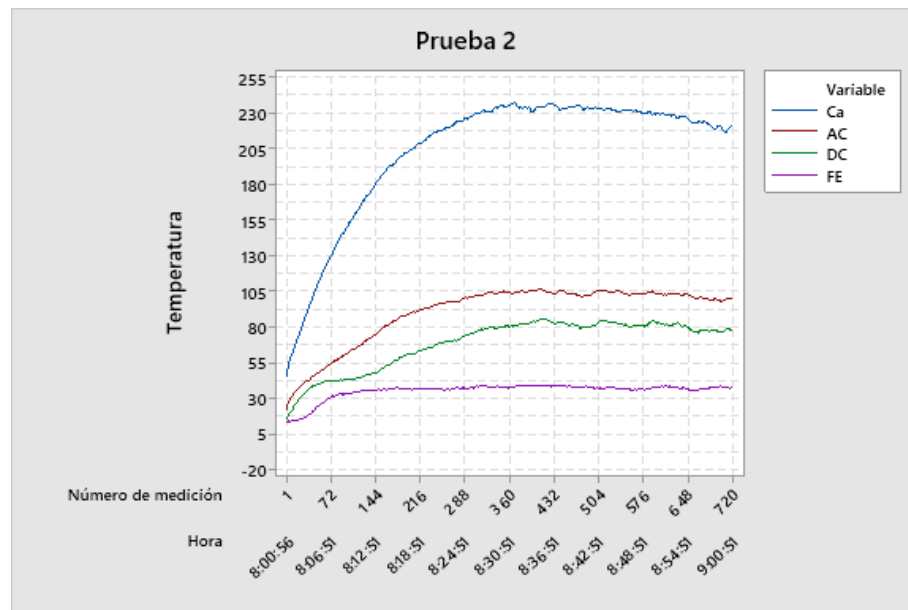
Mientras que la gráfica 3-9, perteneciente a la prueba tres, podemos observar que registra los valores más bajos de la variable “Ca”, entre las tres pruebas, 229.50 °C, aun así, es la que más temperatura obtuvo en su prueba.



**Gráfico 7-3:** Prueba 1, en la mañana y con sistema de escape original

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

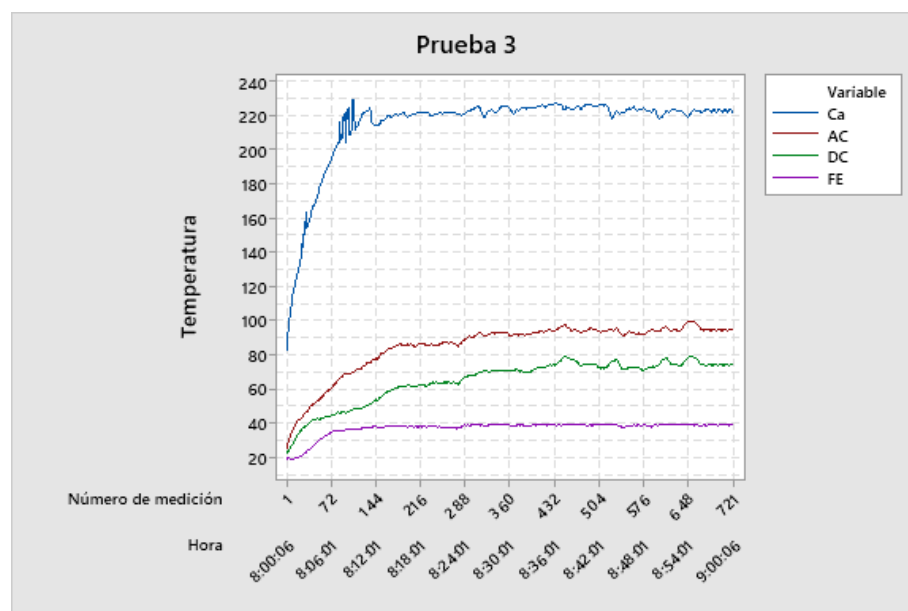
**Nota:** En esta gráfica podemos observar el comportamiento de los gases a través de los diferentes puntos de estudio, donde al final del tubo de escape, tiende estabilizarse la temperatura, sin obtener más de 41°C.



**Gráfico 8-3:** Prueba 2 en la mañana en relantí con el sistema de escape original

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** Todas las temperaturas llegan a estabilizarse, como nos muestra el grafico anterior una vez que el catalizador alcanza su temperatura y empieza a funcionar con eficiencia, manteniéndose así en un rango de más menos 10°C, después de llegar a su punto más alto, en las variables “AC, DC y FE”.



**Gráfico 9-3:** Prueba 3 en la mañana en relantí con el sistema de escape original

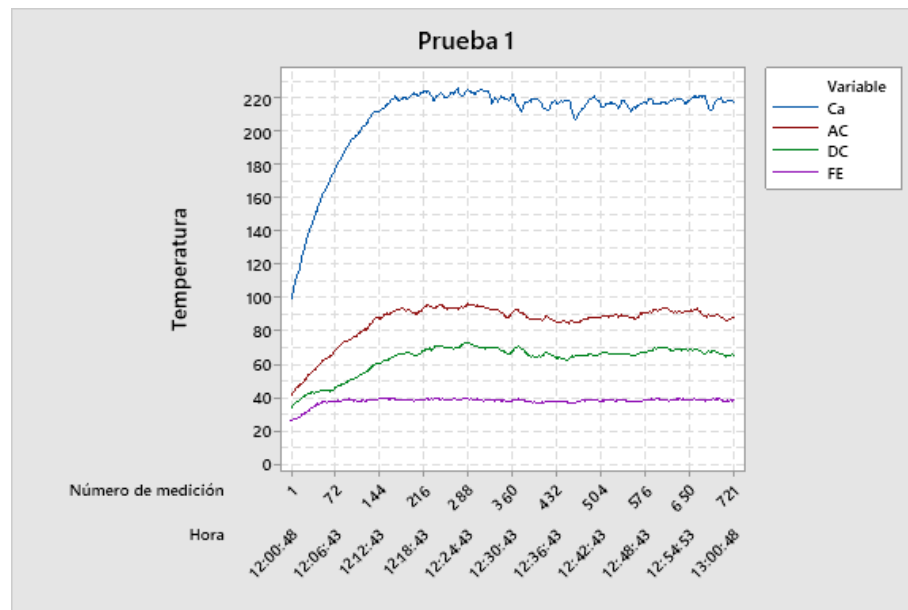
**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** La gráfica nos indica, que en esta prueba y con esta variante, la variable “CA” empezó a registrar datos sobre los 80°C, esto se puede justificar ya que, el clima fue muy favorable, registrando así una temperatura de 17°C ambiente, lo que ayuda a la combustión.

### 3.1.2.1.2. Pruebas al medio día

Las tres pruebas realizadas al medio se realizaron de igual manera con el vehículo sin “calentar”, pero el clima ayudo un poco a la temperatura de inicio ,es así como en las tres pruebas ,varían en 0.0750 °C , sus valores de inicio , como ejemplo tenemos que el gráfica 3-10 , en la variable “Ca” ,de la prueba 1, la temperatura mínima es de 98.50 °C, mientras que en la gráfica 3-12, de la prueba 1, la mínima en la misma variable es de 98.47 °C; cabe recalcar que los rangos en estas pruebas fueron los mismos.

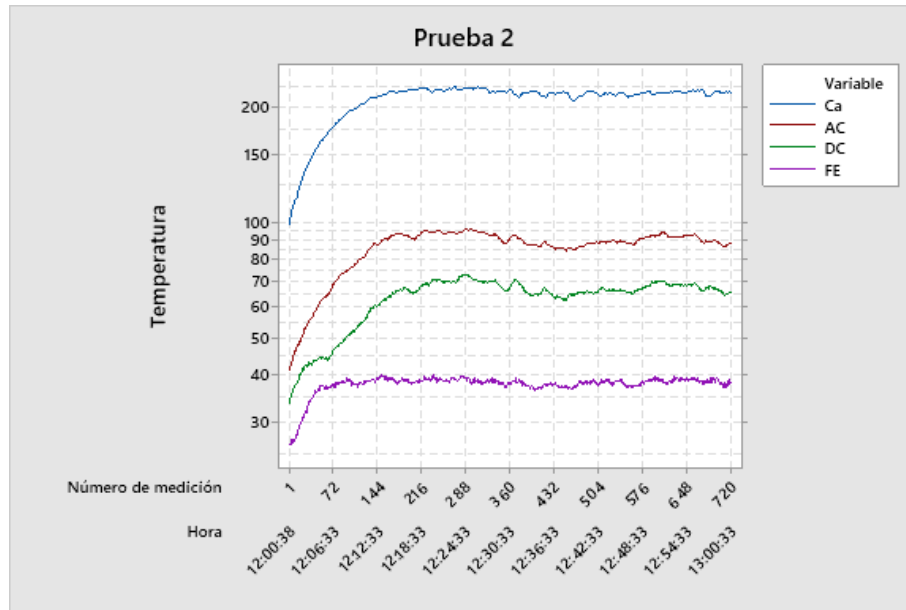
La temperatura máxima fue alcanzada, una vez más, por la variable “Ca”, en la prueba 2; 226.05 °C, seguido por la prueba 1, con 226 °C y finalmente la prueba 3 con 225.98 °C, como temperaturas máximas.



**Gráfico 10-3** Prueba 1 al medio día, Temperatura VS. Número de mediciones, Hora.

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

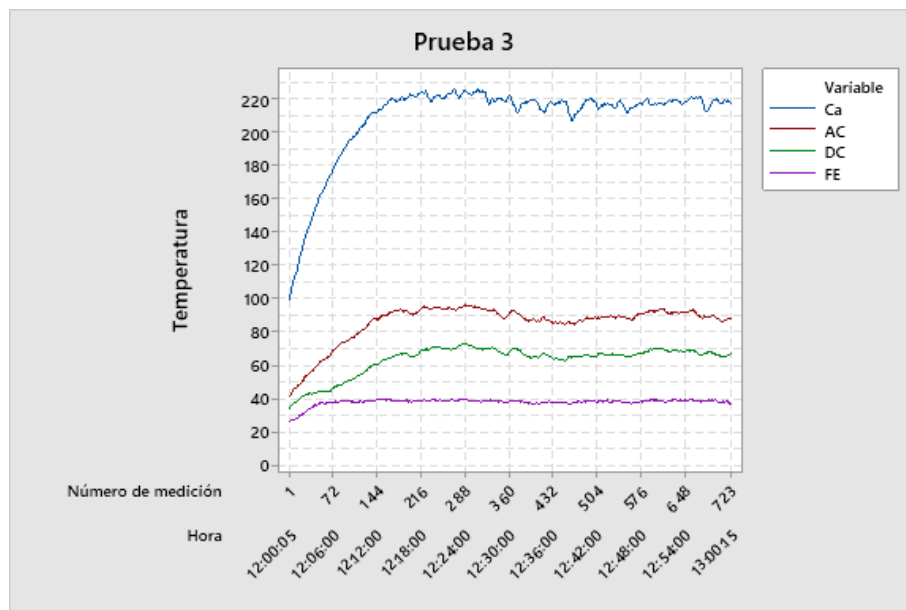
**Nota:** Como se vio en las gráficas: 3-7 ,3-8 y 3-9; la temperatura al final del tubo de escape, representada por la variable “FE”, tiende a estabilizarse después de 5 minutos.



**Gráfico 11-3:** Prueba 2 al medio día, Temperatura VS. Número de mediciones, Hora.

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** En esta prueba podemos observar, gracias a la gráfica, que a pesar de que en el colector o múltiple de escape obtuvimos temperaturas sobre los 200°C, antes del catalizador, no obtuvimos ni siquiera la temperatura inicial de “Ca”.



**Gráfico 12-3:** Prueba 3 al medio día, Temperatura VS. Número de mediciones, Hora.

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

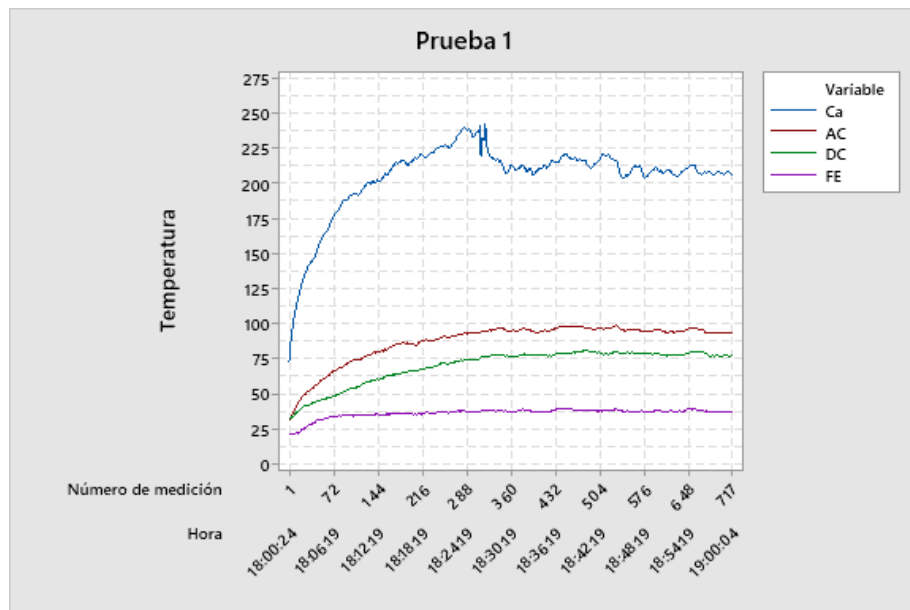
**Nota:** Gracias a la gráfica anterior, podemos observar como las temperaturas en los distintos puntos seleccionados para este estudio llegan a elevarse en menos de 6 minutos, siendo así “Ca” quien más altas temperaturas registra, tanto a su inicio, cuando se enciende el vehículo y en el transcurso de los 6 minutos “críticos”.

### 3.1.2.1.3. Pruebas en la tarde

Para estas pruebas, como las anteriores en relantí, se inició con el motor “frio”, para después, con un promedio de 720 datos registrados en cada prueba observamos que el comportamiento de la variable “FE” en las tres pruebas es casi parecido, pues el rango promedio es de 17.17 °C, alcanzando así una temperatura máxima de 39 °C (redondeados).

En la gráfica 3-13, se observa la máxima temperatura alcanzada por las tres pruebas, 242.07 °C, lograda por la variable “Ca”, señalada en la prueba 1, mientras que la mínima temperatura alcanzada por esta variable se encuentra en la prueba tres, 70.25 °C.

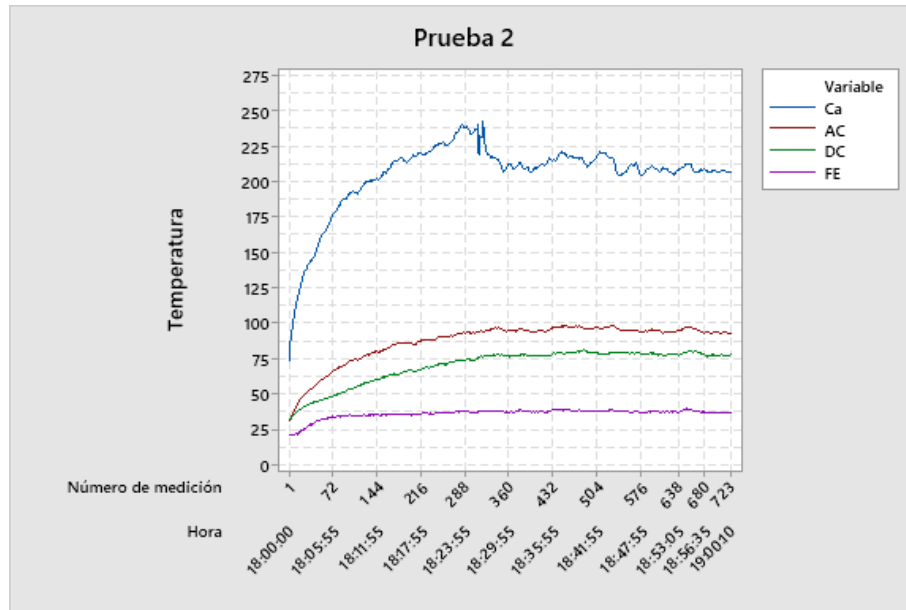
Mientras que la prueba dos al igual que la prueba 1, después de alcanzar sus máximas temperaturas en la variable “Ca”, empiezan a semi estabilizarse por debajo de los 225 °C; muy al contrario de lo que se observa en la gráfica 3-15, pues en esta nunca sobrepasa los 228.63 °C, obtenidos en la prueba 3, después de haber llegado a su máxima temperatura.



**Gráfico 13-3:** Prueba 1 en la tarde, Temperatura VS. Número de mediciones, Hora.

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

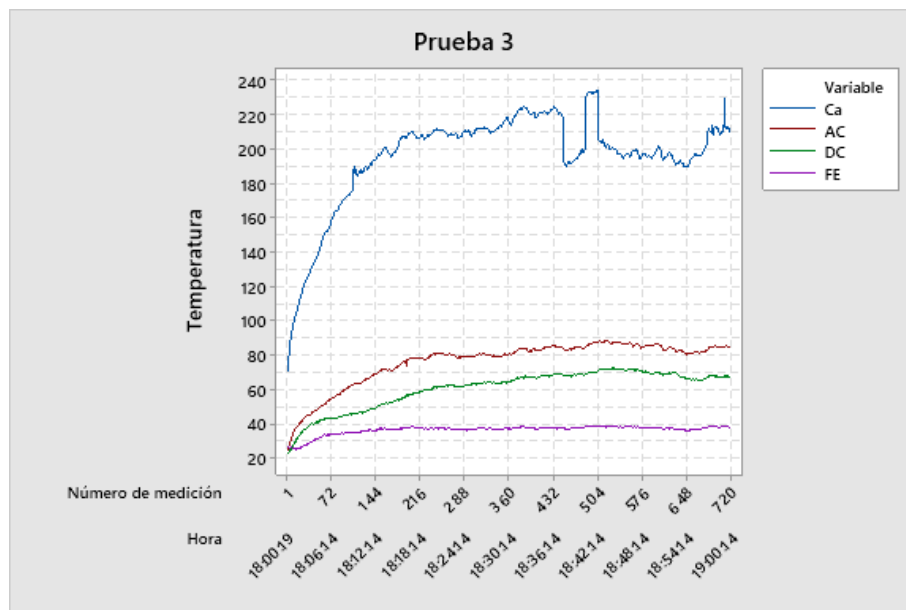
**Nota:** Al igual que en las pruebas anteriores la única variable que no sufre muchas alteraciones mientras el vehículo se mantiene en relantí, es “FE”; esto se podemos observar en la gráfica anterior.



**Gráfico 14-3:** Prueba 2 en la tarde, Temperatura VS. Número de mediciones, Hora.

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** La grafica nos muestra cómo se comportan los gases al salir del colector, además que, después de alcanzar su máxima temperatura, estos empiezan a bajar, pues, ese el día de la prueba se registraron temperaturas en el ambiente de 10°C al empezar la noche.



**Gráfico 15-3:** Prueba 3 en la tarde, Temperatura VS. Número de mediciones, Hora.

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** Con un total de 720 datos en esta prueba, podemos observar, como las variables “AC, DC y FE”, empezaron casi en la misma temperatura, 25.2°C.



### 3.1.2.2. Pruebas con el header instalado

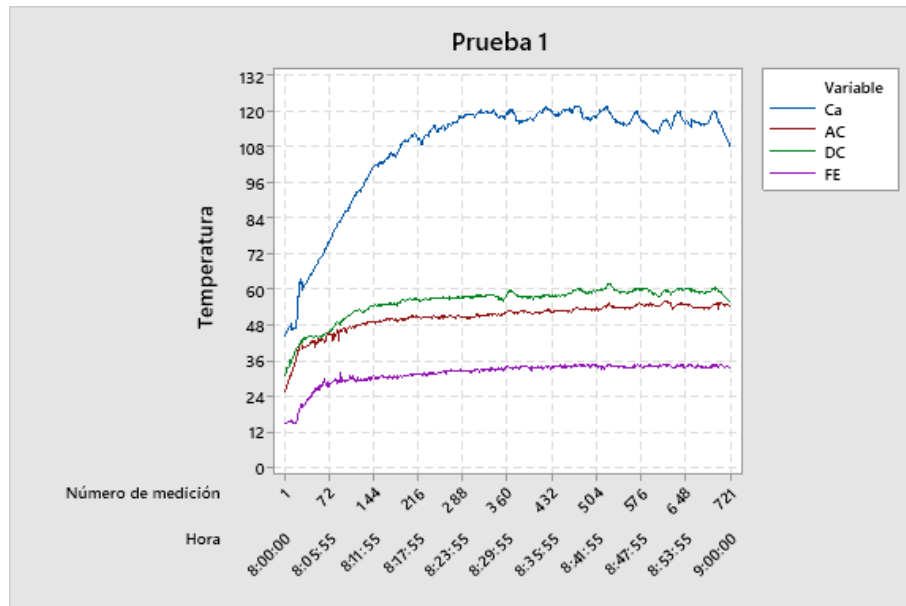
#### 3.1.2.2.1. Pruebas en la mañana con el header

Estas pruebas se realizaron con una duración de una hora (sin contar los segundos iniciales ni finales), nunca cronometrados los segundos, es por ello que, al igual que en las anteriores o siguientes pruebas en relantí, solo se aprecia la hora y los minutos exactos, más los segundos son los que difieren, siendo así 716.67 los datos promedios obtenidos, de los cuales podemos observar que la variable “Ca” obtiene la temperatura más alta, así: 121.96, en la gráfica 3-16, registrados en la prueba 1; 131.25 °C, en la gráfica 3-17, de la prueba 2, y 121.50 en la gráfica 3-18, obtenidos en la prueba 3.

Más aún con una diferencia de nueve datos, entre la gráfica 3-16 y 3-18, logramos observar que sus rangos son similares, sin embargo, el valor mínimo registrado se encuentra en la variable “FE”, de la gráfica 3-18, registrados en la prueba 3, por lo que sus valores disciernen.

Estas pruebas tienen como caso particular, registrar la temperatura de “DC”, mayor a la de “AC”.

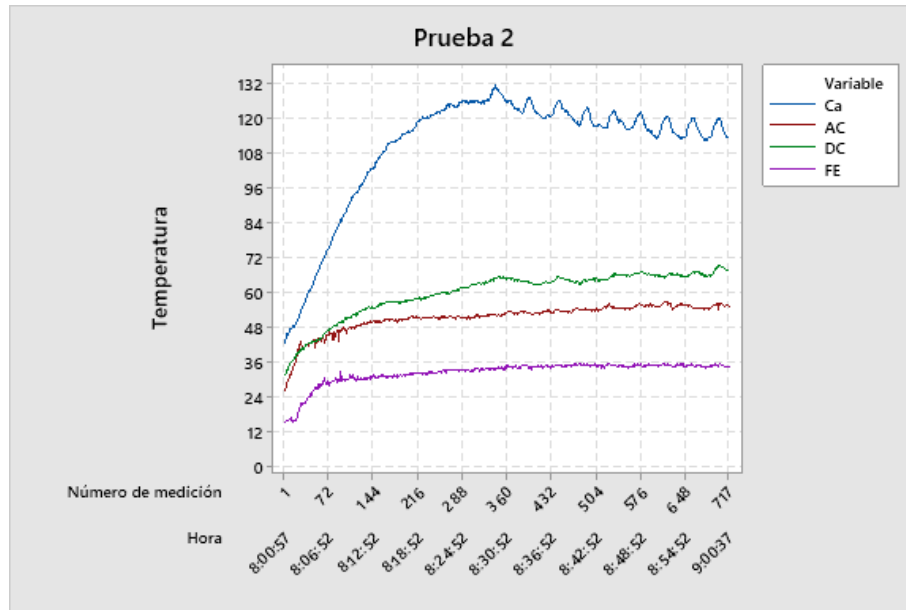
Por último, en esa prueba los valores de “DC” y “AC” en la medición promedio número 20, se traslapan.



**Gráfico 16-3:** Prueba 1 en la mañana, Temperatura VS. Número de mediciones.

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

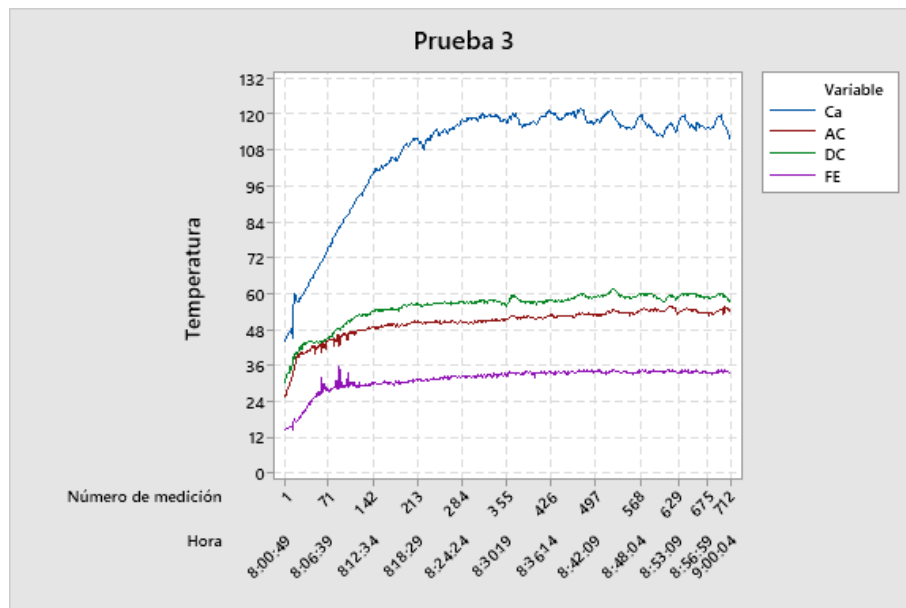
**Nota:** Gracias a la gráfica anterior podemos observar que, la temperatura de “DC”, va casi a la par con la registrada por el sensor “AC”.



**Gráfico 17-3:** Prueba 2 en la mañana, Temperatura VS. Número de mediciones.

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** La temperatura ambiente baja, registrada el día de la prueba, se puede considerar como incidente en que la “FE”, registre bajas temperaturas.



**Gráfico 18-3:** Prueba 3 en la mañana, Temperatura VS. Número de mediciones.

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

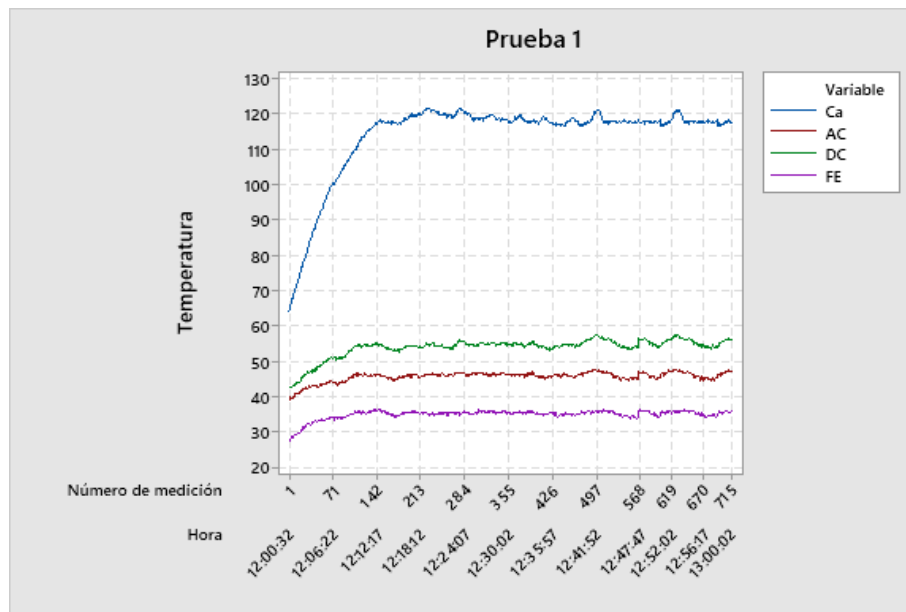
**Nota:** “FE”, no consiguió registrar temperaturas por encima de los 36°C, consiguiendo así solo duplicar su temperatura inicial, a diferencia de “Ca”, quien triplica su temperatura inicial.

### 3.1.2.2.2. Pruebas al medio día con el header instalado

Las pruebas realizadas al medio día, en diferentes días, se presentan a continuación; la primera gráfica es la 3-19, donde se analiza el incremento de temperatura a través del tiempo, como en las anteriores pruebas, no hemos visto muchos porcentajes de manera significativa, pues nos interesa el comportamiento térmico únicamente y donde este incremento se encuentra.

De dicha gráfica (3-19) vemos el incremento de todas las variables, llegando así a 715 datos, donde la más alta se encuentra en la variable “Ca”, obtenidos de la prueba 1 ,121.75 °C, teniendo esta un rango de 57.75 °C siendo esto contrario con lo que observamos en la gráfica 3-21, de la prueba 3, , donde su rango en la misma variable es de 79.50 °C, llegando así ser la más alta de todas las pruebas, al igual que su máxima, 132 °C.

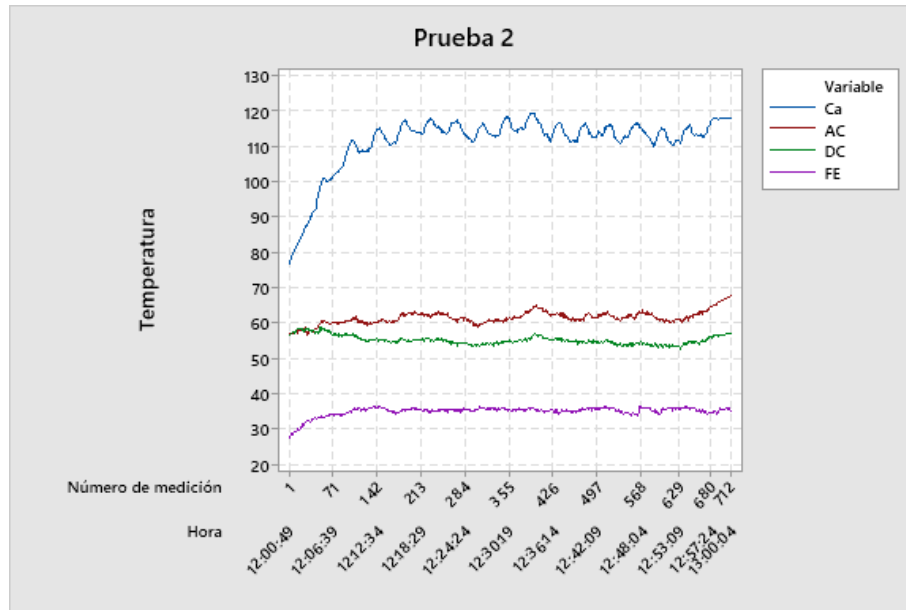
Mientras que de la gráfica 3-21, correspondiente a la prueba 3, podemos destacar sus temperaturas mínimas, pues son las más altas de las pruebas.



**Gráfico 19-3:** Prueba 1, medio día con el header, Temperatura VS. Tiempo/Mediciones.

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

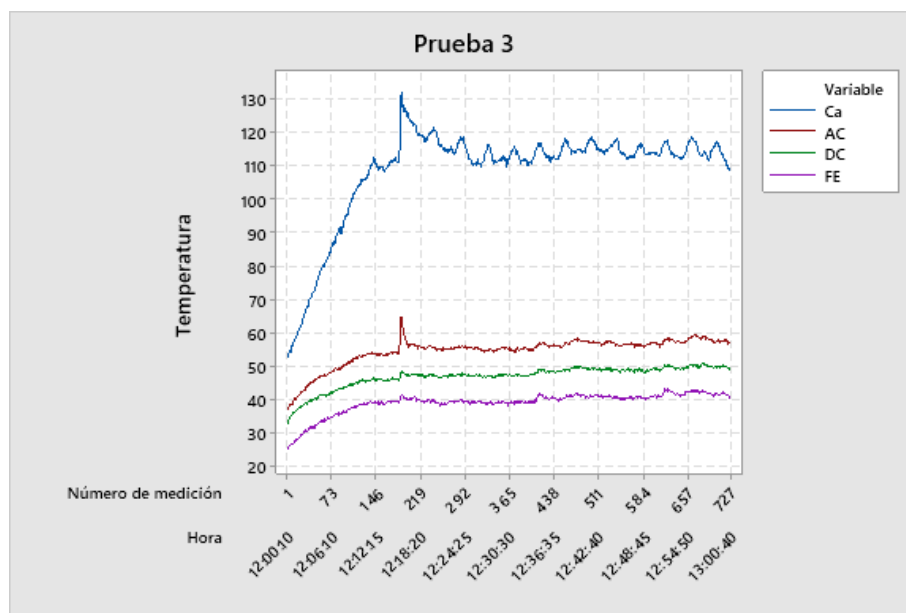
**Nota:** La temperatura ambiente jugo un papel muy importante, pues las temperaturas de inicio son más elevadas que en las pruebas anterior en relanti con el header instalado.



**Gráfico 20-3:** Prueba 2, medio día con el header, Temperatura VS. Tiempo/Mediciones.

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** Otro caso particular, en esta prueba, gracias a la gráfica de datos obtenidos, “AC” y “DC” inician en la misma temperatura, para a los 2 minutos del inicio de la prueba, empezar a tomar sus curvas características de no llevar un catalizador.



**Gráfico 21-3:** Prueba 3, medio día con el header, Temperatura VS. Tiempo/Mediciones.

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** Esta grafica como particular tiene el, registrar las máximas temperaturas en el mismo punto para los cuatro sensores, para después de esto descender y tener a estabilizarse, menos “Ca”, quien tiende a variar su onda en la gráfica.

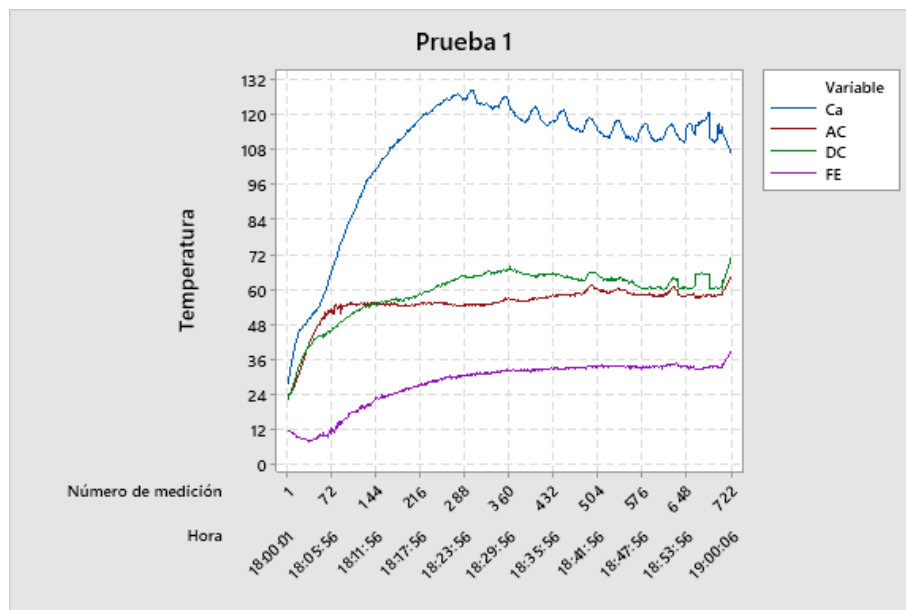
### 3.1.2.2.3. Pruebas en la tarde con el header instalado

Después de haber acabado con las pruebas al medio día, procedemos a realizar las pruebas en la tarde con el header instalado, en donde el mayor número de datos recopilados las observamos en la gráfica 3-22, obtenidos de la prueba 1, en la cual observamos 722 mediciones donde se obtuvo la máxima temperatura registrada en la variable “Ca” ,128.07 °C, mientras que la menor temperatura se la registro en la variable “FE”, 6.87 °C, de la tercera prueba (tabla 3-31).

Al transcurrir el tiempo de la prueba, podemos observar que en la gráfica 3-22 y 3-23 la variable “Ca” sigue liderando los valores máximos de temperatura 128.07 °C, perteneciente a la prueba 1 y 128 °C, de la prueba 2, respectivamente.

La variable “FE” es la que menos temperatura gana en las tres pruebas ya que en las mismas el clima al final del día era frío, como ya se explicó en el capítulo anterior Latacunga se ha caracterizado por tener temperaturas ambiente bajas.

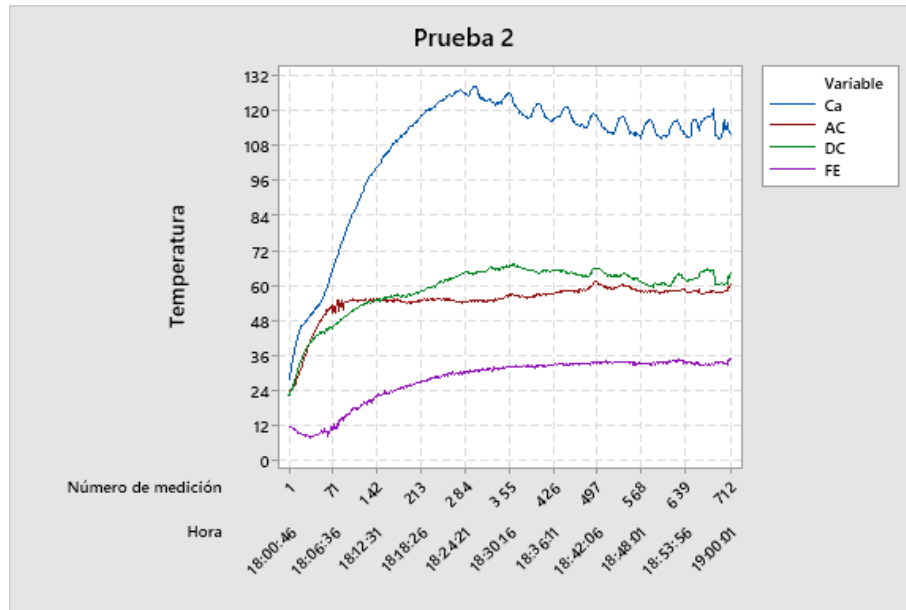
Algo característico de esta prueba, es como se comportó la temperatura en el colector de escape, pues en las tres pruebas, después de llegar al tope de temperatura, tiene altos y bajos constantes.



**Gráfico 22-3:** Prueba 1 en la tarde, Temperatura VS. Número de mediciones.

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

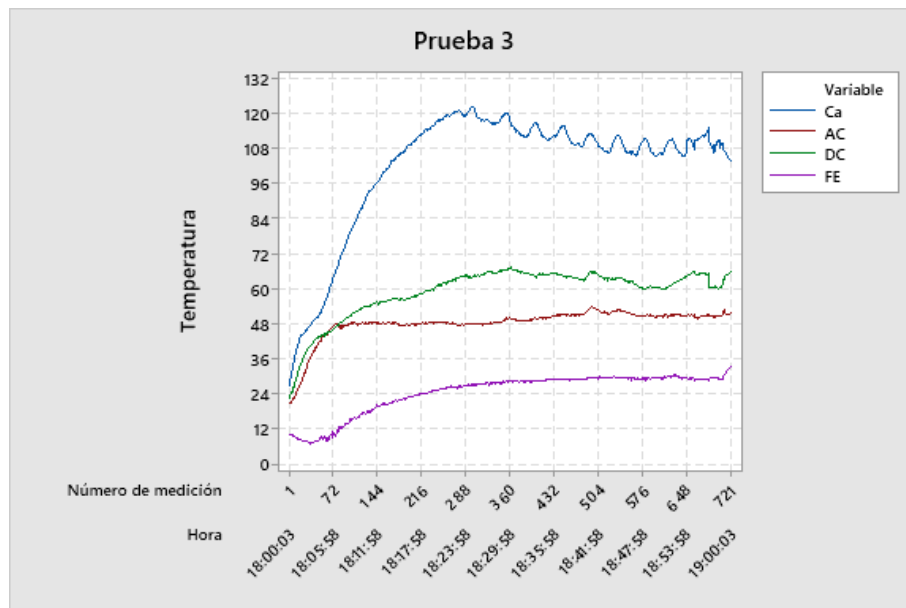
**Nota:** La distancia entre la temperatura del final del tubo de escape y el resto de los sensores es grande, pues aún en su máxima temperatura, llega a ser el inicio de los otros sensores.



**Gráfico 23-3:** Prueba 2 en la tarde, Temperatura VS. Número de mediciones.

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** Las temperaturas entre “AC” y “DC” van a la par, la forma de su curva es similar, aunque en diferentes valores.



**Gráfico 24-3:** Prueba 3 en la tarde, Temperatura VS. Número de mediciones.

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** Aquí, se puede observar cómo hay un traslape entre “AC” y “DC”, a partir de esto, empiezan a separarse e inclusive tienen un punto en común del comportamiento en la medición 498.

### 3.1.3. Pruebas en ruta

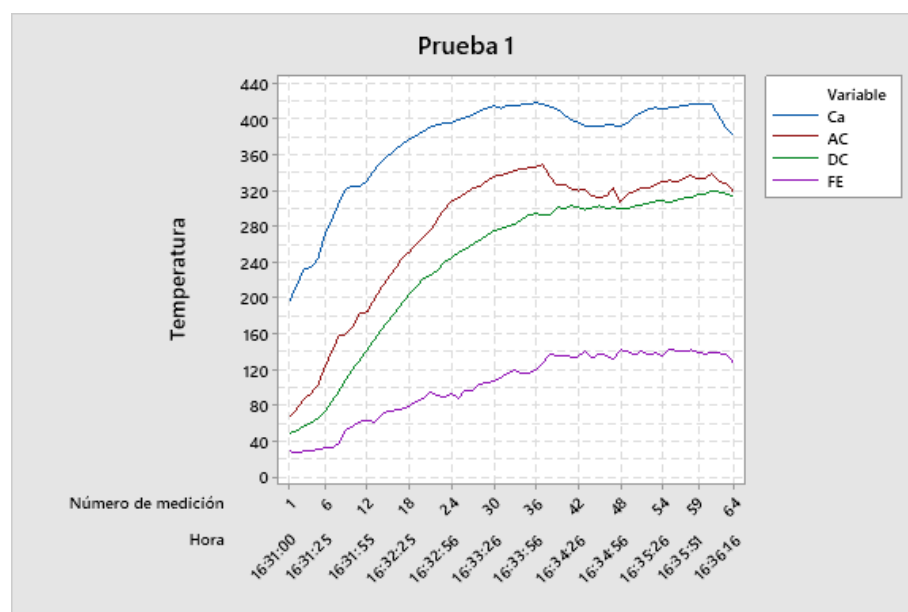
Luego de haber realizado todas las pruebas en relantí y haber obtenidos los datos graficados y haber observado que la variable “Ca” es la que llega a tener la temperatura más elevada de entre las cuatro, observaremos si se repite esto en las pruebas en ruta, con los dos métodos propuestos en el capítulo anterior.

#### 3.1.3.1. Pruebas con el sistema original en ruta

De un total de tres pruebas realizadas se obtuvo la misma temperatura máxima, que observamos en la gráfica 3-25, obtenidos de la prueba 1, y 3-26, de la prueba 2, siendo esta de 418.50 °C, con diferencia en sus rangos.

De igual manera, en las tres pruebas podemos prestar atención que las variables “AC” y “DC” sobrepasan los 305 °C, esto es muy importante pues, con la duración corta de todas las pruebas, podemos observar como ejemplo en gráfica la 3-25, que sus mínimos no sobrepasan los 66 °C y en corto tiempo alcanzan altas temperaturas.

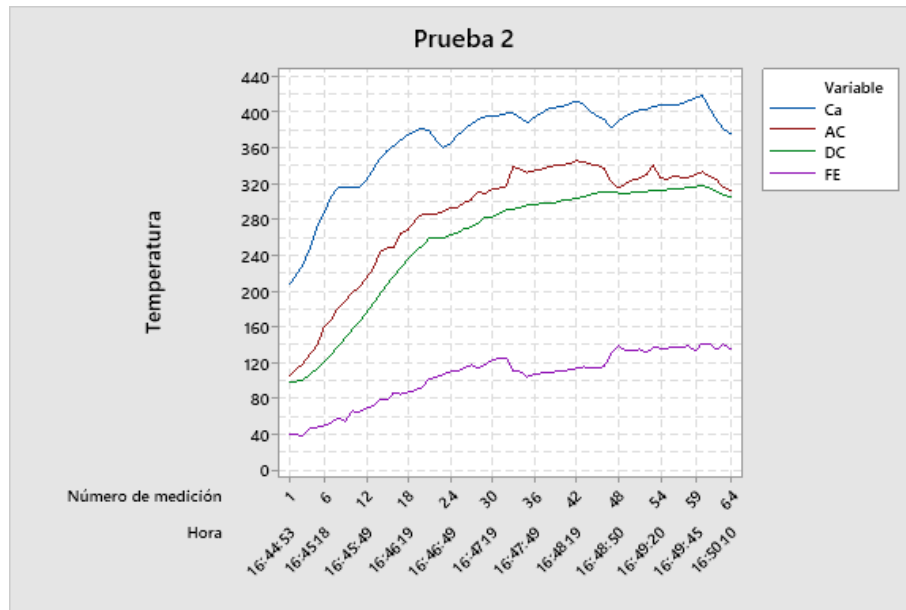
Mientras que en la gráfica 3-27, extraída de la prueba 3, la variable “FE” no logra superar los 129.25 °C, como ya se manifestó en el capítulo anterior, el sector elegido para estas pruebas inicia en 3147msnm y finaliza en los 3493msnm, según marca el GPS, lo que podría justificar esta baja temperatura.



**Gráfico 25-3:** Prueba 1 en ruta, Temperatura VS. Número de mediciones, Hora.

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

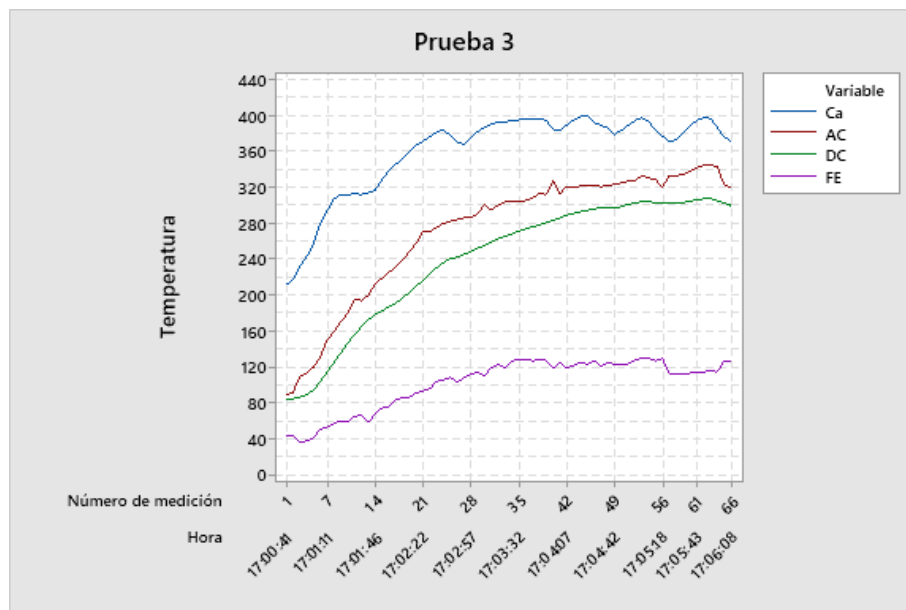
**Nota:** En esta gráfica, podemos observar que las variables “Ca” y “AC” después de alcanzar su temperatura máxima empiezan a descender gradualmente, específicamente en la medición 34 y 37, lo que supone la mitad del trayecto.



**Gráfico 26-3:** Prueba 2 en ruta, Temperatura VS. Número de mediciones, Hora.

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** Aproximadamente a los 3347 msnm la temperatura al final del tubo de escape tuvo un compartimento extraño, pues a medida que ascendía , bajo de manera casi abrupta, para después empezar a subir gradualmente y llegar hasta su punto máximo ,para después estabilizarse casi al final de la prueba.



**Gráfico 27-3:** Prueba 3 en ruta, Temperatura VS. Número de mediciones, Hora.

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021



**Nota:** Gracias a esta grafica podemos observar como la única variable que no sufrió cambios abruptos, fue “DC”, la cual muestra una curva casi perfecta.

### 3.1.3.2. Pruebas con el header instalado en ruta

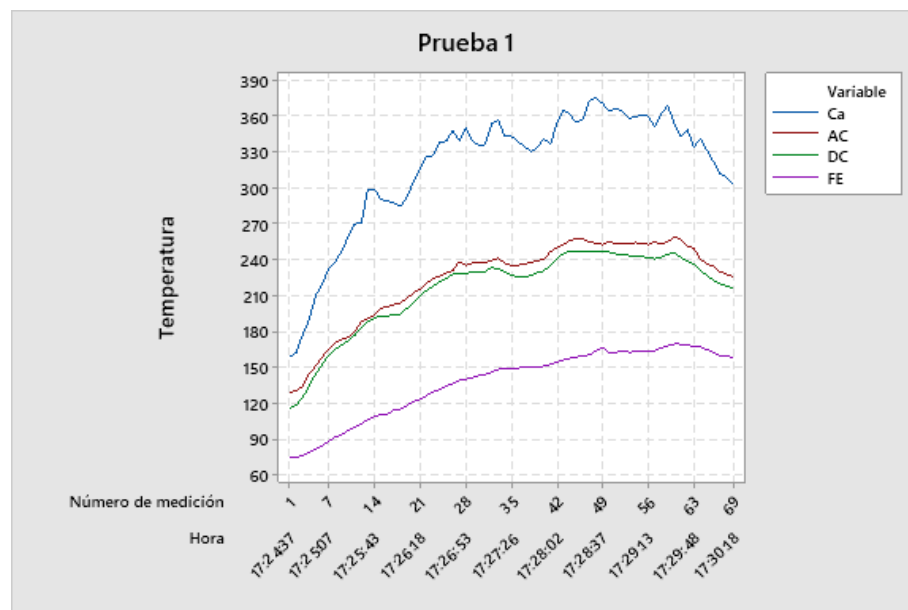
Finalmente podemos observar las gráficas: 3-28, producto de la prueba 1, 3-29 , como resultado de la prueba 2 y 3-30, de la prueba 3 ; correspondientes a las tres últimas pruebas realizadas para nuestro “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA EN EL FLUJO DE LOS GASES COMBUSTIONADOS DE UN MOTOR A GASOLINA EN SU SISTEMA DE ESCAPE”.

De estas, la que mayor temperatura obtuvo, fue la prueba dos y tres, con 395.25 °C, ubicada en la variable “Ca”.

A diferencia de las gráficas: 3-25, 3-26 y 3-27; podemos observar como en las variables “AC” y “DC”, las temperaturas máximas no sobrepasan los 236.75 °C.

Pero si coincide con el aumento inmediato de temperatura encorto tiempo, tal como sucedió en las pruebas en ruta con el sistema original de escape, al igual que la temperatura en la variable “FE”, esta no aumenta mucho, así la máxima encontrada es de 149.25 °C, extraída de la prueba 3.

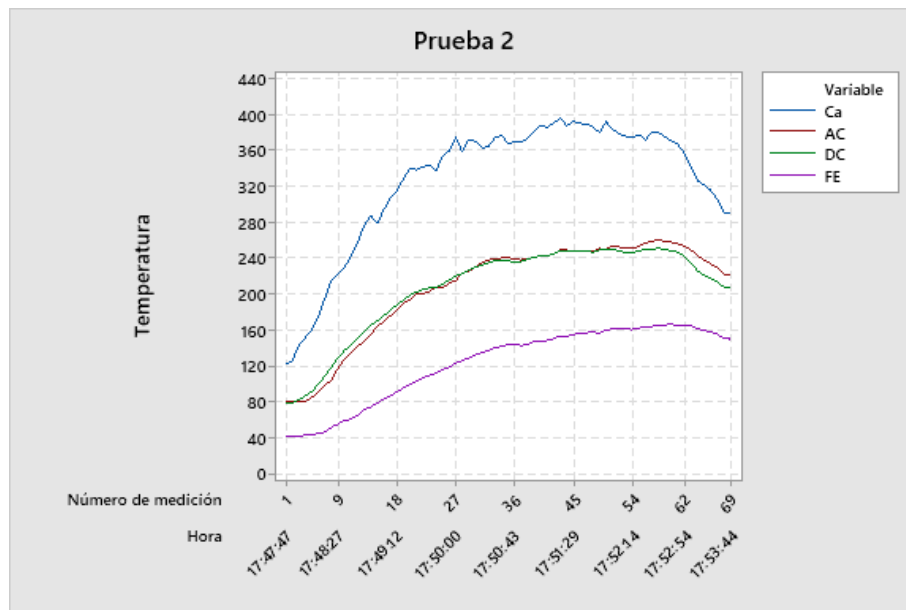
Finalmente, en las gráficas de estas tres pruebas, también podemos apreciar que las variables “AC” y “DC” van muy apegadas en su rango de aumento a lo largo de la prueba.



**Gráfico 28-3:** Prueba 1 en ruta, Temperatura VS. Número de mediciones.

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

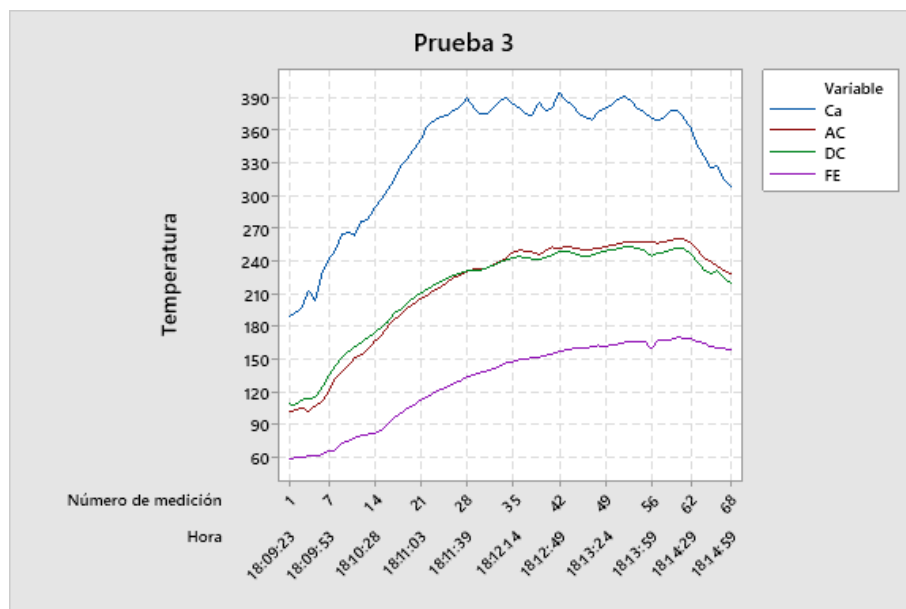
**Nota:** Después de ver las curvas generadas por la prueba , podemos observar que la temperatura antes y después del catalizador , se comportó de forma similar ,mientras que la temperatura al final del tubo de escape fue muy distante a estas dos últimas.



**Gráfico 29-3:** Prueba 2 en ruta, Temperatura VS. Número de mediciones.

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** Como se observó en la misma prueba, pero con el sistema original de escape, la temperatura al final del tubo escape forma una curva de ascenso casi ideal.



**Gráfico 30-3:** Prueba 3 en ruta, Temperatura VS. Número de mediciones.

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** De la anterior grafica podemos observar que aproximadamente a los 3490 msnm, la temperatura empieza a descender, en todas las variables, aunque esto no se distingue mucho al final del tubo de escape, pues su temperatura no superó los 170 °C.

### **3.2. Análisis estadístico**

A continuación, se describen en detalle todos los resultados del análisis estadístico y en él se registran algunos aspectos de cómo se comporta la temperatura de los gases de escape, cabe recalcar que no es un análisis donde se muestran porcentajes, pues el fin de nuestro estudio es, definir el punto donde más observemos temperatura y en qué condiciones.

Es por ello por lo que hemos usado: la media, mediana, máximo y rango, para definir nuestro análisis; aparte de un análisis ANOVA, aplicándose así, pruebas de comparación múltiple de medias, para nuestro caso la LSD (Least Significant Difference), con un 95 % de confianza. Mediante el método de Tukey, tal como lo sugiere (Rocha Hoyos et al., 2019), en su investigación.

Cabe reiterar que para que no exista confusión entre las variables, estas las hemos subdividido en los números de pruebas que se ha hecho, para poder realizar el análisis estadístico entre pruebas.

#### **3.2.1. Pruebas bajo el ciclo PTEC-593**

##### **3.2.1.1. Pruebas con el sistema original**

En este caso se realizaron tres pruebas, bajo el ciclo de conducción PTEC-593, se obtuvieron temperaturas altas, específicamente en la variable “Ca”, (Ca\_1, Ca\_2, Ca\_3).

También podemos observar que existe una diferencia significativa en sus medias y en la temperatura promedio, esto observamos en las tablas: 3-1, 3-2 y 3-3. Donde ninguna temperatura es similar.

Luego en análisis ANOVA realizado podemos observar que se ha ordenado de mayor a menor las temperaturas medias y después agruparlas mediante el análisis LSD de Fisher y observamos que las variables que no tienen una “letra” en común, son significativamente diferentes.

Aun siendo la variable “Ca” la que más temperatura obtuvo, solo en la prueba 2(Ca\_2) y 3(Ca\_3) se pueden decir que son iguales, mientras que, “AC” (AC\_2 y AC\_3) tiene la segunda temperatura media más alta, globalmente hablando, pues en la prueba 2 y 3, nuevamente vuelven a compartir sus medias.

Finalmente, la variable “FE” también se agrupa en medias similares, en la prueba 3(FE\_3) y 1(FE\_1), mientras que “DC\_1”, “DC\_2” y “DC\_3” son indiferentes al resto de las variables, podemos decir que esta variable “DC”, nunca fue estable en las tres pruebas, pues no logro una media agrupada.

**Tabla 1-3:** Valores derivados de la prueba 1 con el sistema original

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	629	266.51	225.50	264.00	322.00	96.50
AC	629	174.25	130.50	167.50	245.00	114.50
DC	629	148.94	124.50	144.25	189.00	64.50
FE	629	62.67	46.75	63.25	86.50	39.75

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 2-3:** Valores derivados de la prueba 2 bajo en ciclo de conducción

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	515	274.88	213.50	272.00	351.25	137.75
AC	515	195.29	102.75	195.50	263.00	160.25
DC	515	159.75	59.75	167.00	206.50	146.75
FE	515	59.65	36.50	61.75	79.50	43.00

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 3-3:** Valores derivados de la prueba 3 bajo en ciclo de conducción

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	519	274.10	238.75	270.50	386.25	147.50
AC	519	194.32	159.00	190.50	259.75	100.75
DC	519	164.61	140.75	161.25	205.75	65.00
FE	519	64.25	57.00	62.750	85.00	28.00

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

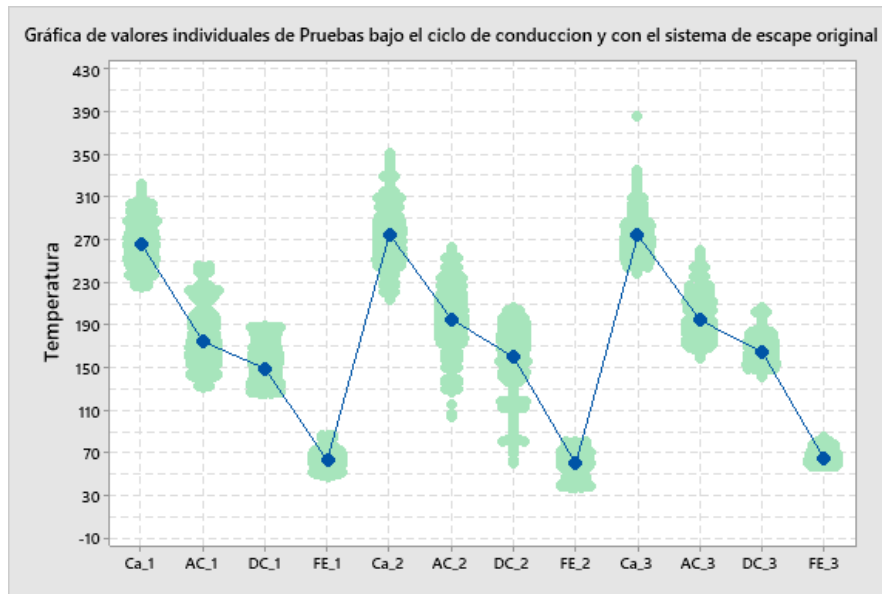
**Tabla 4-3:** Agrupación LSD de Fisher para las pruebas bajo el ciclo de conducción

Factor	N	Media	Agrupación
Ca_2	515	274.88	A
Ca_3	519	274.09	A
Ca_1	629	266.51	B
AC_2	515	195.29	C
AC_3	519	194.32	C
AC_1	629	174.24	D
DC_3	519	164.60	E
DC_2	515	159.75	F
DC_1	629	148.94	G

FE_3	519	64.25	H
FE_1	629	62.67	H
FE_2	515	59.65	I

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes y con una confianza de 95%



**Gráfico 31-3:** Comparación entre las medias de los valores individuales de las 3 pruebas

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

Nota: Las temperaturas medias de “FE”, no fueron superiores a los 70 ° C.

### 3.2.1.2. Pruebas con el header instalado

Después de haber analizado gráficamente los resultados y después de que observamos el análisis estadístico anterior, observamos cómo una vez más la variable “Ca” (Ca\_1, Ca\_2, Ca\_3), llega a obtener las temperaturas más altas, 316.50 ° C, la mayor ubicándose en “Ca\_3”, pero no logran ser tan altas como en las pruebas anteriores, teniendo en cuenta que, la ruta de prueba fue la misma.

De igual manera ninguna meda es similar, pero bajo el análisis comparativo, podemos prestar atención a las agrupaciones que se han realizado, siendo así solo las variables “AC\_1”, y “DC\_3” las únicas que comparten una media.

**Tabla 5-3:** Valores derivados de la prueba 1 bajo en ciclo de conducción

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	597	213.50	163.25	213.25	276.00	112.75
AC	597	136.32	104.00	135.50	179.50	75.50
DC	597	115.31	88.25	115.75	146.50	58.25

FE 585 96.15 51.75 108.75 130.75 79.00

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 6-3:** Valores derivados de la prueba 2 bajo en ciclo de conducción

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	832	200.97	147.50	195.25	312.00	164.50
AC	832	100.78	77.50	100.50	148.25	70.75
DC	832	125.55	92.75	122.75	205.50	112.75
FE	832	61.40	44.50	61.500	92.75	48.25

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 7-3:** Valores derivados de la prueba 3 bajo en ciclo de conducción

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	612	218.35	159.25	213.38	316.50	157.25
AC	612	112.06	89.50	108.50	157.50	68.00
DC	612	134.88	101.75	133.00	209.50	107.75
FE	612	71.49	55.50	70.250	106.25	50.75

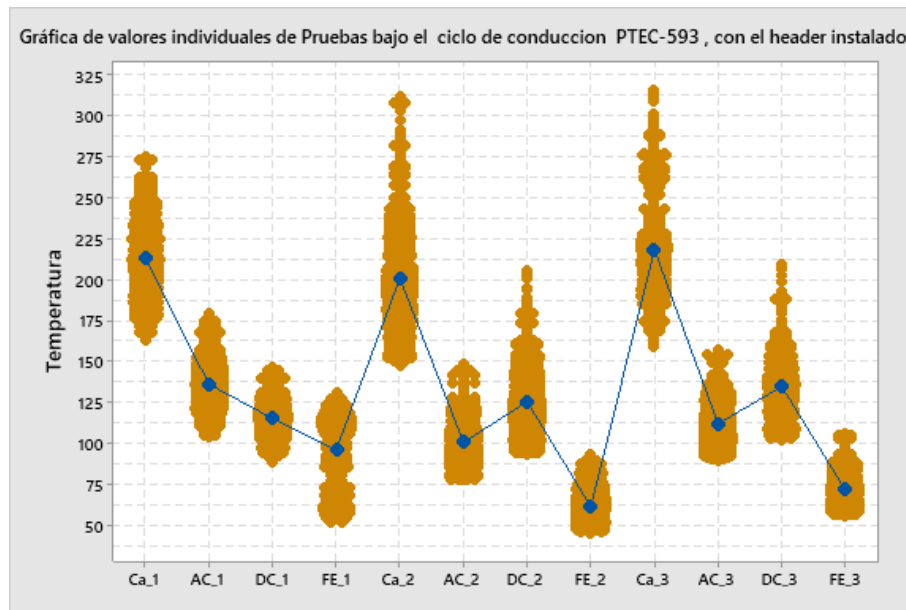
Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 8-3:** Agrupación LSD de Fisher de las pruebas bajo el ciclo de conducción, header.

Factor	N	Media	Agrupación
Ca_3	612	218.35	A
Ca_1	597	213.49	B
Ca_2	832	200.97	C
AC_1	597	136.32	D
DC_3	612	134.87	D
DC_2	832	125.55	E
DC_1	597	115.30	F
AC_3	612	112.06	G
AC_2	832	100.77	H
FE_1	585	96.15	I
FE_3	612	71.49	J
FE_2	832	61.40	K

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes y con una confianza de 95%



**Gráfico 32-3** Comparación entre las medias de los valores individuales de las 3 pruebas.

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** Las únicas medias aritméticas de las pruebas que tienden a formar una curva son las de la prueba 1, mientras que a diferencia de la gráfica anterior en esta “FE”, llega a superar los 70° C en dos pruebas.

### 3.2.2. Pruebas en relantí

#### 3.2.2.1. Pruebas con el sistema original

Para el análisis estadístico de estas nueve pruebas en diferentes situaciones, podemos visualizar que la máxima temperatura alcanzada es por la variable “Ca\_1”, 239.50 °C, como se puede observar en la tabla 3-9.

De igual manera en el análisis LSD observamos que, en ninguna prueba se agrupan las medias de esta variable; contrastando con esto las que, solo agrupan sus medias las variables “AC\_1” y “AC\_3” y “FE\_1”, “FE\_2” y “FE\_3”

También se puede mirar en la tabla 3-20, como esta tendencia de agrupación se repite, en las mismas variables y de una forma similar como en la prueba de la mañana.

#### 3.2.2.1.1. Pruebas en la mañana

**Tabla 9-3:** Valores derivados de la prueba 1 en la mañana

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	723	207.05	59.00	228.75	239.50	180.50

AC	723	85.80	26.00	94.00	101.00	75.00
DC	723	61.04	20.00	67.25	74.25	54.25
FE	723	34.55	16.00	36.00	40.50	24.50

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 10-3:** Valores derivados de la prueba 2 en la mañana

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	720	204.61	45.50	226.13	237.75	192.25
AC	720	90.92	22.00	101.25	107.25	85.25
DC	720	69.07	15.25	78.25	86.25	71.00
FE	720	35.68	13.50	37.25	39.75	26.25

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 11-3:** Valores derivados de la prueba 3 en la mañana

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	721	214.62	82.25	222.00	229.50	147.25
AC	721	85.15	25.25	92.00	99.75	74.50
DC	721	65.01	22.50	70.75	79.75	57.25
FE	721	37.34	19.25	38.75	40.25	21.00

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

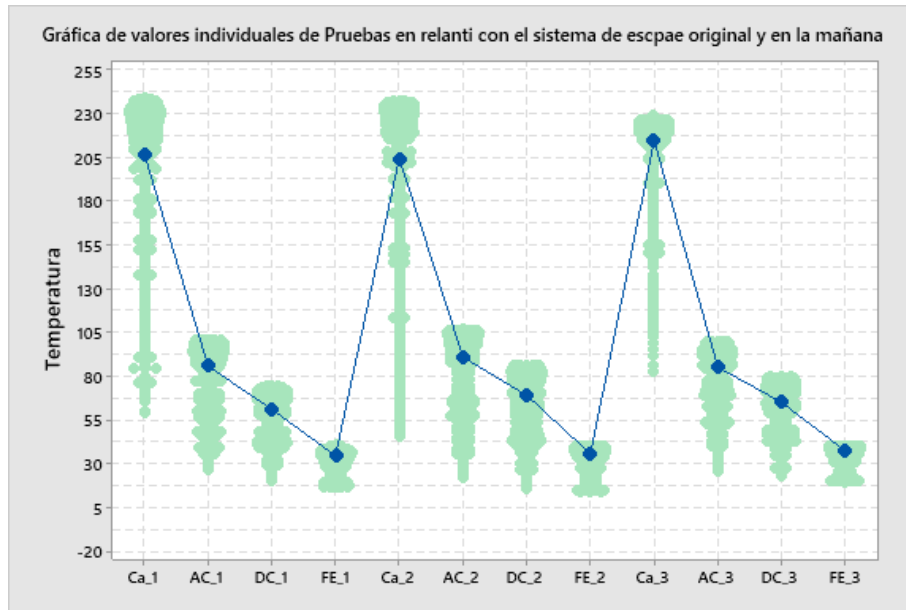
**Tabla 12-3:** Agrupación LSD de Fisher para las pruebas en relantí con el escape original en la mañana

Factor	N	Media	Agrupación
Ca_3	721	214.62	A
Ca_1	723	207.05	B
Ca_2	720	204.61	C
AC_2	720	90.92	D
AC_1	723	85.80	E
AC_3	721	85.15	E
DC_2	720	69.07	F
DC_3	721	65.01	G
DC_1	723	61.04	H
FE_3	721	37.34	I
FE_2	720	35.68	I J
FE_1	723	34.55	J

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes y con una confianza de 95%





**Gráfico 33-3** Comparación de medias, valores individuales de las 3 pruebas en la mañana

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** La forma en como las medias aritméticas se grafican, nos muestra como estuvieron separadas las temperaturas registradas, en el colector de escape y al final del tubo de escape.

### 3.2.2.1.2. Pruebas al medio día

**Tabla 13-3:** Valores derivados de la prueba 1 al medio día

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	721	208.94	98.50	217.75	226.00	127.50
AC	721	85.68	40.75	89.00	96.50	55.75
DC	721	63.17	33.25	66.00	73.00	39.75
FE	721	37.67	26.00	38.25	39.75	13.75

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 14-3:** Valores derivados de la prueba 2 al medio día

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	720	208.97	98.55	217.80	226.05	127.50
AC	720	85.73	40.80	89.05	96.55	55.75
DC	720	63.27	33.35	66.10	73.10	39.75
FE	720	37.72	26.05	38.30	39.80	13.75

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 15-3:** Valores derivados de la prueba 3 al medio día

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	723	208.94	98.47	217.73	225.98	127.50

AC	723	85.66	40.72	88.97	96.47	55.75
DC	723	63.20	33.27	66.02	73.02	39.75
FE	723	37.64	25.97	38.22	39.72	13.75

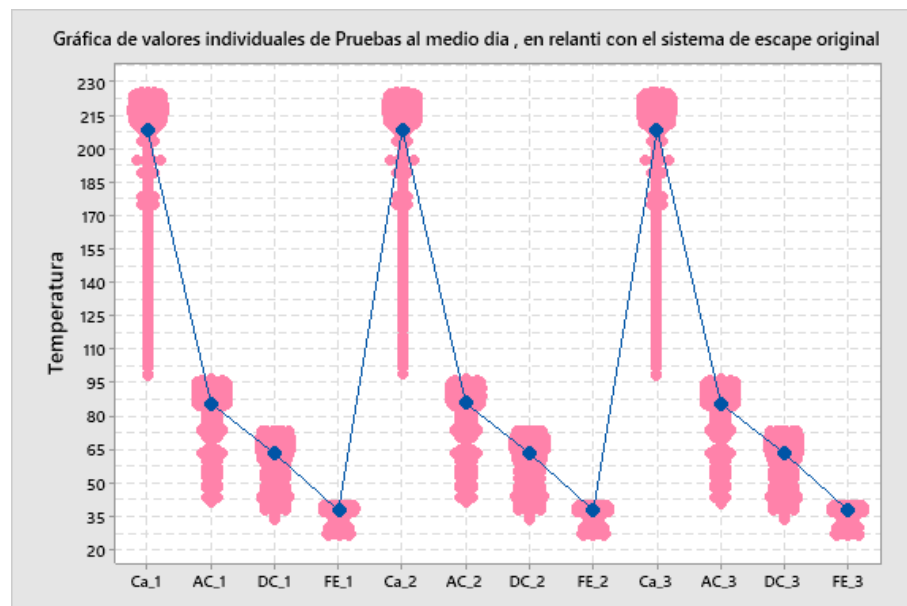
Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 16-3:** Agrupación LSD de Fisher para las tres pruebas al medio día en relanti con el sistema de escape original.

Factor	N	Media	Agrupación
Ca_2	720	208.97	A
Ca_3	723	208.93	A
Ca_1	721	208.93	A
AC_2	720	85.73	B
AC_1	721	85.68	B
AC_3	723	85.66	B
DC_2	720	63.27	C
DC_3	723	63.20	C
DC_1	721	63.17	C
FE_2	720	37.72	D
FE_1	721	37.67	D
FE_3	723	37.64	D

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes y con una confianza de 95%



**Gráfico 34-3:** Comparación, de medias, valores individuales de las 3 pruebas al medio día

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** En su inicio las temperaturas en “Ca” fueron sobre los 95°C, mientras que por ser en relantí, las gráficas tendieron a ser similares.

### 3.2.2.1.3. Pruebas en la tarde

**Tabla 17-3:** Valores derivados de la prueba 1 en la tarde

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	717	204.67	72.58	210.07	242.07	169.50
AC	717	86.77	30.07	93.32	98.57	68.50
DC	717	69.57	31.57	76.57	80.82	49.25
FE	717	35.77	20.57	36.82	39.32	18.75

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 18-3:** Valores derivados de la prueba 2 en la tarde

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	723	204.60	72.50	209.75	242.00	169.50
AC	723	86.74	30.00	93.25	98.50	68.50
DC	723	69.55	31.50	76.50	80.75	49.25
FE	723	35.70	20.50	36.75	39.25	18.75

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 19-3:** Valores derivados de la prueba 3 en la tarde

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	720	195.94	70.25	200.75	234.00	163.75
AC	720	76.32	24.75	81.00	88.50	63.75
DC	720	60.63	23.25	64.75	72.50	49.25
FE	720	36.58	25.25	37.50	39.25	14.00

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

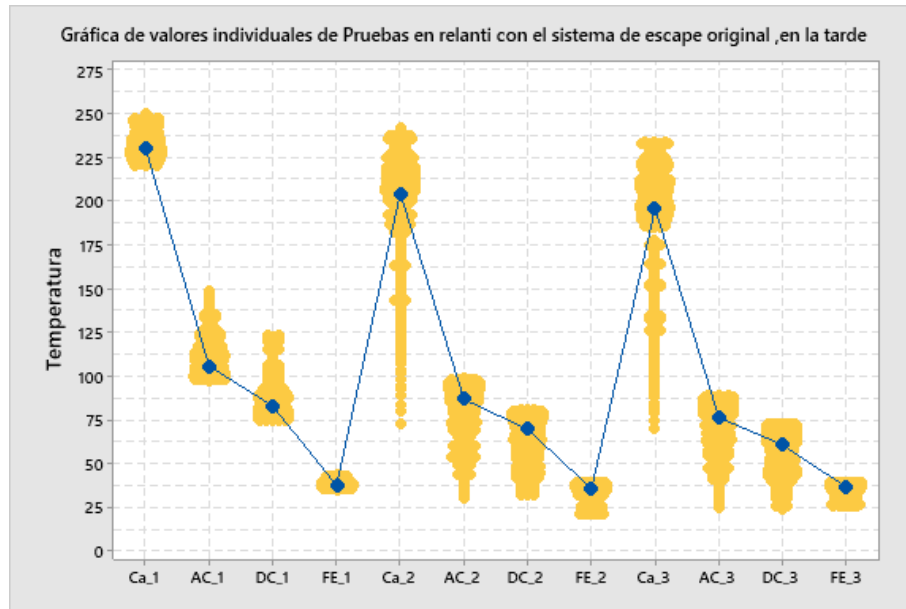
**Tabla 20-3:** Agrupación LSD de Fisher de las pruebas en la tarde en relantí con el sistema de escape original.

Factor	N	Media	Agrupación
Ca_1	717	230.66	A
Ca_2	723	204.60	B
Ca_3	720	195.94	C
AC_1	717	105.71	D
AC_2	723	86.74	E
DC_1	717	82.87	F
AC_3	720	76.32	G
DC_2	723	69.55	H

DC_3	720	60.63	I
FE_1	717	37.51	J
FE_3	720	36.58	J K
FE_2	723	35.70	K

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes y con una confianza de 95%



**Gráfico 35-3:** Comparación de medias, pruebas individuales en la tarde, sistema de escape original.

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** En esta prueba la media más alta se ubicó en su primer registro, después se observa como las medias de la misma variable descienden.

### 3.2.2.2. Pruebas con el header instalado

En consecuencia, con las pruebas realizadas y el análisis estadístico realizado, podemos observar, que, bajo la condición propuesta para nuestras pruebas, obtuvimos.

La mayor temperatura observamos en la tabla 3-27 , 132 °C , en la variable “Ca” ,de la tercera prueba realizada al medio día ; mientras que la temperatura más baja la observamos en la tabla 3-31, siendo 6.87 °C;en “FE”, de la tercera prueba realizada en la tarde, mientras que por otro lado las variables “AC” y “DC” no logran pasar de los 70.45 °C , en ninguna de las pruebas , podemos asumir ,que tan bajas temperaturas se registraron por el material de fabricación del tubo de escape ,pues disipa rápidamente el calor.

Aun así, después de realizar el análisis ANOVA, podemos observar en la tabla 3-24, como “Ca\_1” y Ca\_3”, se agrupan debido a sus medias., mientras que “Ca\_2” y “DC\_2” no comparten sus medias.

Por otro lado, en la tabla 3-28 las variables “DC\_2” y “AC\_3” comparten sus medias de igual manera las variables “FE\_1” y “FE\_2”, pues en estas últimas variables la temperatura siempre se registró datos bajos.

Finalmente, en la tabla 3-32 correspondiente a las pruebas realizadas en la tarde con el header instalado, las variables: “Ca\_3”, “AC\_3” y “FE\_3”, no comparten sus medias, después de haber realizado el análisis.

### 3.2.2.2.1. Pruebas en la mañana con el header

**Tabla 21-3:** Valores derivados de la prueba 1 en la mañana

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	721	107.75	44.46	116.21	121.96	77.50
AC	721	50.81	25.70	51.95	56.45	30.75
DC	721	55.88	30.95	57.70	62.20	31.25
FE	721	31.90	14.70	33.45	35.20	20.50

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 22-3:** Valores derivados de la prueba 2 en la mañana

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	717	110.45	42.75	118.00	131.25	88.50
AC	721	51.39	26.28	52.53	57.03	30.75
DC	717	59.81	31.25	63.50	69.25	38.00
FE	721	32.45	15.25	34.00	35.75	20.50

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 23-3:** Valores derivados de la prueba 3 en la mañana

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	712	107.35	44.00	115.75	121.50	77.50
AC	712	50.30	25.25	51.50	56.00	30.75
DC	712	55.42	30.50	57.25	61.75	31.25
FE	712	31.46	14.25	33.00	36.00	21.75

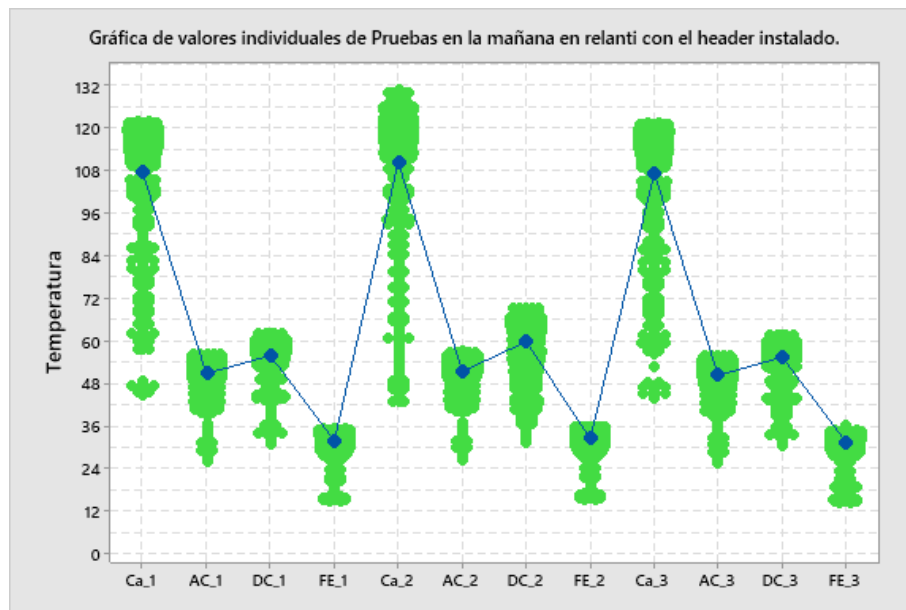
**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 24-3:** Agrupación LSD de Fisher para las tres pruebas en la mañana en relanti con el header instalado.

Factor	N	Media	Agrupación
Ca_2	717	110.44	A
Ca_1	721	107.74	B
Ca_3	712	107.35	B
DC_2	717	59.81	C
DC_1	721	55.88	D
DC_3	712	55.42	D
AC_2	721	51.39	E
AC_1	721	50.81	E
AC_3	712	50.30	E
FE_2	721	32.45	F
FE_1	721	31.90	F
FE_3	712	31.46	F

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes y con una confianza de 95%



**Gráfico 36-3:** Comparación de medias, pruebas individuales en la mañana con el header.

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** La diferencia entre las temperaturas de “AC” y “DC” en las pruebas 1 y 3 son similares, mientras que, en las mismas pruebas, pero en “Ca” las medias aritméticas se mantienen en 107°C.

### 3.2.2.2.2. Pruebas al medio día con el header instalado

**Tabla 25-3:** Valores derivados de la prueba 1 al medio día

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	715	113.96	64.00	117.75	121.75	57.75
AC	715	45.50	38.75	45.75	47.50	8.75
DC	715	53.75	42.50	54.25	57.25	14.75
FE	715	34.80	27.00	35.25	36.25	9.25

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 26-3:** Valores derivados de la prueba 2 al medio día

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	712	111.19	76.50	113.50	119.25	42.75
AC	712	61.32	56.25	61.25	67.41	11.16
DC	712	55.03	52.25	54.75	59.00	6.75
FE	712	34.88	27.08	35.33	36.33	9.25

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 27-3:** Valores derivados de la prueba 3 al medio día

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	727	108.65	52.50	113.50	132.00	79.50
AC	727	54.58	37.00	55.75	65.00	28.00
DC	727	46.93	32.50	47.50	51.00	18.50
FE	727	39.08	25.25	39.75	43.50	18.25

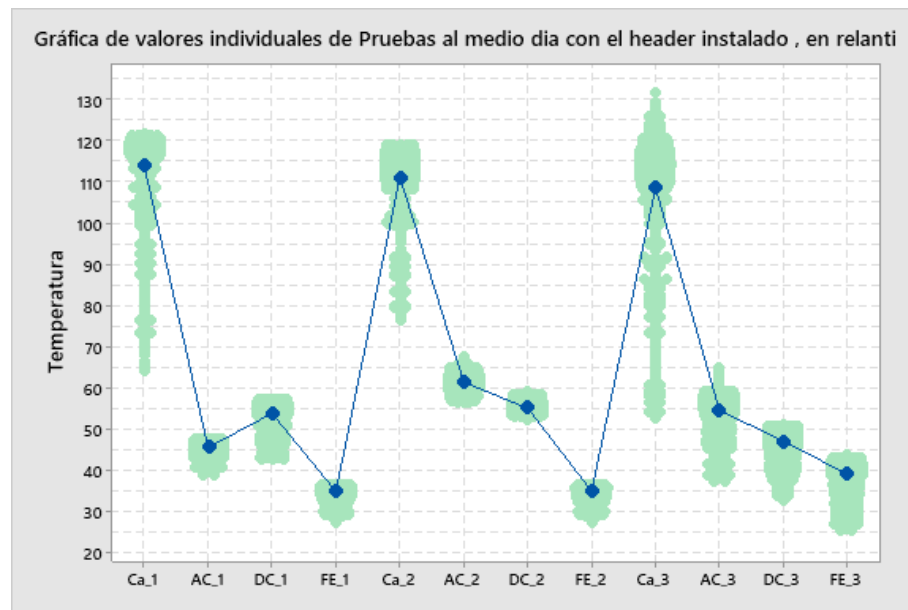
Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 28-3:** Agrupación LSD de Fisher para las pruebas del medio día, header y a relanti.

Factor	N	Media	Agrupación
Ca_1	715	113.96	A
Ca_2	712	111.19	B
Ca_3	727	108.64	C
AC_2	712	61.32	D
DC_2	712	55.03	E
AC_3	727	54.58	E
DC_1	715	53.75	F
DC_3	727	46.93	G
AC_1	715	45.50	H
FE_3	727	39.08	I
FE_2	712	34.88	J
FE_1	715	34.80	J

Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes y con una confianza de 95%



**Gráfico 37-3:** Comparación de medias, pruebas individuales al medio día.

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** Las temperaturas en la prueba 3, fueron escalonadas, al igual que en la prueba 2, mientras que en la prueba 1 se puede ver altos y bajos en sus medias.

### 3.2.2.2.3. Pruebas en la tarde con el header instalado

**Tabla 29-3:** Valores derivados de la prueba 1, en la tarde

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	722	106.99	27.50	115.08	128.07	100.50
AC	722	55.03	23.81	56.06	64.21	40.40
DC	722	58.89	22.35	61.85	70.45	48.10
FE	722	27.84	7.82	31.82	38.77	30.95

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 30-3:** Valores derivados de la prueba 2, en la tarde

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	712	106.88	27.50	115.25	128.00	100,50
AC	712	54.74	23.67	55.80	61.42	37.75
DC	712	58.73	22.25	62.00	67.50	45.25
FE	712	27.63	7.75	31.75	34.95	27.20

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021



**Tabla 31-1:** Valores derivados de la prueba 3, en la tarde

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	721	102.10	26.25	109.75	122.16	95.91
AC	721	48.04	20.75	49.01	53.63	32.88
DC	721	58.87	22.25	62.25	67.50	45.25
FE	721	24.39	6.87	27.90	33.12	26.25

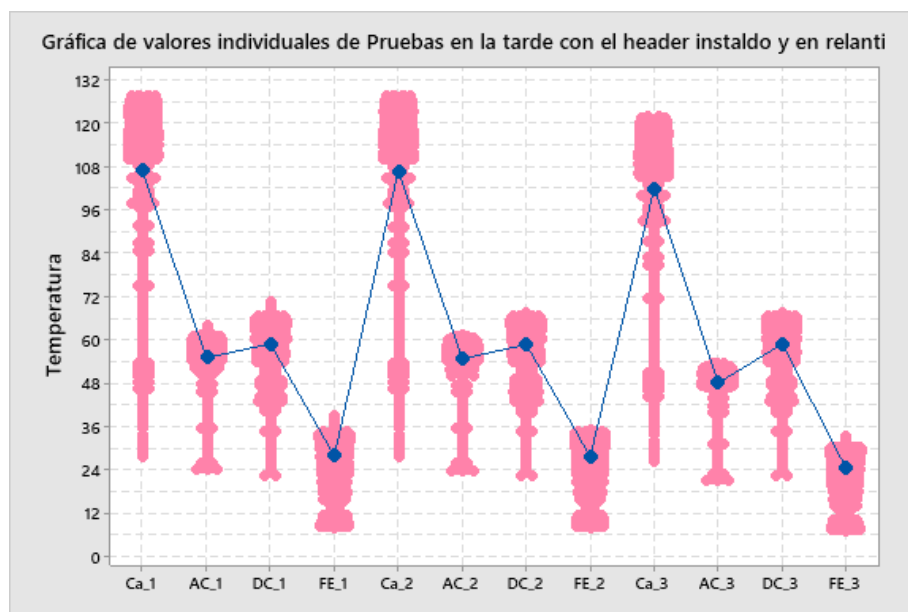
**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 32-3:** Agrupación LSD de Fisher para las tres pruebas en la tarde en relanti con el header instalado.

Factor	N	Media	Agrupación
Ca_1	722	106.98	A
Ca_2	712	106.88	A
Ca_3	721	102.09	B
DC_1	722	58.89	C
DC_3	721	58.87	C
DC_2	712	58.73	C
AC_1	722	55.03	D
AC_2	712	54.74	D
AC_3	721	48.04	E
FE_1	722	27.84	F
FE_2	712	27.63	F
FE_3	721	24.39	G

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes y con una confianza de 95%



**Gráfico 38-3:** Comparación de medias, en las pruebas de la tarde.

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** Una vez más la forma de las gráficas tienden a ser similares, pues fueron realizadas en ralentí y con un clima similar en los días en los cuales se las realizo.

### 3.2.3. *Pruebas en ruta*

Finalmente, para nuestro estudio hemos realizado las pruebas en ruta, con el header instalado y con el sistema original, para aquí observar realmente una diferencia más significativa, pues en esta prueba el vehículo de prueba necesitara de casi toda su fuerza y torque para ascender la cordillera y así poder aceptar o rechazar nuestra hipótesis.

La temperatura más alta encontrada es 418.50 °C, como se muestra en las tablas 3-33, de la variable “Ca\_1”, 3-34 de la variable “Ca\_2”, mientras que en las tablas: 3-38 y 3-39, la variable “Ca\_2” y “Ca\_3”, repiten la misma temperatura alcanzada de 395.25°C.

Ahora, gracias a nuestro sistema de recopilación de datos, podemos observar cómo estas variables alcanzan en diferente tiempo su temperatura más alta registrada.

De igual manera, después del análisis ANOVA y de la agrupación de medias, podemos diferenciar que con el sistema original

Todas las variables traslapan sus temperaturas medias en un cierto intervalo de confianza, como se podemos observar en la tabla 3-36, mientras que las que, siendo variables diferentes hacen lo mismo son:” AC\_1” y “AC\_3” con “DC\_2”

Esto se puede interpretar, ya que, su comportamiento es casi similar en cuanto al aumento de temperatura.

Contrastando con todo esto, una vez más, realizar la misma prueba con el header instalado, nos agrupa las medias de diferente manera, pues, aquí, sus variables tendieron a compartir más sus medias, bajo circunstancias diferentes, pues, “Ca\_2” y “Ca\_1”, traslapan sus medias en el intervalo de confianza.

Mientras que globalmente la variable “AC” y “DC”, superponen en todas las pruebas, sus medias.

Finalmente, a diferencia de las pruebas en ralentí y bajo el ciclo de conducción, la variable “FE”, hablando de 1,2 y 3, no comparte medias con ninguna otra variable, solo en sus mismas pruebas, tampoco alcanza temperaturas tan bajas como en la tabla 3-30, pero con el header, si logra elevar su temperatura hasta los 169.50 °C, la más alta de todas las pruebas y sus variantes; esto puede ser debido a que no hay un catalizador y que los gases llegan con más rapidez al final del tubo de escape.

### 3.2.3.1. Pruebas con el sistema original en ruta

**Tabla 33-3:** Valores derivados de la prueba 1

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	64	375.84	196.50	395.75	418.50	222.00
AC	64	276.70	66.00	319.40	349.00	283.00
DC	64	239.40	48.00	281.30	320.30	272.30
FE	64	102.39	27.00	115.00	142.00	115.00

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 34-3:** Valores derivados de la prueba 2

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	64	369.54	206.00	390.13	418.50	212.50
AC	64	284.00	104.25	314.63	345.50	241.25
DC	64	255.94	97.50	290.50	317.25	219.75
FE	64	103.63	37.50	110.13	141.00	103.50

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 35-3:** Valores derivados de la prueba 3

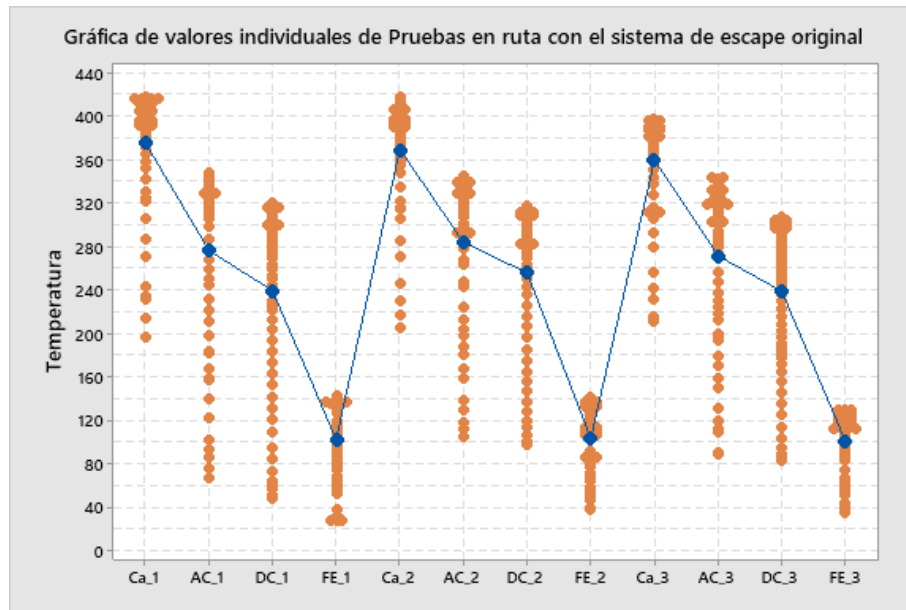
Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	66	359.65	211.25	379.88	398.75	187.50
AC	66	271.58	88.25	303.00	344.00	255.75
DC	66	238.95	83.00	266.13	307.00	224.00
FE	66	100.88	35.25	112.88	129.25	94.00

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 36-3:** Agrupación LSD de Fisher para las pruebas en ruta con el sistema de escape original.

Factor	N	Media	Agrupación
Ca_1	64	375.84	A
Ca_2	64	369.54	A
Ca_3	66	359.65	A
AC_2	64	284.00	B
AC_1	64	276.70	B C
AC_3	66	271.58	B C
DC_2	64	255.94	C D
DC_1	64	239.40	D
DC_3	66	238.95	D
FE_2	64	103.63	E
FE_1	64	102.39	E
FE_3	66	100.88	E

**Nota:** Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes y con una confianza de 95%



**Gráfico 39-3:** Comparación de medias, pruebas en ruta

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** Las medias de “FE” en esta prueba se encuentran en el rango de 100°C, lo que supone que la altura a la que se realizó la prueba es un poco indiferente a la temperatura esperada en este punto.

### 3.2.3.2. Pruebas con el header instalado en ruta

**Tabla 37-3:** Valores derivados de la prueba 1

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	69	317.77	158.50	336.50	375.75	217.25
AC	69	223.42	128.50	236.75	259.50	131.00
DC	69	214.92	115.75	227.50	247.50	131.75
FE	69	137.50	74.00	149.25	169.50	95.50

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 38-3:** Valores derivados de la prueba 2

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	69	325.59	121.50	358.50	395.25	273.75
AC	69	206.59	79.50	234.50	259.75	180.25
DC	69	205.76	77.75	226.25	250.25	172.50
FE	69	122.48	40.50	142.25	165.75	125.25

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 39-3:** Valores derivados de la prueba 3

Variable	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango
Ca	68	339.91	188.50	371.50	395.25	206.75
AC	68	214.83	101.50	236.13	261.00	159.50
DC	68	214.40	108.00	231.88	253.25	145.25
FE	68	129.77	58.50	146.75	169.50	111.00

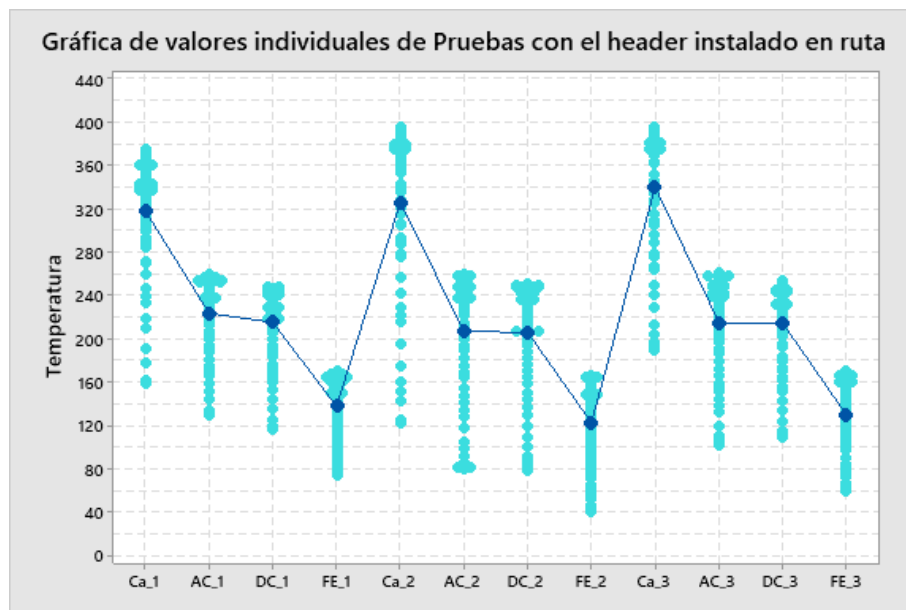
**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Tabla 40-3:** Agrupación LSD de Fisher, para la prueba en ruta con el header instalado

Factor	N	Media	Agrupación
Ca_3	68	339.91	A
Ca_2	69	325.59	A B
Ca_1	69	317.77	B
AC_1	69	223.42	C
DC_1	69	214.92	C D
AC_3	68	214.83	C D
DC_3	68	214.40	C D
AC_2	69	206.59	D
DC_2	69	205.76	D
FE_1	69	137.50	E
FE_3	68	129.77	E
FE_2	69	122.48	E

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes y con una confianza de 95%



**Gráfico 40-3:** Comparación de medias, pruebas individuales en ruta con el header.

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** Hay una gran diferencia entre las medias de “Ca” y “FE” , en comparación con la misma prueba, pero con la variable que es parte del estudio , pues mientras que, con el sistema original , se consiguen medias más altas en “Ca”, con el header las medias de “FE” son más altas

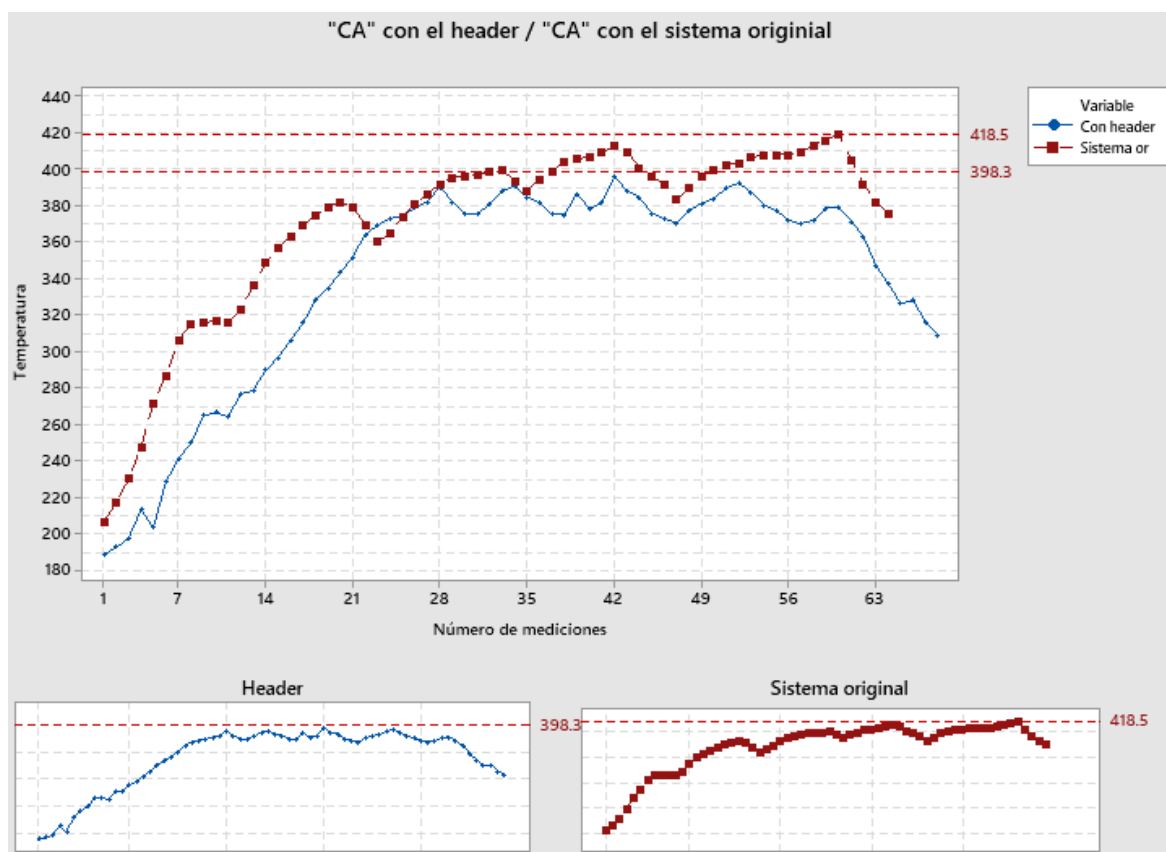
### **3.3. Discusión de resultados**

#### **3.3.1. Colector de escape (Ca)**

Después de haber realizado las pruebas con sus respectivas variantes se observó que aquí siempre se generaran altas temperaturas, independientemente si se usa o no un colector de escape diseñado para competencia o para mejorar el rendimiento del vehículo, como se observa en la comparativa de las 2 temperaturas más altas obtenidas , que se representan en la gráfica 3-41, las cuales se generaron en ruta, pues bajo el ciclo de conducción nunca obtuvimos temperaturas tan altas como las obtenidas en ruta y así podemos concordar con (Massaguer et al., 2017),pues en su investigación nos dice que “ es poco probable que un vehículo en condiciones normales , alcance temperaturas tan altas”, sin contar que dicha investigación , no se la realizo en una zona tan alta.

Pero por otro lado , si lo que queremos es conservar más tiempo esa temperatura producida, es necesario un colector de escape diseñado idealmente para este tipo de recuperación de energía, como propone (Bai et al., 2014) ,en su investigación al decir que el acero inoxidable AISI 409 y AISI 441 es mejor material para múltiples de escape para reemplazar al comúnmente utilizado, para así llegar a los 1000 grados centígrados como lo dice (Bai et al., 2014) aunque sea con un motor inferior a los 1400 CC, pues con el sistema original del vehículo siempre obtuvimos más temperatura que con un colector de escape diseñado de diferente manera (header) ,siendo la más alta 418.50 °C contra los 395.25 °C obtenidos con el header.

Consecuentemente, en relantí nunca conseguimos temperaturas tan altas como en ruta o bajo el ciclo de conducción.



**Gráfico 41-3:** Sistema original VS. Header, valores más altos, variable “Ca”

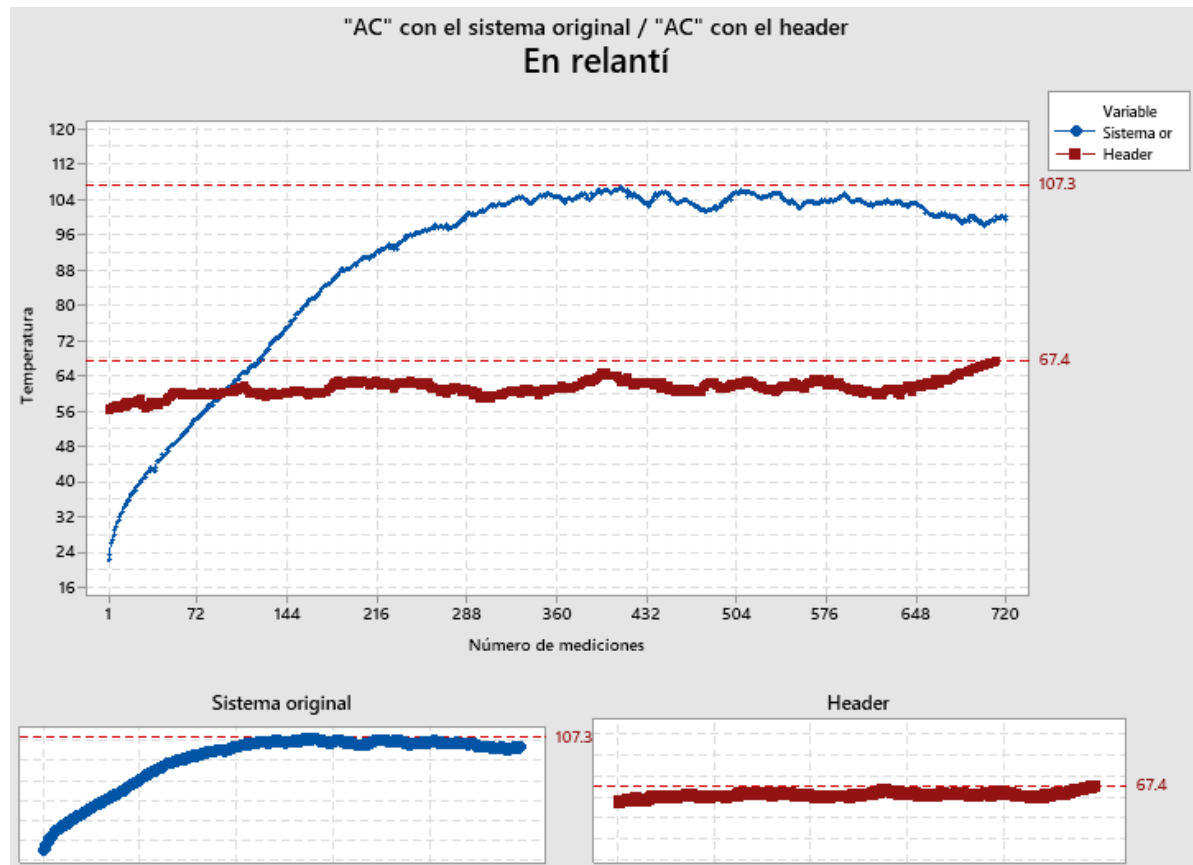
Realizado por: Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** La comparativa se realizó con los datos de la misma prueba , pero con las dos variantes de estudio, teniendo como diferencia el número de mediciones disparejo, adicional a esto podemos decir que la forma de los datos graficados tiene un patrón “indicador de guía”.

### 3.3.2. *Antes del catalizador (AC)*

Después de analizar los datos obtenidos podemos decir que (Bai et al., 2014) tiene razón , pues en realidad hasta que el catalizador empieza a funcionar , se registran bajas temperaturas, esto se observa en todas las gráficas brindadas por las pruebas en relanti ,con el sistema original y con el header instalado y en especial en la gráfica 3-42, donde se analiza las temperaturas más bajas obtenidas en la variable “AC”, con el sistema original y con el header instalado y podemos observar el comportamiento progresivo del aumento de temperatura , a lo largo de la prueba realizada, ahora, esto también puede ser reflejado por el combustible usado y también al no usar un aditivo como lo hace (Rocha Hoyos et al., 2018) , en su investigación a 2800msnm pero nosotros debemos discordar con esta investigación , pues al reducir los gases ,perdemos temperatura antes de que estos ingresen al catalizador.

Po otro lado (Balseca Sampedro et al., 2020), nos dice que la temperatura disminuye antes de llegar al catalizador , lo cual también se comprobó , pues las temperaturas mostradas en la sección estadística ,siempre fueron inferiores a las del colector de escape, aunque en con el sistema original no tiende a ser tan grande esta diferencia , pues ya en ruta llega a disminuir casi en un 17.44% desde la salida del colector de escape hasta llegar al catalizador, esta tendencia se repite en todas las pruebas realizadas con el sistema original de escape.



**Gráfico 42-3:** Sistema original VS. Header, valores más altos, variable “AC”

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** Esta grafica tiene un patrón indicador de guía a partir de la medida número 300, pues mientras el sistema original tiende a elevar su temperatura drásticamente al inicio , con el header no se obtiene esa tendencia, pues se mantiene entre los 50 °C y los 70 °C.

### 3.3.3. Después del catalizador (DC)

Con los datos obtenidos se puede manifestar que, los gases de escape en un sistema original ,si disminuyen después de pasar por el catalizador en alrededor de un 13% ,en comparación a la temperatura con la que ingresan , pues como nos dice (Robalino Pontón and Flores Peña, 2018) ,en su investigación , el catalizador funciona en un rango aceptable, pero nuestros datos tienen más

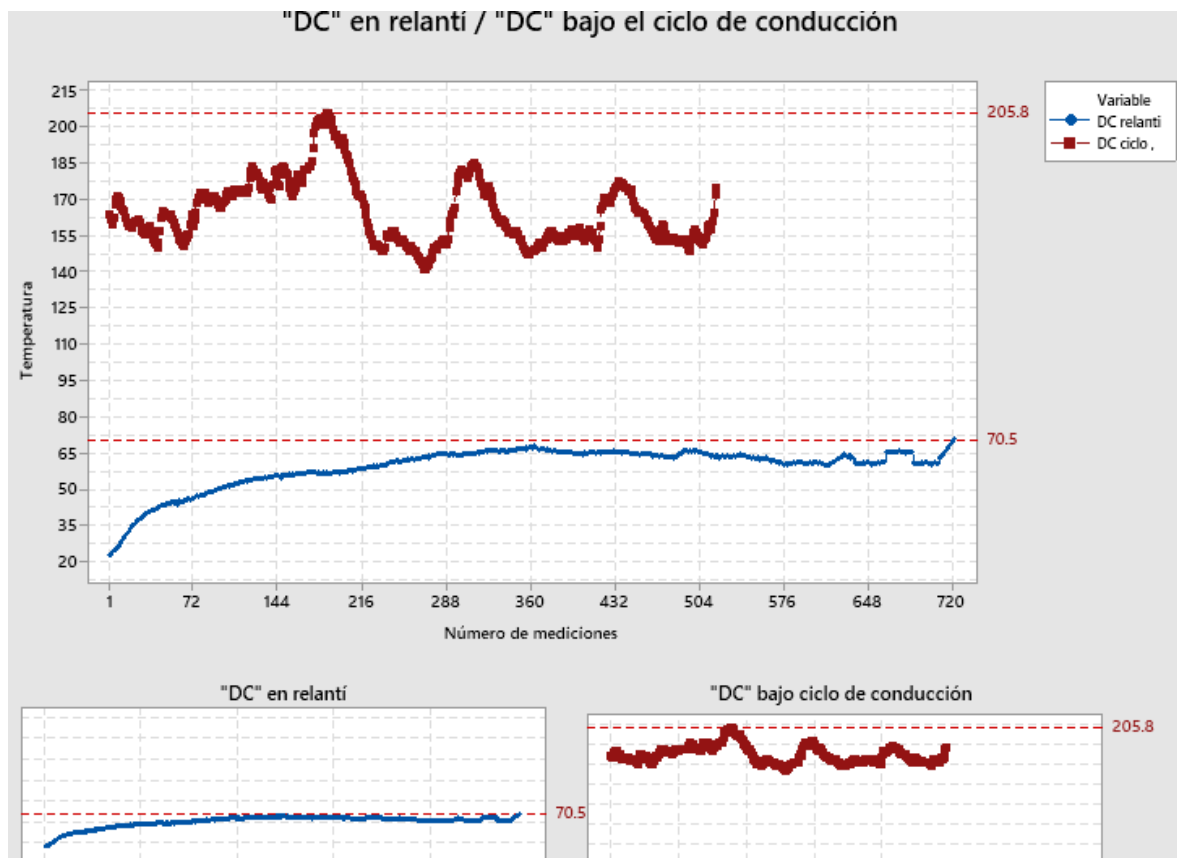


relevancia , pues la temperatura fue recogida directamente dentro del sistema , mas no fuera ,con un pirómetro de comprobación como lo hacen ellos, ya que solo se mide la temperatura externa a la cual se calienta el tubo.

Podemos haber encontrado estas temperaturas ,también por la disposición de la termocupla, pues la mayoría de los autores solo se centran en el catalizador ,mas no en sus alrededores, pues lo que les interesa es la descomposición de los gases , es así como (Rocha Hoyos and Zambrano, 2016),se centra en los contaminantes que genera un motor de combustión interna y nos dice que “Las temperaturas de combustión son máximas entorno al estequiométrico, y al oxígeno es tana más abundante, cuanto más pobre es la mezcla”, esto se relaciona también con la altura seleccionada para nuestra investigación , lo cual se ve reflejado en las gráficas anteriores.

Si bien no existe una investigación concreta, como ya se dijo, relacionada con los alrededores del catalizador, podemos decir que lo obtenido es lo más cercano a lo que relacionan ciertos autores.

Ahora bien , siempre obtuvimos las mayores temperaturas en este punto ,con el sistema original y en ruta , después bajo el ciclo de conducción ,se obtuvieron también altas temperaturas, pero si lo que queremos es recuperar energía , no debemos tener el vehículo en relantí , pues no alcanzamos tanta temperatura, al no esforzar el vehículo y la temperatura ambiente no ayuda, además como punto a favor de las pruebas en relantí podemos decir que la temperatura es más constante que en la otra prueba, como se puede ver a continuación.



### **Gráfico 43-3:** Ciclo de conducción VS. Relantí, variable “DC”

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** Esta grafica comparativa no sigue ningún patrón , pues sus valores son muy atípicos entre sí , no tienen punto de inicio ni final en común, por otro lado, gracias al número de mediciones podemos ver que el vehículo genera más temperatura cuando se encuentra en movimiento, pues vemos temperaturas altas en cortos lapsos.

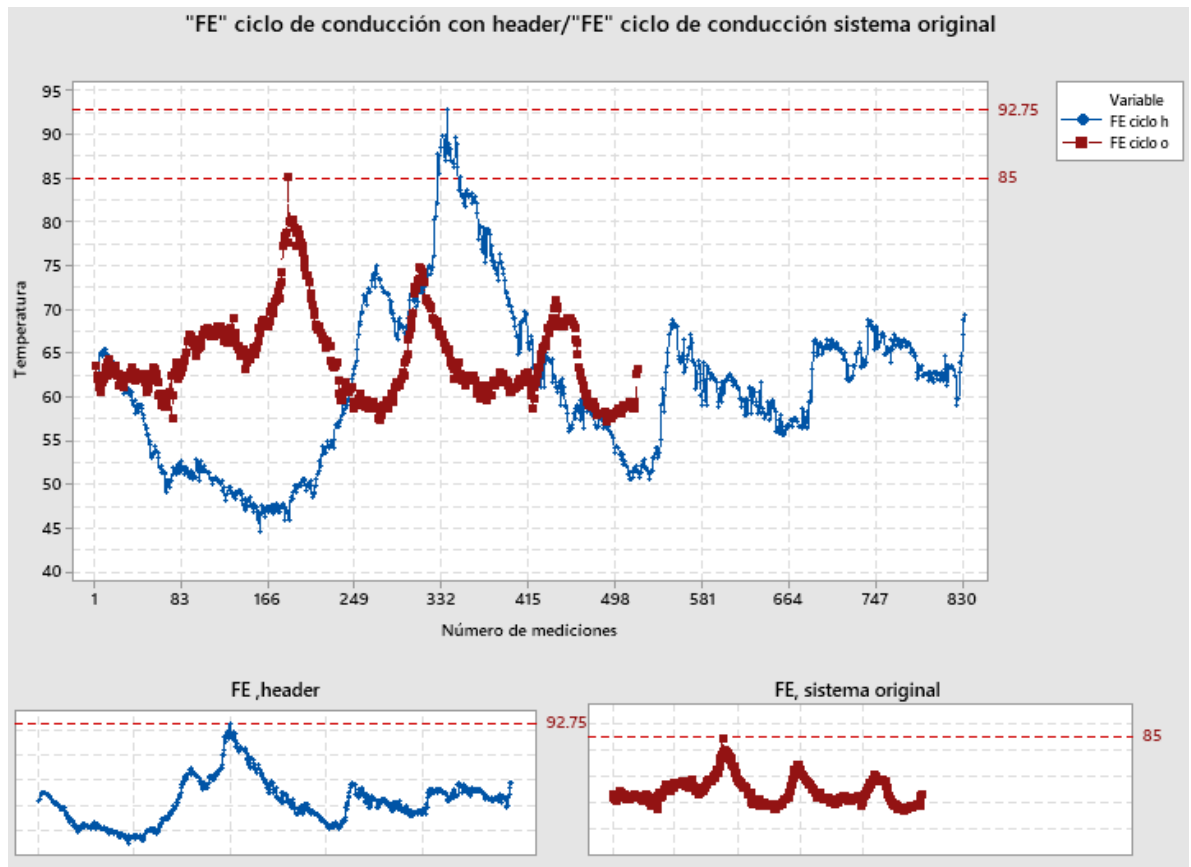
#### **3.3.4. Final del escape (FE)**

Como última de las variables seleccionadas, tenemos el final del tubo de escape, donde, en todas las pruebas obtuvimos las temperaturas más bajas de las pruebas.

(Aladayleh and Alahmer, 2015), en su investigación ,arroja datos parecidos a los nuestros , pues mientras más lejano es el tubo de escape (final ) la temperatura siempre va a ser la menor que en otros puntos, y con una distancia parecida a nuestro sistema de escape 200 pulgadas, a 2000 rpm alcanzan los 200 grados centígrados , mientras que nosotros no llegamos a sobrepasar los 165 grados centígrados , cabe recalcar que esto se debe a la cilindrada del vehículo de prueba ,podemos decir que obtuvimos solo un 17.5% menos que el autor en su investigación , mientras que en relantí si se nota una diferencia abismal , pues en nuestra investigación registramos los 10 grados centígrados promedio, mientras que (Aladayleh and Alahmer, 2015), llega a alcanzar a 700 rpm , 50 °C.

Como punto de comparación, de igual manera (Balseca Sampedro, Mayorga Pérez and Viteri Núñez, 2019), en su estudio a escala, concuerda con nuestros datos, pues con solo una distancia de 0.787402 pulgadas la temperatura sigue disminuyendo conforme se va alejando del origen del calor.

Este sería el peor lugar para generar energía, de igual manera como en los otros puntos se vio ideal someter al vehículo a algún esfuerzo, pues ahí la temperatura se elevó como se ve en la gráfica y también depende de la altura a la cual se realiza la prueba.



**Gráfico 44-3:** Pruebas bajo el ciclo de conducción, con el sistema original y el header

**Realizado por:** Anchatuña Jefferson, 2021

**Nota:** La temperatura encontrada al final del tubo de escape y bajo esta comparativa, llega a tener un patrón de movimiento paralelo , en la mayoría de su trayectoria, lo que nos indica que bajo la misma prueba podemos llegar a tener similares temperaturas en un 40% de datos.

## CONCLUSIONES

Las conclusiones que hemos podido extraer de la información y el análisis proporcionado en los capítulos anteriores son diversas pues después de haber realizado las pruebas en el vehículo y bajo ciertos parámetros, para realizar un análisis comparativo y de observar cómo se comportó la temperatura en ciertos puntos del tubo de escape podemos concluir que:

Según la investigación literaria, la mayoría de los ATEG descritos en la literatura están diseñados para soportar la máxima temperatura de los gases de escape, pero en condiciones normales de conducción, este punto de funcionamiento rara vez se alcanza., pues utilizan motores con cilindraje alto y la mayoría de las veces, turboalimentados. Por lo tanto, el diseño de ATEG debe enfocarse en este rango para que la generación de energía eléctrica sea mayor, porque el objetivo es obtener el gradiente de temperatura más alto de TEG a una temperatura de gas de escape más baja y proteger a TEG de situaciones que puedan causar influencias de aumento de temperatura que puede ocurrir o inclusive el lugar donde ubicarlas, pues estos pueden interferir su señal con la tierra que posee todo el vehículo.

La ubicación del catalizador influye en la temperatura obtenida o requerida, pues como se ha visto en vehículos nuevos o de diseño diferente, este se ubica a continuación del múltiple de escape (Hyundai, Spark ,etc.), lo que ayuda a que la distancia que recorren los gases sea menor y estos no se enfríen rápido y al mismo tiempo se compriman más al entrar en el catalizador, esto aumenta la temperatura, pues como vimos en los resultados, se obtiene más temperatura con un sistema original de escape y si a esto le sumamos que el catalizador se encuentre en la parte posterior del motor ,como es el caso de los vehículos Volkswagen , alcanzaríamos mucha más temperatura, como lo indica la revisión literaria. Contrario a esto la posición del catalizador en nuestro estudio fue en la parte inferior del vehículo, lo que hace que se enfríe un poco más, pues por la dinámica del vehículo el viento hace su parte al enfriarlo.

Además de la ubicación del catalizador, donde se encuentre ubicado el múltiple de escape influye de una manera muy determinante, pues al estar ubicado cerca del habitáculo, la distancia total del sistema cambia, lo que hace que se pueda tener mayor temperatura al final del tubo de escape; de igual forma al estar ubicado cerca del electro ventilador, tiende a enfriarse más rápido, cómo fue nuestro caso.

En consecuencia el final del tubo de escape es el punto donde menor temperatura se puede obtener pues, en el capítulo 3 se detalla que no se logra algo por encima de los 169.50 grados centígrados y con el header instalado, esta temperatura puede diferir por el material del escape a 142 grados centígrados, este punto por su ubicación no sería la más apropiada para un recuperador de energía,

pues el tanque de combustible se sitúa cerca y podemos estimular a accidentes con el calor generado o un circuito.

La temperatura en cualquiera que sea el punto del sistema de escape no va a depender de la velocidad a la que vaya el vehículo (por la posición del múltiple de escape), si no al esfuerzo al que se lo someta, pues aún alcanzado velocidades de más de 100Km/h, no se logra la temperatura que genera el vehículo a 85Km/h pues con un promedio de 4000 RPM que se necesitan para subir la cordillera del Ecuador elevamos mucho la temperatura del sistema de escape o inclusive esto podemos observar en un día cotidiano en el vehículo al conducirlo en la ciudad, donde tenemos velocidades promedio de 50Km/h pero a 4250 RPM para subir los desniveles de las ciudades de la zona andina del país, en las cuales obtenemos temperaturas altas, casi parecidas, pero con altitudes de prueba diferente, 3160 msnm cuando se inició la prueba en ruta, 3500 msnm al final de la prueba en ruta y 2780 msnm, según el altímetro marco que se usó.

También podemos decir que las mejores condiciones para un termo generador son las de un colector de escape original que se encuentre seguido de un catalizador el cual este en la parte posterior del motor y que este sea en lo posible mayor a 1400 CC, pues un header fabricado artesanalmente no asegura temperaturas altas y constantes.

Finalmente, el mejor punto para ubicar un termo generador y donde no interferimos con el funcionamiento de las sondas lambda y así no tengamos un consumo excesivo de combustible y un mayor índice de contaminación ambiental es DESPUÉS DEL CATALIZADOR, además de que en este sitio disponemos del espacio suficiente para colocarlo.

## RECOMENDACIONES

A continuación, se consideran una serie de recomendaciones que, a lo largo de la investigación y una vez finalizado su análisis, se vieron necesarias mencionarlas.

Continuar con las investigaciones referentes a la recuperación de energía, pues en este caso solo hemos analizado la punta del iceberg, al realizar pruebas dinámicas en un vehículo de cilindraje bajo y sin carga de pasajeros. Un vehículo que solo es ocupado en el diario necesitar del propietario, pues en un vehículo comercial sería mucho más ideal y si este es de carga, llegaríamos a obtener mejores resultados.

Analizar no solo el flujo de los gases y su temperatura, sino también el material de los colectores, su diseño e inclusive los catalizadores y el material que transforma los gases combustionados, pues de estos dos, depende que tanto se van a retener los gases o la turbulencia que se genere antes de salir y por ende aumentar su temperatura.

Realizar el mismo estudio, pero en la región litoral, pues como es sabido, mientras más nos acercamos al nivel del mar, el MAP registra menos presión atmosférica, por ende, una mezcla más rica y una potencia ms alta, lo que beneficiaría a conseguir mayor temperatura en los gases de escape y además el clima puede contribuir a que la temperatura en toda la tubería se mantenga un poco más constante.

Ejecutar la tabulación de manera ordenada, aseverando que todos los datos entren en el estudio (RPM y Velocidad), utilizar otros mecanismos para corroborar los resultados como un pirómetro, pues el voltaje de comprobación no siempre va a ser el adecuado, pues pueden aparecer interferencias con el chasis su puesta a tierra.

## BIBLIOGRAFÍA

**AGUIÑAGA RAMÍREZ, E., P., H.O., MARTINEZ, S., SANCHEZ CRUZ, F. & URBALEJO DE LA ROSA, D.** “Análisis numérico de la geometría de un intercambiador de calor para su acoplamiento en un sistema de generación termoeléctrica para los gases de escape de un motor de combustión interna mediante CFD.” CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM [en línea] , 2018, vol. 24, pp. 39–47. Disponible en: [http://somim.org.mx/memorias/memorias2018/articulos/A4\\_187.pdf](http://somim.org.mx/memorias/memorias2018/articulos/A4_187.pdf).

**ALADAYLEH, W. & ALAHMER, A.** “Recovery of Exhaust Waste Heat for ICE Using the Beta Type Stirling Engine.” Journal of Energy [en línea] , 2015, vol. 25, no. February, pp. 1–8. ISSN 2356-735X. DOI 10.1155/2015/495418. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/271643836\\_Recovery\\_of\\_Exhaust\\_Waste\\_Heat\\_for\\_ICE\\_Using\\_the\\_Beta\\_Type\\_Stirling\\_Engine](https://www.researchgate.net/publication/271643836_Recovery_of_Exhaust_Waste_Heat_for_ICE_Using_the_Beta_Type_Stirling_Engine).

**ANIDA, I.N. & SALISA, A.R.** “Driving cycle development for Kuala Terengganu city using k-means method.” International Journal of Electrical and Computer Engineering [en línea] , 2019, vol. 9, no. 3, pp. 1780–1787. ISSN 20888708. DOI 10.11591/ijece.v9i3.pp1780-1787. Disponible en: [https://www.mendeley.com/catalogue/695b6c3c-7885-3351-a9f4-5feb4d0af15d/?utm\\_source=desktop&utm\\_medium=1.19.8&utm\\_campaign=open\\_catalog&userDocumentId=%7Bf5bec5ef-7b65-4c50-8280-4b39d8533ee2%7D](https://www.mendeley.com/catalogue/695b6c3c-7885-3351-a9f4-5feb4d0af15d/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.8&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7Bf5bec5ef-7b65-4c50-8280-4b39d8533ee2%7D).

**APUKE, O.D.** “Quantitative Research Methods : A Synopsis Approach.” Kuwait Chapter of Arabian Journal of Business and Management Review [en línea] , 2017, vol. 6, no. 11, pp. 40–47. ISSN 22248358. DOI 10.12816/0040336. Disponible en: [https://www.mendeley.com/catalogue/44ac4958-72e5-38ab-bac4-72760872377e/?utm\\_source=desktop&utm\\_medium=1.19.8&utm\\_campaign=open\\_catalog&userDocumentId=%7Bbf00f80a-92cb-3d00-98cb-bc7abfaba19b%7D](https://www.mendeley.com/catalogue/44ac4958-72e5-38ab-bac4-72760872377e/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.8&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7Bbf00f80a-92cb-3d00-98cb-bc7abfaba19b%7D).

**ARROYO, E., CEVALLOS, A., IMBAQUINGO, R. & MELO, J.** “Estudio del efecto de la altitud sobre las emisiones de gases de escape de motores de combustión interna con encendido provocado.” Revista Científica Ingeniería y Desarrollo [en línea] , 2020, vol. 38, pp. 15. Disponible en: <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/12450/214421444683>.

**BAI, S., LU, H., WU, T., YIN, X., SHI, X. & CHEN, L.** “Numerical and experimental analysis for exhaust heat exchangers in automobile thermoelectric generators.” Case Studies in Thermal

Engineering [en línea] , 2014, vol. 4, pp. 99–112. ISSN 2214157X. DOI 10.1016/j.csite.2014.07.003. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.csite.2014.07.003>.

**BALSECA SAMPEDRO, O.F., MAYORGA PÉREZ, D.F. & VITERI NÚÑEZ, E.F.** “Proyecto de transformación del calor residual de gases de combustión de un automóvil en energía eléctrica, como contribución al cuidado del medio ambiente.” Ciencia Digital [en línea] , 2019, vol. 3, no. 3.1, pp. 54–73. [Consulta: 16 February 2021]. ISSN 2602-8085. DOI 10.33262/cienciadigital.v3i3.1.676. Disponible en: [www.cienciadigital.org](http://www.cienciadigital.org).

**BALSECA SAMPEDRO, O.F., PONCE, C.A., SILVA CASTELO, W.A. & LOPEZ ORTIZ, S.A.** “Proceso termodinámico que permite transformar calor residual de automóviles en energía eléctrica.” Dominio de las Ciencias [en línea] , 2020, vol. 6, no. 2477–8818, pp. 425–447. DOI 10.23857. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i3.1292>.

**BANDA, P. & GUTIÉRREZ, C.** “Simulación de un Sistema Recuperador de Calor para Gases de Escape de Motogeneradores a Crudo”. Revista Técnica “Energía,” [en línea], 2016 ,vol. 12, no. 1, pp. 230–238. ISSN 1390-5074. DOI 10.37116/revistaenergia.v12.n1.2016.48.

**CARDONA ARIAS, J.A.** “Ortodoxia y Fisuras en el Diseño y Ejecución de Estudios Descriptivos.” Revista Med [en línea] , 2015, vol. 23, no. 1, pp. 40. ISSN 0121-5256. DOI 10.18359/rmed.1328. Disponible en: <https://www.redalyc.org/revista.oa?id=910>.

**CARRERA LOVATO, M.** Identificación de par motor y potencia en un motor de encendido provocado en función del sistema de escape [en línea] (Trabajo de titulación).(Ingeniería) Universidad Técnica del Norte , 2019. S.l.: s.n. Disponible en: [https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UTN\\_c2342eda74adb700915bd395e11bd697](https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UTN_c2342eda74adb700915bd395e11bd697).

**CARS-Y-TRUCKS**, reference. Catalizadores Chevrolet Spark. [en línea]. [Consulta: 13 December 2020]. Disponible en: <https://www.ocompra.com/ecuador/item/catalizadores-chevrolet-aveo-optra-spark-sail-423808354/>.

**CHINBOLEMA LEÓN, E. & GUAYTOSO MORETA, W.** “Análisis del diseño y construcción del múltiple de admisión y escape en el torque y potencia de un motor ciclo otto de 1100cc, mediante un software CFD y su validación experimental” [en línea] , 2015. S.l.: s.n. Disponible en: [https://www.mendeley.com/catalogue/d6b393c2-3a64-3925-ae5c-7ad97c67f66a/?utm\\_source=desktop&utm\\_medium=1.19.8&utm\\_campaign=open\\_catalog&use\\_rDocumentId=%7Be7c0411e-01c1-4bff-a163-a60c2a53f0be%7D](https://www.mendeley.com/catalogue/d6b393c2-3a64-3925-ae5c-7ad97c67f66a/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.8&utm_campaign=open_catalog&use_rDocumentId=%7Be7c0411e-01c1-4bff-a163-a60c2a53f0be%7D).

**DIEZ GARCIA, S.** “Análisis de viabilidad de aplicaciones para recuperación de energía mediante efectos termoeléctricos” [en línea] , 2017. S.l.: s.n. Disponible en: <https://www.mendeley.com/catalogue/5c7d469f-a0c7-3206-8ee8->



650caec5fab6/?utm\_source=desktop&utm\_medium=1.19.8&utm\_campaign=open\_catalog&userDocumentId=%7Bec03bed2-b8a3-42ae-a4a7-199794c026b4%7D.

**FABIAN, C., SAAVEDRA, J., MANUEL, J. and ÁVILA, R.** “Potencial Energético De Los Gases De Escape De Un Motor De Combustión Interna”. *Jóvenes En La Ciencia* [en línea], 2015, vol. 1, no. 2, pp. 1257–1262. ISSN 2395-9797.

**FERNÁNDEZ GARCÍA, P., VALLEJO SECO, G., LIVACIC ROJAS, P.E. & TUERO HERRERO, E.** “Validez Estructurada para una investigación cuasi experimental de calidad. Se cumplen 50 años de la presentación en sociedad de los diseños cuasiexperimentales.” *Anales de Psicología* [en línea], 2014, vol. 30, pp. 756–771. ISSN 02129728. DOI 10.6018/analesps.30.2.166911. Disponible en: <http://revistas.um.es/analesps>.

**FERNÁNDEZ JUNCA, J.** “Análisis de aprovechamiento de calores residuales de los gases de escape del motor térmico mediante efecto Seebeck en una unión Cu-Al” *COMMONS* [en línea], 2014. S.l.: s.n. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/23357>.

**GUAMÁN, E.R., LLANES-CEDEÑO, E.A., CELI-ORTEGA, S.F., ROCHA-HOYOS, J.C., GUAMÁN, E.R., LLANES-CEDEÑO, E.A., CELI-ORTEGA, S.F. & ROCHA-HOYOS, J.C.** “Parámetros del Múltiple de Escape para su Diseño Computacional: una revisión”. *Información tecnológica* [en línea], 2019, vol. 30, no. 6, pp. 255–268. [Consulta: 18 November 2020]. ISSN 0718-0764. DOI 10.4067/S0718-07642019000600255. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642019000600255&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000600255&lng=en&nrm=iso&tlng=en).

**HUANG, K., YAN, Y., LI, B., LI, Y., LI, K. & LI, J.** “A Novel Design of Thermoelectric Generator for Automotive Waste Heat Recovery.” *Automotive Innovation* [en línea], 2018, vol. 1, no. 1, pp. 54–61. ISSN 25228765. DOI 10.1007/s42154-018-0006-z. Disponible en: [https://www.mendeley.com/catalogue/f20fc06d-1d83-3883-8f1c-c987950e321e/?utm\\_source=desktop&utm\\_medium=1.19.8&utm\\_campaign=open\\_catalog&userDocumentId=%7Bc61406c3-23da-33dc-9452-6eb4c006dc21%7D](https://www.mendeley.com/catalogue/f20fc06d-1d83-3883-8f1c-c987950e321e/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.8&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7Bc61406c3-23da-33dc-9452-6eb4c006dc21%7D).

**IMBAQUINGO TAIMAL, M.** Estudio de factibilidad para la creacion de una empresa destinada a la fabricación de sistemas integrales de escapes para vehículo, tipo tuning en la ciudad de Quito. [en línea], 2010. S.l.: s.n. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.

**KIM, S.L., CHOI, K.W., LEE, K. & KIM, K.** “Evaluation of automotive waste heat recovery for various driving modes.” *Energy* [en línea], 2016, vol. 106, pp. 579–589. ISSN 03605442. DOI 10.1016/j.energy.2016.03.077. Disponible en: <https://www.journals.elsevier.com/energy>.

**KUMAR, K., KUMAR, N. & SINGH, H.** “Comprehensive Review of Three way Catalytic Converter.” IJARIE-ISSN [en línea], 2017, vol. 3, no. 3, pp. 1197–1202. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/335422101\\_Comprehensive\\_Review\\_of\\_Three\\_way\\_Catalytic\\_Converter%0D](https://www.researchgate.net/publication/335422101_Comprehensive_Review_of_Three_way_Catalytic_Converter%0D).

**LECUONA, A. & LEGRAND, M.** “Temperatura de los gases de escape en motores turboalimentados.” IX CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA TERMODINÁMICA – [en línea], 2015, vol. 4, no. January, pp. 430–437. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/291658335\\_Temperatura\\_de\\_los\\_gases\\_de\\_escape\\_en\\_motores\\_turboalimentados%0D](https://www.researchgate.net/publication/291658335_Temperatura_de_los_gases_de_escape_en_motores_turboalimentados%0D).

**LLANES CEDEÑO, E.A., CARGUACHI-CAIZATO, J.B., ROCHA-HOYOS, J.C., LLANES-CEDEÑO, E.A., CARGUACHI-CAIZATO, J.B. & ROCHA-HOYOS, J.C.** “Evaluación energética y exergética en un motor de combustión interna ciclo Otto de 1.6L.” Enfoque UTE [en línea], 2018, vol. 9, no. 4, pp. 221–232. [Consulta: 19 November 2020]. ISSN 1390-6542. DOI 10.29019/enfoqueute.v9n4.365. Disponible en: <https://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/365>.

**MASSAGUER, A., MASSAGUER, E., COMAMALA, M., PUJOL, T., MONTORO, L., CARDENAS, M.D., CARBONELL, D. & BUENO, A.J.** “Transient behavior under a normalized driving cycle of an automotive thermoelectric generator.” Applied Energy [en línea], 2017, vol. 206, no. Septiembre, pp. 1282–1296. ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2017.10.015. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.015>.

**MENA CARRERA, J.** Estudio de la recuperación de metales de convertidores catalíticos usados de vehículos mediante procesos hidrometalúrgicos [en línea], 2020. S.l.: s.n. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21106>.

**Módulo MAX6675** para Termocupla 0 - 800 Grados Celsius. [en línea], reference. [Consulta: 13 December 2020]. Disponible en: [https://electropro.pe/index.php?route=product/product&product\\_id=473](https://electropro.pe/index.php?route=product/product&product_id=473).

**MONTÚFAR PAZ, P., ABAD PADILLA, C., QUINGA, M.I. & RAZO CIFUENTES, A.V.** “Análisis de los factores de emisión dinámicos para el vehículo Toyota Hi Lux con motor de Ciclo Otto S.I para altitudes superiores a los 2500 metros”. Ciencia Digital [en línea], 2019, vol. 3, no. 2, pp. 602–619. ISSN 2602-8085. DOI 10.33262/cienciadigital.v3i2.469.

**MONTÚFAR PAZ, P., MORENO PALLARES, R.R., CHOTO CHARIGUAMAN, L.S., BUENAÑO MOYANO, L.F. & ESCOBAR GUACHAMBALA, M.A.** “Análisis Del Comportamiento Acústico Y Optimización Del Material Del Escape De Automóviles Livianos

Equipados Con Turbo Compresor Mediante Herramientas De Dinámica De Fluidos Computacionales.” *Ciencia Digital* [en línea], 2018, vol. 2, no. 3, pp. 550–568. ISSN 2602-8085. DOI 10.33262/cienciadigital.v2i3.175. Disponible en: [https://www.mendeley.com/catalogue/a537a952-1cbf-3b49-9a26-110c55cfb0a6/?utm\\_source=desktop&utm\\_medium=1.19.8&utm\\_campaign=open\\_catalog&use\\_rDocumentId=%7B9dd194f1-cf6c-452e-89dd-d3cc72ff074f%7D](https://www.mendeley.com/catalogue/a537a952-1cbf-3b49-9a26-110c55cfb0a6/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.8&utm_campaign=open_catalog&use_rDocumentId=%7B9dd194f1-cf6c-452e-89dd-d3cc72ff074f%7D).

**PICCO, S., VILLEGAS, L., TONELLI, F., MERLO, M., RIGAU, J., DIAZ, D. & MASUELLI, M.** “Automotive Waste Heat Recovery by Thermoelectric Generator Technology.” *Intech* [en línea], 2016, vol. 9, no. tourism, pp. 13. Disponible en: <https://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics>.

**PUNOV, P., MILKOV, N., DANIEL, Q., PERILHON, C., PODEVIN, P. & EVTIMOV, T.** “Optimization of automotive Rankine cycle waste heat recovery under various engine operating condition.” *AIP Conference Proceedings* [en línea], 2017, vol. 1814, pp. 1–10. ISSN 15517616. DOI 10.1063/1.4976293. Disponible en: <https://aip.scitation.org/toc/apc/1814/1>.

**ROBALINO PONTÓN, S. & FLORES PEÑA, F.** “Eficiencia Térmica de los Catalizadores.” *Journal of Chemical Information and Modeling* [en línea], 2018, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699. ISSN 1098-6596. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2800>.

**ROCHA HOYOS, J. & ZAMBRANO, V.D.** “Análisis del funcionamiento del motor de encendido provocado, debido a la presencia de aditivos” [en línea], 2016. S.l.: s.n. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/308994095\\_Analisis\\_del\\_funcionamiento\\_del\\_motor\\_de\\_encendido\\_provocado\\_debido\\_a\\_la\\_presencia\\_de\\_aditivos](https://www.researchgate.net/publication/308994095_Analisis_del_funcionamiento_del_motor_de_encendido_provocado_debido_a_la_presencia_de_aditivos).

**ROCHA HOYOS, J.C., LLANES CEDEÑO, E.A., CELI ORTEGA, S.F. & PERALTA ZURITA, D.C.** “Effect of the addition of biodiesel on the performance and opacity of a diesel engine.” *Información Tecnológica* [en línea], 2019, vol. 30, no. 3, pp. 137–146. ISSN 07180764. DOI 10.4067/S0718-07642019000300137. Disponible en: [https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3897/1/0718-0764\\_ROCHA\\_JUAN\\_2019-06-16.pdf](https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3897/1/0718-0764_ROCHA_JUAN_2019-06-16.pdf).

**ROCHA HOYOS, J.C., TIPANLUISA, L.E., ZAMBRANO, V.D. & PORTILLA, Á.A.** “Study of a gasoline engine in altitude conditions with mixtures containing organic additive in the fuel.” *Información Tecnológica* [en línea], 2018, vol. 29, no. 5, pp. 325–334. ISSN 07180764. DOI 10.4067/S0718-07642018000500325. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/328247758%0AEstudio>.

**ROCHA-HOYOS, J.C., LLANES-CEDEÑO, E.A., CELI-ORTEGA, S.F. & PERALTA-ZURITA, D.C.** “Effect of the addition of biodiesel on the performance and opacity of a diesel engine.” *Información Tecnológica* [en línea], 2019, vol. 30, no. 3, pp. 137–146. ISSN 07180764. DOI 10.4067/S0718-07642019000300137. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/333913975\\_Efecto\\_de\\_la\\_Adicion\\_de\\_Biodiesel\\_en\\_el\\_Rendimiento\\_y\\_la\\_Opacidad\\_de\\_un\\_Motor\\_Diesel](https://www.researchgate.net/publication/333913975_Efecto_de_la_Adicion_de_Biodiesel_en_el_Rendimiento_y_la_Opacidad_de_un_Motor_Diesel).

**SAURA VIDAL, X.** ESTUDIO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR EN SISTEMAS DE ESCAPE EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA [en línea], 2015. S.l.: s.n. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/81113>.

**Termocupla K con Rosca.** [en línea], reference. [Consulta: 13 December 2020]. Disponible en: <https://mazcr.com/temperatura/104014-termocupla-k-con-rosca.html>.

**Termocuplas** [en línea], 2005. 2005. S.l.: s.n. Disponible en: [https://www.mendeley.com/catalogue/d2a12405-bd17-3b4a-992d-93a765664401/?utm\\_source=desktop&utm\\_medium=1.19.8&utm\\_campaign=open\\_catalog&use\\_rDocumentId=%7B8a958cfa-b9ea-4955-837d-5473cef62757%7D](https://www.mendeley.com/catalogue/d2a12405-bd17-3b4a-992d-93a765664401/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.8&utm_campaign=open_catalog&use_rDocumentId=%7B8a958cfa-b9ea-4955-837d-5473cef62757%7D).

**YOUNKINS, M., CHEN, S. & WILCUTTS, M.** Lean Burn Internal Combustion Engine Exhaust Gas Temperature Control [en línea], 2019. Disponible en: <https://patentimages.storage.googleapis.com/5e/be/a5/eea4251730687a/US10494971.pdf>.

## ANEXOS

**ANEXO A:** ANOVA un solo factor: Pruebas bajo el ciclo de conducción PTEC-593, con el header instalado

### Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia $\alpha$	= 0,05
Filas no utilizadas	12

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	12	Ca_1; AC_1; DC_1; FE_1; Ca_2; AC_2; DC_2; FE_2; Ca_3; AC_3; DC_3; FE_3

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	11	20890300	86,35%	20890300	1899118	4679,41	0,000
Error	8140	3303582	13,65%	3303582	406		
Total	8151	24193882	100,00%				

### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	PRESS	R-cuad. (pred)
20,1456	86,35%	86,33%	3313304	86,31%

### Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Ca_1	597	213,498	23,650	(211,882; 215,115)
AC_1	597	136,320	15,509	(134,704; 137,936)
DC_1	597	115,305	11,046	(113,689; 116,922)
FE_1	585	96,159	23,158	(94,526; 97,792)
Ca_2	832	200,97	30,57	(199,60; 202,33)
AC_2	832	100,775	14,343	(99,406; 102,144)
DC_2	832	125,554	20,697	(124,185; 126,923)
FE_2	832	61,404	9,298	(60,035; 62,773)

Ca_3	612	218,35	31,68 (216,76; 219,95)
AC_3	612	112,062	14,745 (110,465; 113,658)
DC_3	612	134,876	20,332 (133,280; 136,472)
FE_3	612	71,493	10,459 (69,896; 73,089)

Desv.Est. agrupada = 20,1456

## Comparaciones en parejas de Fisher

### Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
Ca_3	612	218,35	A
Ca_1	597	213,498	B
Ca_2	832	200,97	C
AC_1	597	136,320	D
DC_3	612	134,876	D
DC_2	832	125,554	E
DC_1	597	115,305	F
AC_3	612	112,062	G
AC_2	832	100,775	H
FE_1	585	96,159	I
FE_3	612	71,493	J
FE_2	832	61,404	K

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia			Valor T	Valor p ajustado
	de las medias	EE de diferencia	IC de 95%		
AC_1 - Ca_1	-77,18	1,17	(-79,46; -74,89)	-66,19	0,000
DC_1 - Ca_1	-98,19	1,17	(-100,48; -95,91)	-84,21	0,000
FE_1 - Ca_1	-117,34	1,17	(-119,64; -115,04)	-100,12	0,000
Ca_2 - Ca_1	-12,53	1,08	(-14,65; -10,41)	-11,60	0,000
AC_2 - Ca_1	-112,72	1,08	(-114,84; -110,60)	-104,32	0,000
DC_2 - Ca_1	-87,94	1,08	(-90,06; -85,83)	-81,39	0,000
FE_2 - Ca_1	-152,09	1,08	(-154,21; -149,98)	-140,76	0,000

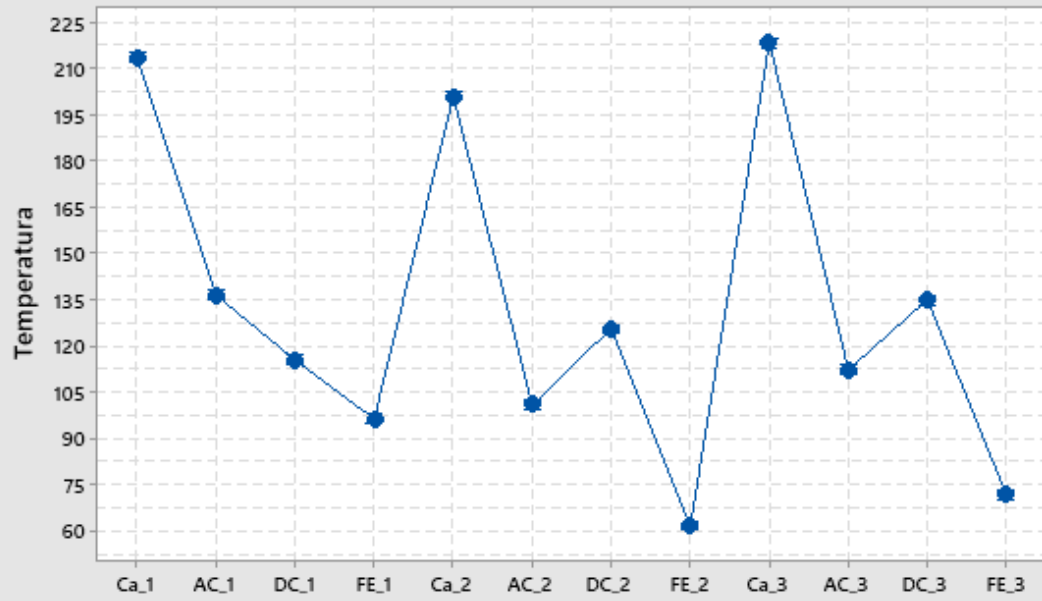
Ca_3 - Ca_1	4,86	1,16	(2,58; 7,13)	4,19	0,000
AC_3 - Ca_1	-101,44	1,16	(-103,71; -99,16)	-87,53	0,000
DC_3 - Ca_1	-78,62	1,16	(-80,89; -76,35)	-67,84	0,000
FE_3 - Ca_1	-142,01	1,16	(-144,28; -139,73)	-122,54	0,000
DC_1 - AC_1	-21,01	1,17	(-23,30; -18,73)	-18,02	0,000
FE_1 - AC_1	-40,16	1,17	(-42,46; -37,86)	-34,27	0,000
Ca_2 - AC_1	64,65	1,08	(62,53; 66,76)	59,83	0,000
AC_2 - AC_1	-35,54	1,08	(-37,66; -33,43)	-32,89	0,000
DC_2 - AC_1	-10,77	1,08	(-12,88; -8,65)	-9,96	0,000
FE_2 - AC_1	-74,92	1,08	(-77,03; -72,80)	-69,33	0,000
Ca_3 - AC_1	82,03	1,16	(79,76; 84,31)	70,79	0,000
AC_3 - AC_1	-24,26	1,16	(-26,53; -21,99)	-20,93	0,000
DC_3 - AC_1	-1,44	1,16	(-3,72; 0,83)	-1,25	0,213
FE_3 - AC_1	-64,83	1,16	(-67,10; -62,56)	-55,94	0,000
FE_1 - DC_1	-19,15	1,17	(-21,44; -16,85)	-16,34	0,000
Ca_2 - DC_1	85,66	1,08	(83,54; 87,78)	79,27	0,000
AC_2 - DC_1	-14,53	1,08	(-16,65; -12,41)	-13,45	0,000
DC_2 - DC_1	10,25	1,08	(8,13; 12,37)	9,49	0,000
FE_2 - DC_1	-53,90	1,08	(-56,02; -51,78)	-49,88	0,000
Ca_3 - DC_1	103,05	1,16	(100,78; 105,32)	88,92	0,000
AC_3 - DC_1	-3,24	1,16	(-5,52; -0,97)	-2,80	0,005
DC_3 - DC_1	19,57	1,16	(17,30; 21,84)	16,89	0,000
FE_3 - DC_1	-43,81	1,16	(-46,08; -41,54)	-37,81	0,000
Ca_2 - FE_1	104,81	1,09	(102,68; 106,94)	96,42	0,000
AC_2 - FE_1	4,62	1,09	(2,49; 6,75)	4,25	0,000
DC_2 - FE_1	29,40	1,09	(27,26; 31,53)	27,04	0,000
FE_2 - FE_1	-34,75	1,09	(-36,89; -32,62)	-31,97	0,000
Ca_3 - FE_1	122,19	1,16	(119,91; 124,48)	104,90	0,000
AC_3 - FE_1	15,90	1,16	(13,62; 18,19)	13,65	0,000
DC_3 - FE_1	38,72	1,16	(36,43; 41,00)	33,24	0,000
FE_3 - FE_1	-24,67	1,16	(-26,95; -22,38)	-21,18	0,000
AC_2 - Ca_2	-100,190	0,988	(-102,126; -98,254)	-101,44	0,000
DC_2 - Ca_2	-75,411	0,988	(-77,347; -73,475)	-76,35	0,000
FE_2 - Ca_2	-139,561	0,988	(-141,497; -137,625)	-141,30	0,000
Ca_3 - Ca_2	17,39	1,07	(15,29; 19,49)	16,21	0,000
AC_3 - Ca_2	-88,90	1,07	(-91,01; -86,80)	-82,87	0,000
DC_3 - Ca_2	-66,09	1,07	(-68,19; -63,99)	-61,60	0,000

FE_3 - Ca_2	-129,47	1,07	(-131,58; -127,37)	-120,68	0,000
DC_2 - AC_2	24,779	0,988	(22,843; 26,715)	25,09	0,000
FE_2 - AC_2	-39,371	0,988	(-41,307; -37,435)	-39,86	0,000
Ca_3 - AC_2	117,58	1,07	(115,48; 119,68)	109,60	0,000
AC_3 - AC_2	11,29	1,07	(9,18; 13,39)	10,52	0,000
DC_3 - AC_2	34,10	1,07	(32,00; 36,20)	31,79	0,000
FE_3 - AC_2	-29,28	1,07	(-31,39; -27,18)	-27,29	0,000
FE_2 - DC_2	-64,150	0,988	(-66,086; -62,214)	-64,95	0,000
Ca_3 - DC_2	92,80	1,07	(90,70; 94,90)	86,50	0,000
AC_3 - DC_2	-13,49	1,07	(-15,60; -11,39)	-12,58	0,000
DC_3 - DC_2	9,32	1,07	(7,22; 11,42)	8,69	0,000
FE_3 - DC_2	-54,06	1,07	(-56,16; -51,96)	-50,39	0,000
Ca_3 - FE_2	156,95	1,07	(154,85; 159,05)	146,30	0,000
AC_3 - FE_2	50,66	1,07	(48,55; 52,76)	47,22	0,000
DC_3 - FE_2	73,47	1,07	(71,37; 75,57)	68,48	0,000
FE_3 - FE_2	10,09	1,07	(7,99; 12,19)	9,40	0,000
AC_3 - Ca_3	-106,29	1,15	(-108,55; -104,03)	-92,30	0,000
DC_3 - Ca_3	-83,48	1,15	(-85,74; -81,22)	-72,49	0,000
FE_3 - Ca_3	-146,86	1,15	(-149,12; -144,60)	-127,52	0,000
DC_3 - AC_3	22,81	1,15	(20,56; 25,07)	19,81	0,000
FE_3 - AC_3	-40,57	1,15	(-42,83; -38,31)	-35,23	0,000
FE_3 - DC_3	-63,38	1,15	(-65,64; -61,13)	-55,04	0,000

*Nivel de confianza simultánea = 27,94%*

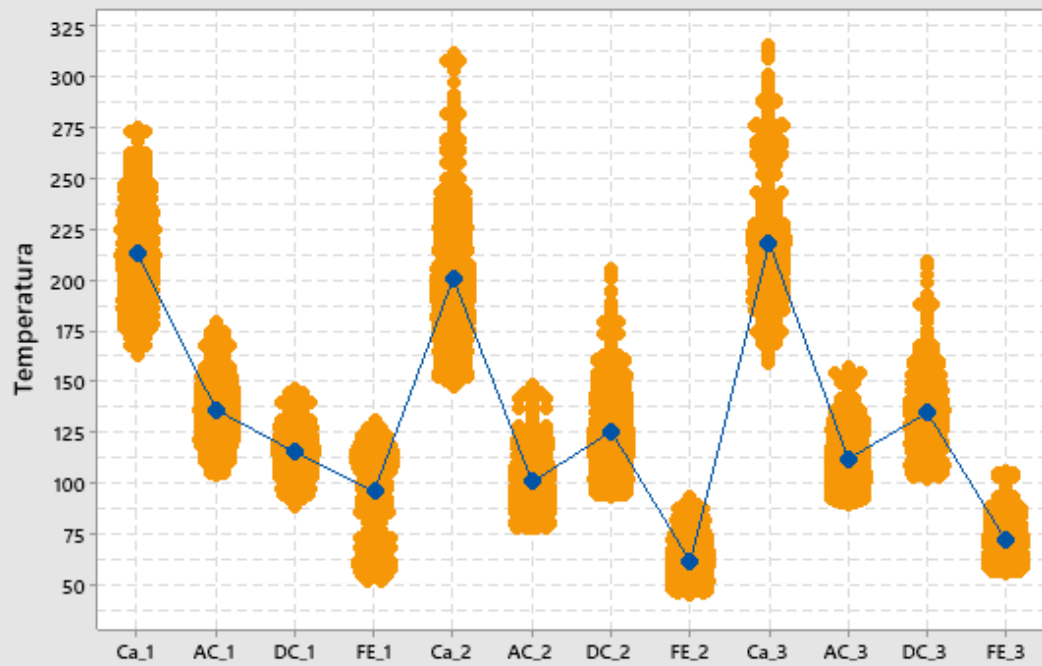


Gráfica de intervalos de Pruebas bajo el ciclo de conducción PTEC-593 , con el header instalado  
95% IC para la media

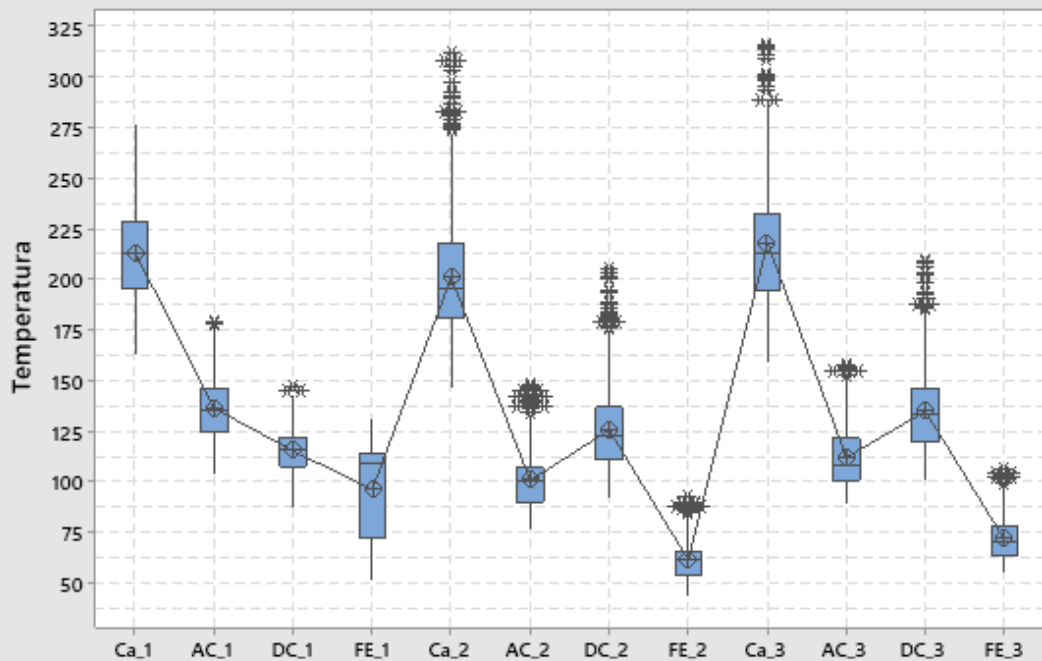


La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.

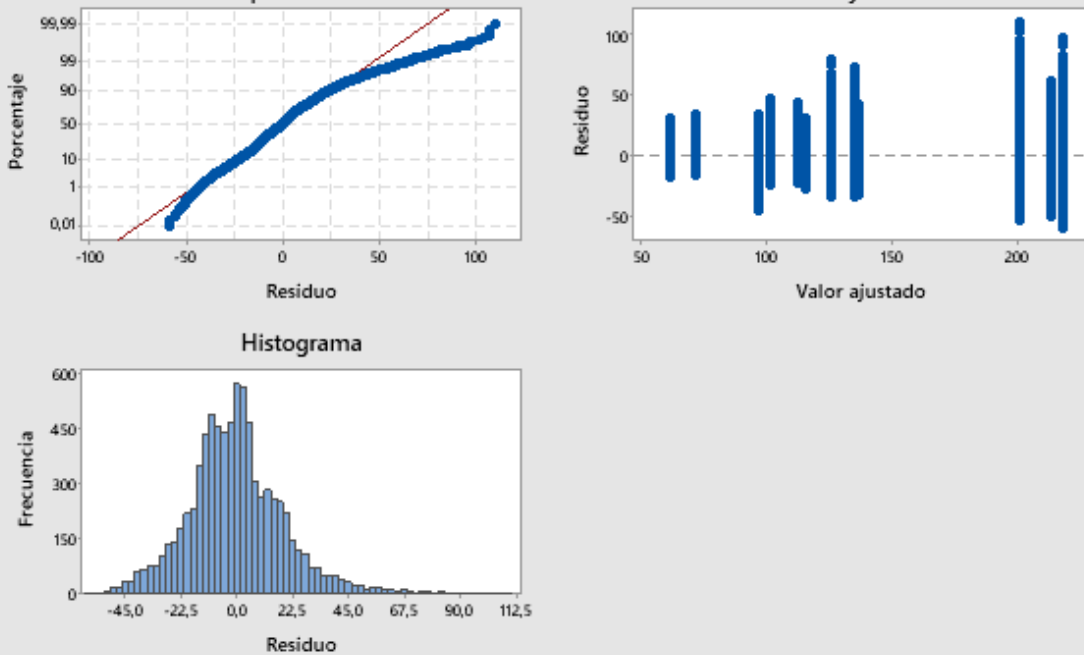
Gráfica de valores individuales de Pruebas bajo el ciclo de conducción PTEC-593 , con el header instalado



Gráfica de caja de Pruebas bajo el ciclo de conduccion PTEC-593 , con el header instalado



Gráficas de residuos para Pruebas bajo el ciclo de conduccion PTEC-593 , con el header instalado vs. ajustes



**ANEXO B:** ANOVA un solo factor: Pruebas en la mañana con el header instalado, en relantí

**Método**

Hipótesis nula            Todas las medias son iguales  
 Hipótesis alterna        No todas las medias son iguales  
 Nivel de significancia  $\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

## Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	12	Ca_1; AC_1; DC_1; FE_1; Ca_2; AC_2; DC_2; FE_2; Ca_3; AC_3; DC_3; FE_3

## Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	11	6932435	87,82%	6932435	630221	5633,88	0,000
Error	8596	961572	12,18%	961572	112		
Total	8607	7894007	100,00%				

## Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	PRESS	R-cuad. (pred)
10,5765	87,82%	87,80%	964260	87,78%

## Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Ca_1	721	107,747	18,502	(106,975; 108,519)
AC_1	721	50,810	4,937	(50,038; 51,583)
DC_1	721	55,881	5,634	(55,109; 56,653)
FE_1	721	31,903	4,024	(31,130; 32,675)
Ca_2	717	110,445	20,376	(109,671; 111,220)
AC_2	721	51,392	4,937	(50,620; 52,164)
DC_2	717	59,817	8,046	(59,043; 60,592)
FE_2	721	32,452	4,024	(31,679; 33,224)
Ca_3	712	107,350	18,339	(106,573; 108,127)
AC_3	712	50,304	4,925	(49,527; 51,081)
DC_3	712	55,428	5,642	(54,651; 56,205)
FE_3	712	31,465	3,971	(30,688; 32,242)

*Desv.Est. agrupada = 10,5765*

## Comparaciones en parejas de Fisher

## Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
Ca_2	717	110,445	A
Ca_1	721	107,747	B
Ca_3	712	107,350	B
DC_2	717	59,817	C
DC_1	721	55,881	D
DC_3	712	55,428	D
AC_2	721	51,392	E
AC_1	721	50,810	E
AC_3	712	50,304	E
FE_2	721	32,452	F
FE_1	721	31,903	F
FE_3	712	31,465	F

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

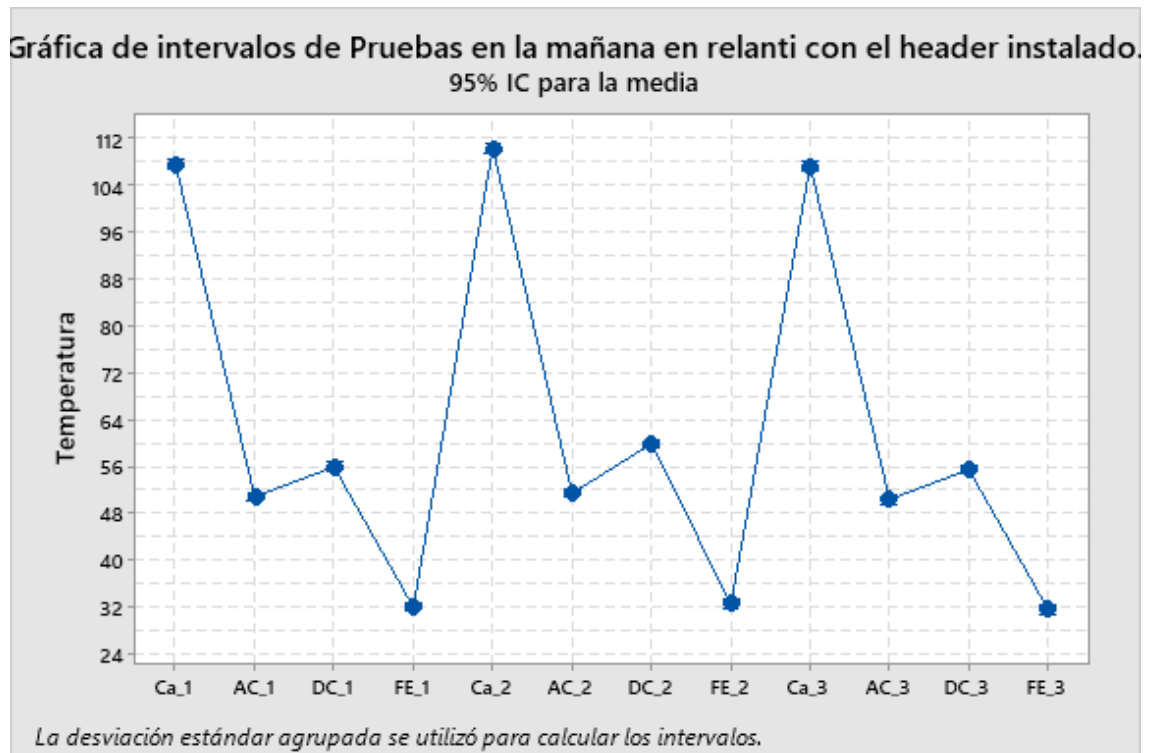
## Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia			Valor T	Valor p ajustado
	de las medias	EE de diferencia	IC de 95%		
AC_1 - Ca_1	-56,937	0,557	(-58,029; -55,845)	-102,21	0,000
DC_1 - Ca_1	-51,866	0,557	(-52,958; -50,774)	-93,11	0,000
FE_1 - Ca_1	-75,845	0,557	(-76,937; -74,753)	-136,16	0,000
Ca_2 - Ca_1	2,698	0,558	(1,605; 3,792)	4,84	0,000
AC_2 - Ca_1	-56,355	0,557	(-57,447; -55,263)	-101,17	0,000
DC_2 - Ca_1	-47,930	0,558	(-49,023; -46,836)	-85,92	0,000
FE_2 - Ca_1	-75,296	0,557	(-76,388; -74,204)	-135,17	0,000
Ca_3 - Ca_1	-0,397	0,559	(-1,492; 0,698)	-0,71	0,478
AC_3 - Ca_1	-57,444	0,559	(-58,539; -56,348)	-102,80	0,000
DC_3 - Ca_1	-52,319	0,559	(-53,414; -51,224)	-93,63	0,000
FE_3 - Ca_1	-76,282	0,559	(-77,377; -75,187)	-136,51	0,000
DC_1 - AC_1	5,070	0,557	(3,978; 6,162)	9,10	0,000
FE_1 - AC_1	-18,908	0,557	(-20,000; -17,816)	-33,94	0,000
Ca_2 - AC_1	59,635	0,558	(58,541; 60,728)	106,91	0,000

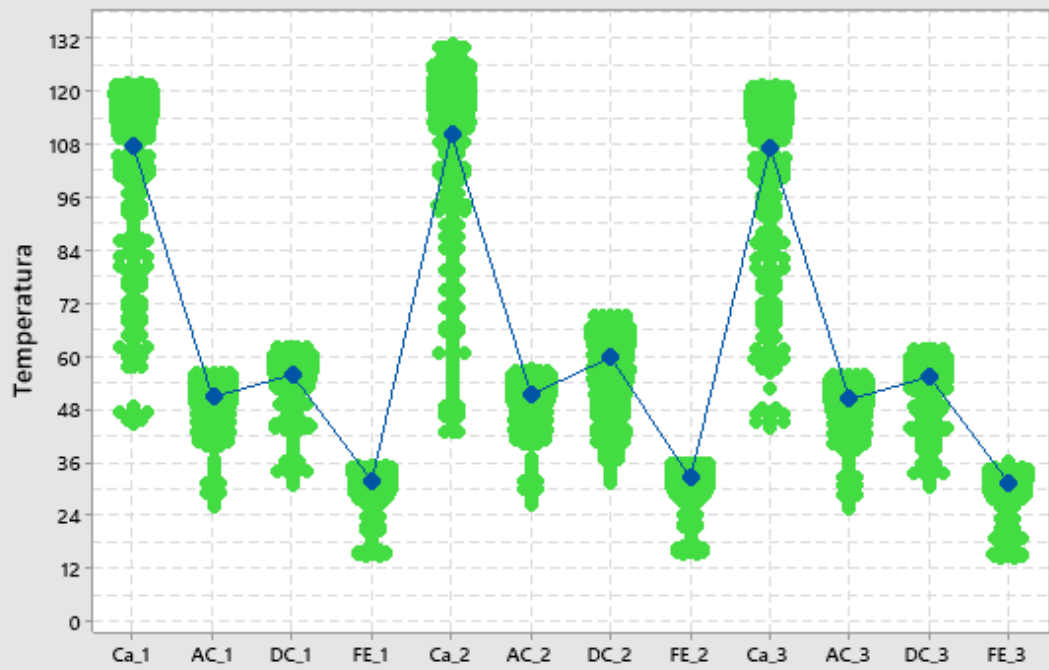
AC_2 - AC_1	0,582	0,557	(-0,510; 1,674)	1,04	0,296
DC_2 - AC_1	9,007	0,558	(7,913; 10,100)	16,15	0,000
FE_2 - AC_1	-18,359	0,557	(-19,451; -17,267)	-32,96	0,000
Ca_3 - AC_1	56,540	0,559	(55,444; 57,635)	101,18	0,000
AC_3 - AC_1	-0,507	0,559	(-1,602; 0,589)	-0,91	0,364
DC_3 - AC_1	4,618	0,559	(3,522; 5,713)	8,26	0,000
FE_3 - AC_1	-19,345	0,559	(-20,441; -18,250)	-34,62	0,000
FE_1 - DC_1	-23,978	0,557	(-25,070; -22,886)	-43,05	0,000
Ca_2 - DC_1	54,564	0,558	(53,471; 55,658)	97,82	0,000
AC_2 - DC_1	-4,489	0,557	(-5,581; -3,397)	-8,06	0,000
DC_2 - DC_1	3,937	0,558	(2,843; 5,030)	7,06	0,000
FE_2 - DC_1	-23,429	0,557	(-24,521; -22,337)	-42,06	0,000
Ca_3 - DC_1	51,469	0,559	(50,374; 52,565)	92,11	0,000
AC_3 - DC_1	-5,577	0,559	(-6,673; -4,482)	-9,98	0,000
DC_3 - DC_1	-0,453	0,559	(-1,548; 0,643)	-0,81	0,418
FE_3 - DC_1	-24,416	0,559	(-25,511; -23,320)	-43,69	0,000
Ca_2 - FE_1	78,543	0,558	(77,449; 79,636)	140,80	0,000
AC_2 - FE_1	19,489	0,557	(18,398; 20,581)	34,99	0,000
DC_2 - FE_1	27,915	0,558	(26,821; 29,008)	50,04	0,000
FE_2 - FE_1	0,549	0,557	(-0,543; 1,641)	0,99	0,324
Ca_3 - FE_1	75,448	0,559	(74,352; 76,543)	135,02	0,000
AC_3 - FE_1	18,401	0,559	(17,306; 19,496)	32,93	0,000
DC_3 - FE_1	23,526	0,559	(22,430; 24,621)	42,10	0,000
FE_3 - FE_1	-0,437	0,559	(-1,533; 0,658)	-0,78	0,434
AC_2 - Ca_2	-59,053	0,558	(-60,147; -57,960)	-105,86	0,000
DC_2 - Ca_2	-50,628	0,559	(-51,723; -49,533)	-90,63	0,000
FE_2 - Ca_2	-77,994	0,558	(-79,087; -76,900)	-139,82	0,000
Ca_3 - Ca_2	-3,095	0,560	(-4,192; -1,998)	-5,53	0,000
AC_3 - Ca_2	-60,142	0,560	(-61,239; -59,045)	-107,48	0,000
DC_3 - Ca_2	-55,017	0,560	(-56,114; -53,920)	-98,32	0,000
FE_3 - Ca_2	-78,980	0,560	(-80,077; -77,883)	-141,14	0,000
DC_2 - AC_2	8,425	0,558	(7,332; 9,519)	15,10	0,000
FE_2 - AC_2	-18,940	0,557	(-20,032; -17,849)	-34,00	0,000
Ca_3 - AC_2	55,958	0,559	(54,863; 57,054)	100,14	0,000
AC_3 - AC_2	-1,088	0,559	(-2,184; 0,007)	-1,95	0,051
DC_3 - AC_2	4,036	0,559	(2,941; 5,132)	7,22	0,000
FE_3 - AC_2	-19,927	0,559	(-21,022; -18,831)	-35,66	0,000

FE_2 - DC_2	-27,366	0,558	(-28,459; -26,272)	-49,06	0,000
Ca_3 - DC_2	47,533	0,560	(46,436; 48,630)	84,94	0,000
AC_3 - DC_2	-9,514	0,560	(-10,611; -8,417)	-17,00	0,000
DC_3 - DC_2	-4,389	0,560	(-5,486; -3,292)	-7,84	0,000
FE_3 - DC_2	-28,352	0,560	(-29,449; -27,255)	-50,67	0,000
Ca_3 - FE_2	74,899	0,559	(73,803; 75,994)	134,03	0,000
AC_3 - FE_2	17,852	0,559	(16,757; 18,947)	31,95	0,000
DC_3 - FE_2	22,977	0,559	(21,881; 24,072)	41,12	0,000
FE_3 - FE_2	-0,986	0,559	(-2,082; 0,109)	-1,77	0,078
AC_3 - Ca_3	-57,047	0,561	(-58,145; -55,948)	-101,77	0,000
DC_3 - Ca_3	-51,922	0,561	(-53,021; -50,823)	-92,63	0,000
FE_3 - Ca_3	-75,885	0,561	(-76,984; -74,786)	-135,38	0,000
DC_3 - AC_3	5,125	0,561	(4,026; 6,223)	9,14	0,000
FE_3 - AC_3	-18,838	0,561	(-19,937; -17,740)	-33,61	0,000
FE_3 - DC_3	-23,963	0,561	(-25,062; -22,864)	-42,75	0,000

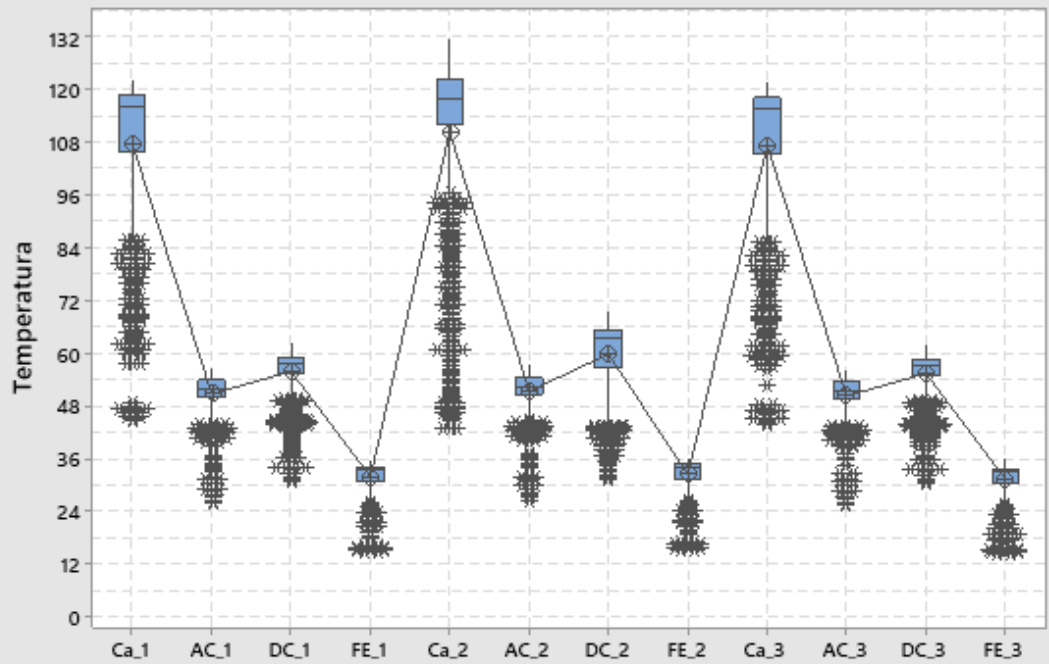
Nivel de confianza simultánea = 27,94%

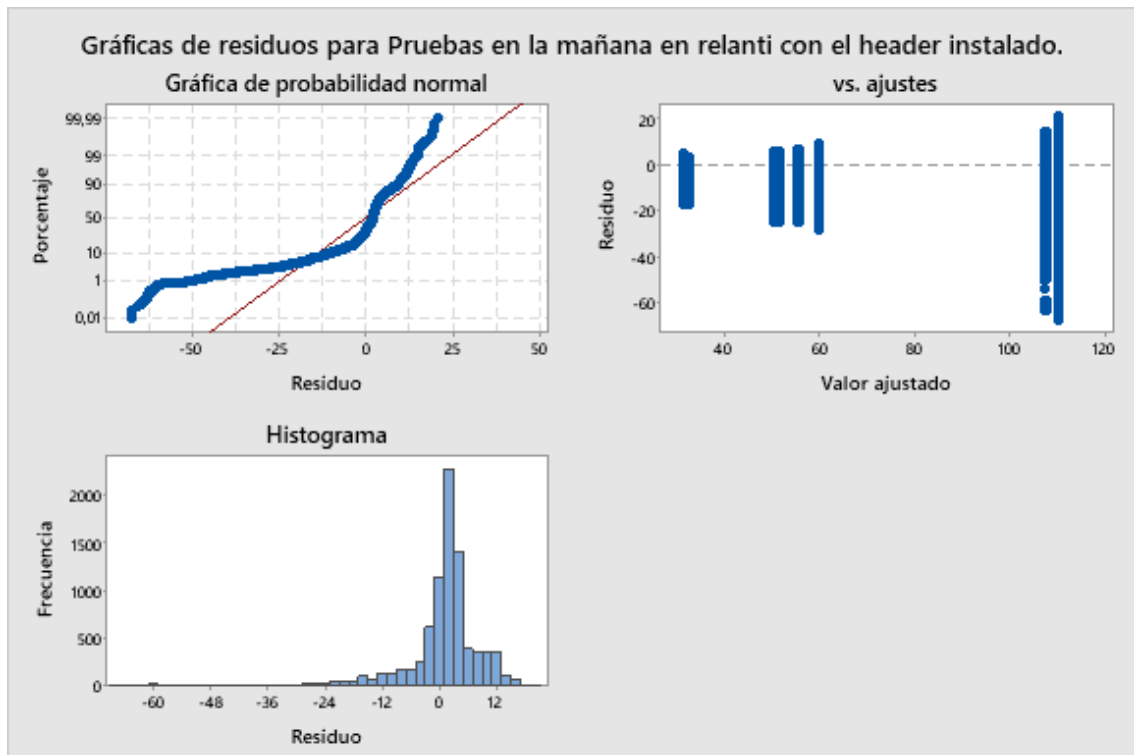


Gráfica de valores individuales de Pruebas en la mañana en relanti con el header instalado.



Gráfica de caja de Pruebas en la mañana en relanti con el header instalado.





## ANEXO C: ANOVA un solo factor: Pruebas al medio día con el header instalado, en relanti

### Método

Hipótesis nula            Todas las medias son iguales  
 Hipótesis alterna        No todas las medias son iguales  
 Nivel de significancia  $\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	12	Ca_1; AC_1; DC_1; FE_1; Ca_2; AC_2; DC_2; FE_2; Ca_3; AC_3; DC_3; FE_3

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	11	7137899	648900	16717,50	0,000
Error	8604	333969	39		
Total	8615	7471869			

### Resumen del modelo



	R-cuad.		R-cuad.	
S	R-cuad.	(ajustado)	(pred)	
6,23022	95,53%	95,52%	95,52%	

## Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Ca_1	715	113,964	11,107	(113,507; 114,421)
AC_1	715	45,5080	1,4148	(45,0513; 45,9648)
DC_1	715	53,757	2,701	(53,301; 54,214)
FE_1	715	34,8035	1,3404	(34,3468; 35,2602)
Ca_2	712	111,190	7,968	(110,733; 111,648)
AC_2	712	61,3293	1,7857	(60,8716; 61,7870)
DC_2	712	55,0363	1,2396	(54,5786; 55,4940)
FE_2	712	34,8892	1,3422	(34,4315; 35,3469)
Ca_3	727	108,649	14,836	(108,196; 109,102)
AC_3	727	54,589	4,253	(54,136; 55,042)
DC_3	727	46,932	3,240	(46,479; 47,385)
FE_3	727	39,080	3,245	(38,627; 39,533)

Desv.Est. agrupada = 6,23022

## Comparaciones en parejas de Fisher

### Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
Ca_1	715	113,964	A
Ca_2	712	111,190	B
Ca_3	727	108,649	C
AC_2	712	61,3293	D
DC_2	712	55,0363	E
AC_3	727	54,589	E
DC_1	715	53,757	F
DC_3	727	46,932	G
AC_1	715	45,5080	H
FE_3	727	39,080	I
FE_2	712	34,8892	J
FE_1	715	34,8035	J

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

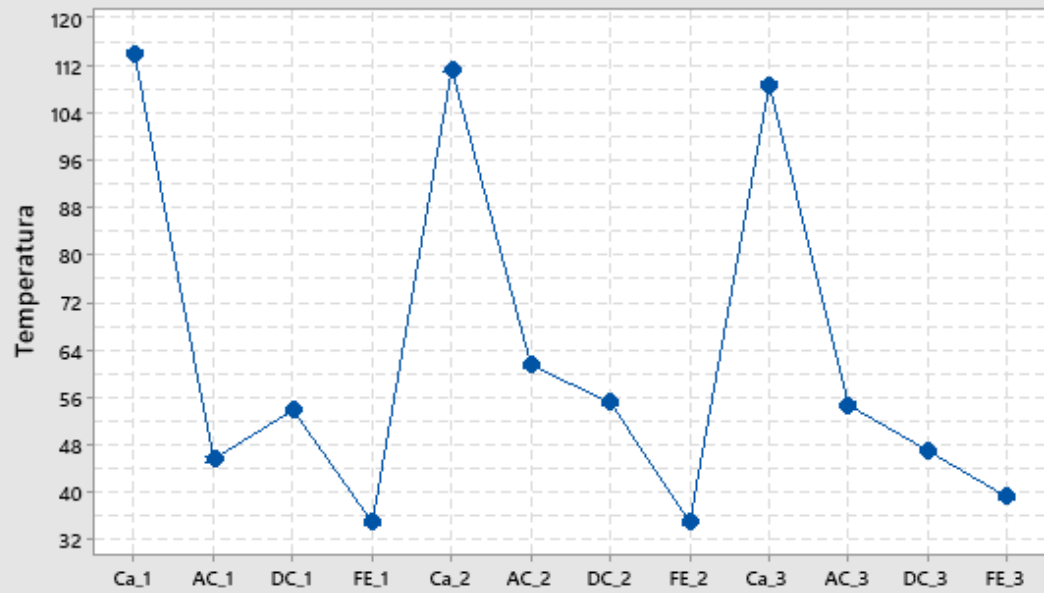
## Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia			Valor T	Valor p ajustado
	de las medias	EE de diferencia	IC de 95%		
AC_1 - Ca_1	-68,456	0,330	(-69,102; -67,810)	-207,75	0,000
DC_1 - Ca_1	-60,207	0,330	(-60,853; -59,561)	-182,72	0,000
FE_1 - Ca_1	-79,160	0,330	(-79,806; -78,515)	-240,24	0,000
Ca_2 - Ca_1	-2,774	0,330	(-3,420; -2,127)	-8,41	0,000
AC_2 - Ca_1	-52,635	0,330	(-53,281; -51,988)	-159,57	0,000
DC_2 - Ca_1	-58,928	0,330	(-59,574; -58,281)	-178,65	0,000
FE_2 - Ca_1	-79,075	0,330	(-79,721; -78,428)	-239,73	0,000
Ca_3 - Ca_1	-5,315	0,328	(-5,958; -4,672)	-16,20	0,000
AC_3 - Ca_1	-59,375	0,328	(-60,018; -58,731)	-180,94	0,000
DC_3 - Ca_1	-67,032	0,328	(-67,675; -66,388)	-204,27	0,000
FE_3 - Ca_1	-74,884	0,328	(-75,527; -74,241)	-228,20	0,000
DC_1 - AC_1	8,249	0,330	(7,603; 8,895)	25,04	0,000
FE_1 - AC_1	-10,705	0,330	(-11,350; -10,059)	-32,49	0,000
Ca_2 - AC_1	65,682	0,330	(65,036; 66,329)	199,12	0,000
AC_2 - AC_1	15,821	0,330	(15,175; 16,468)	47,96	0,000
DC_2 - AC_1	9,528	0,330	(8,882; 10,175)	28,89	0,000
FE_2 - AC_1	-10,619	0,330	(-11,265; -9,972)	-32,19	0,000
Ca_3 - AC_1	63,141	0,328	(62,498; 63,784)	192,42	0,000
AC_3 - AC_1	9,081	0,328	(8,438; 9,725)	27,67	0,000
DC_3 - AC_1	1,424	0,328	(0,781; 2,067)	4,34	0,000
FE_3 - AC_1	-6,428	0,328	(-7,071; -5,785)	-19,59	0,000
FE_1 - DC_1	-18,954	0,330	(-19,600; -18,308)	-57,52	0,000
Ca_2 - DC_1	57,433	0,330	(56,786; 58,079)	174,12	0,000
AC_2 - DC_1	7,572	0,330	(6,925; 8,219)	22,96	0,000
DC_2 - DC_1	1,279	0,330	(0,632; 1,926)	3,88	0,000
FE_2 - DC_1	-18,868	0,330	(-19,515; -18,222)	-57,20	0,000
Ca_3 - DC_1	54,892	0,328	(54,249; 55,535)	167,28	0,000
AC_3 - DC_1	0,832	0,328	(0,189; 1,475)	2,54	0,011
DC_3 - DC_1	-6,825	0,328	(-7,468; -6,182)	-20,80	0,000
FE_3 - DC_1	-14,677	0,328	(-15,320; -14,034)	-44,73	0,000
Ca_2 - FE_1	76,387	0,330	(75,740; 77,033)	231,58	0,000

AC_2 - FE_1	26,526	0,330	(25,879; 27,172)	80,42	0,000
DC_2 - FE_1	20,233	0,330	(19,586; 20,879)	61,34	0,000
FE_2 - FE_1	0,086	0,330	(-0,561; 0,732)	0,26	0,795
Ca_3 - FE_1	73,846	0,328	(73,203; 74,489)	225,04	0,000
AC_3 - FE_1	19,786	0,328	(19,143; 20,429)	60,30	0,000
DC_3 - FE_1	12,129	0,328	(11,486; 12,772)	36,96	0,000
FE_3 - FE_1	4,277	0,328	(3,633; 4,920)	13,03	0,000
AC_2 - Ca_2	-49,861	0,330	(-50,508; -49,214)	-151,00	0,000
DC_2 - Ca_2	-56,154	0,330	(-56,801; -55,507)	-170,06	0,000
FE_2 - Ca_2	-76,301	0,330	(-76,948; -75,654)	-231,07	0,000
Ca_3 - Ca_2	-2,541	0,328	(-3,185; -1,897)	-7,74	0,000
AC_3 - Ca_2	-56,601	0,328	(-57,245; -55,957)	-172,30	0,000
DC_3 - Ca_2	-64,258	0,328	(-64,902; -63,614)	-195,61	0,000
FE_3 - Ca_2	-72,110	0,328	(-72,754; -71,466)	-219,52	0,000
DC_2 - AC_2	-6,293	0,330	(-6,940; -5,646)	-19,06	0,000
FE_2 - AC_2	-26,440	0,330	(-27,087; -25,793)	-80,07	0,000
Ca_3 - AC_2	47,320	0,328	(46,676; 47,964)	144,05	0,000
AC_3 - AC_2	-6,740	0,328	(-7,384; -6,096)	-20,52	0,000
DC_3 - AC_2	-14,397	0,328	(-15,041; -13,753)	-43,83	0,000
FE_3 - AC_2	-22,249	0,328	(-22,893; -21,605)	-67,73	0,000
FE_2 - DC_2	-20,147	0,330	(-20,794; -19,500)	-61,01	0,000
Ca_3 - DC_2	53,613	0,328	(52,969; 54,257)	163,21	0,000
AC_3 - DC_2	-0,447	0,328	(-1,091; 0,197)	-1,36	0,174
DC_3 - DC_2	-8,104	0,328	(-8,748; -7,460)	-24,67	0,000
FE_3 - DC_2	-15,956	0,328	(-16,600; -15,312)	-48,57	0,000
Ca_3 - FE_2	73,760	0,328	(73,116; 74,404)	224,54	0,000
AC_3 - FE_2	19,700	0,328	(19,056; 20,344)	59,97	0,000
DC_3 - FE_2	12,043	0,328	(11,399; 12,687)	36,66	0,000
FE_3 - FE_2	4,191	0,328	(3,547; 4,835)	12,76	0,000
AC_3 - Ca_3	-54,060	0,327	(-54,700; -53,419)	-165,43	0,000
DC_3 - Ca_3	-61,717	0,327	(-62,358; -61,076)	-188,87	0,000
FE_3 - Ca_3	-69,569	0,327	(-70,210; -68,929)	-212,90	0,000
DC_3 - AC_3	-7,657	0,327	(-8,298; -7,017)	-23,43	0,000
FE_3 - AC_3	-15,509	0,327	(-16,150; -14,869)	-47,46	0,000
FE_3 - DC_3	-7,852	0,327	(-8,493; -7,212)	-24,03	0,000

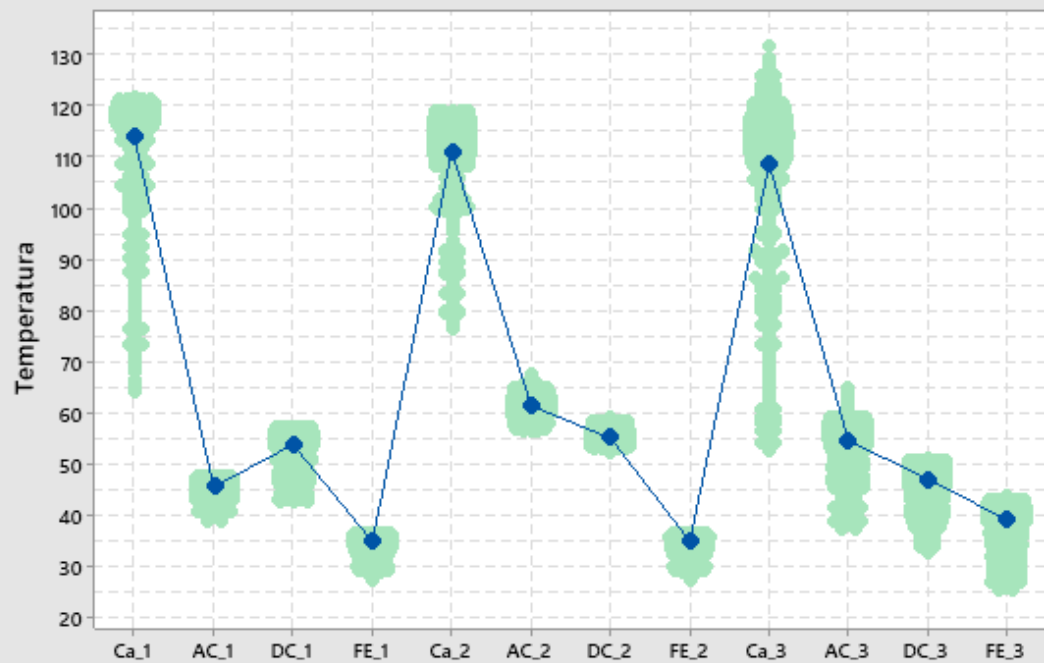
Nivel de confianza simultánea = 27,94%

Gráfica de intervalos de Pruebas al medio día con el header instalado , en relanti  
95% IC para la media

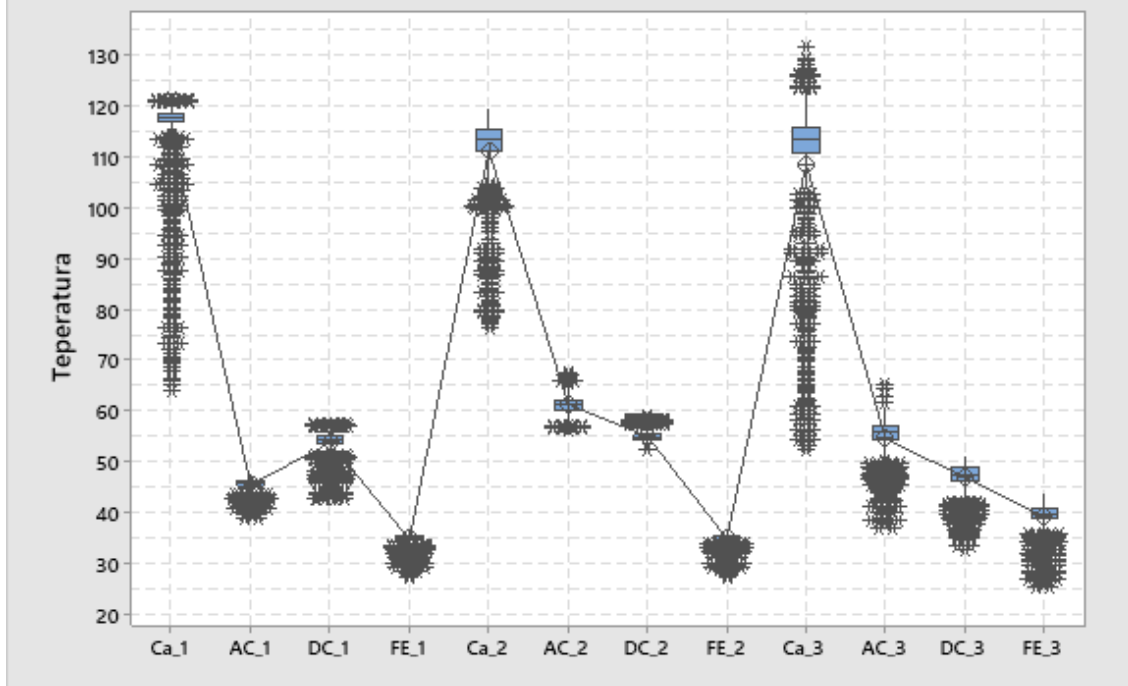


La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.

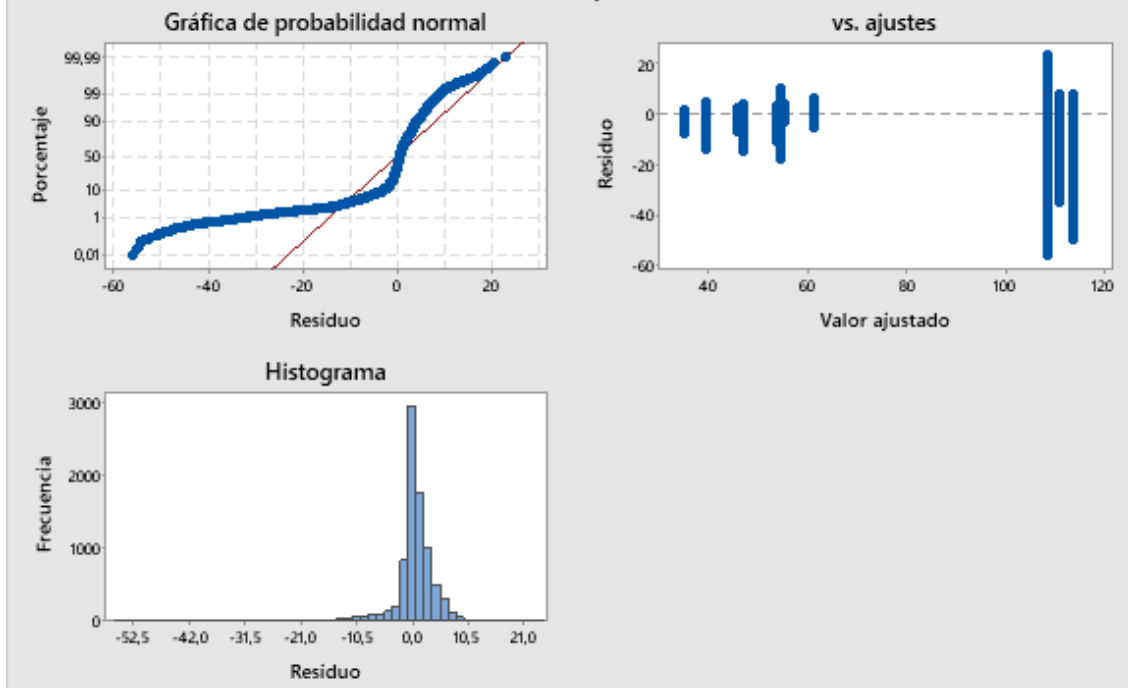
Gráfica de valores individuales de Pruebas al medio día con el header instalado , en relanti



Gráfica de caja de Pruebas al medio día con el header instalado , en relanti



Gráficas de residuos para Ca\_1; AC\_1; ...



ANEXO D: ANOVA un solo factor: Pruebas en la tarde con el header instalado y en relanti

### Método

Hipótesis nula            Todas las medias son iguales  
 Hipótesis alterna        No todas las medias son iguales  
 Nivel de significancia  $\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

## Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	12	Ca_1; AC_1; DC_1; FE_1; Ca_2; AC_2; DC_2; FE_2; Ca_3; AC_3; DC_3; FE_3

## Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	11	6980494	634590	3875,04	0,000
Error	8608	1409676	164		
Total	8619	8390170			

## Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
12,7970	83,20%	83,18%	83,15%

## Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Ca_1	722	106,988	22,358	(106,054; 107,921)
AC_1	722	55,036	6,277	(54,102; 55,969)
DC_1	722	58,897	8,544	(57,964; 59,831)
FE_1	722	27,841	7,953	(26,907; 28,775)
Ca_2	712	106,884	22,512	(105,944; 107,824)
AC_2	712	54,748	6,238	(53,808; 55,689)
DC_2	712	58,739	8,557	(57,799; 59,679)
FE_2	712	27,637	7,940	(26,697; 28,578)
Ca_3	721	102,097	21,366	(101,163; 103,032)
AC_3	721	48,046	5,437	(47,112; 48,981)
DC_3	721	58,873	8,562	(57,939; 59,807)
FE_3	721	24,395	6,969	(23,461; 25,329)

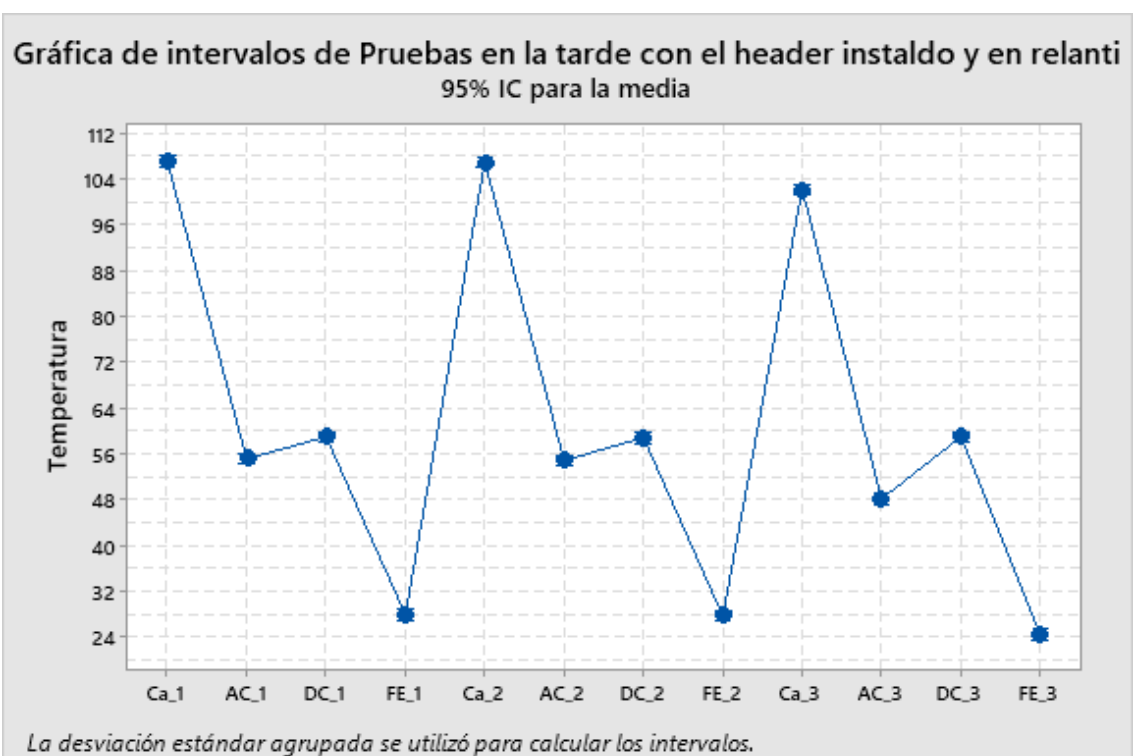
*Desv.Est. agrupada = 12,7970*

## Comparaciones en parejas de Fisher

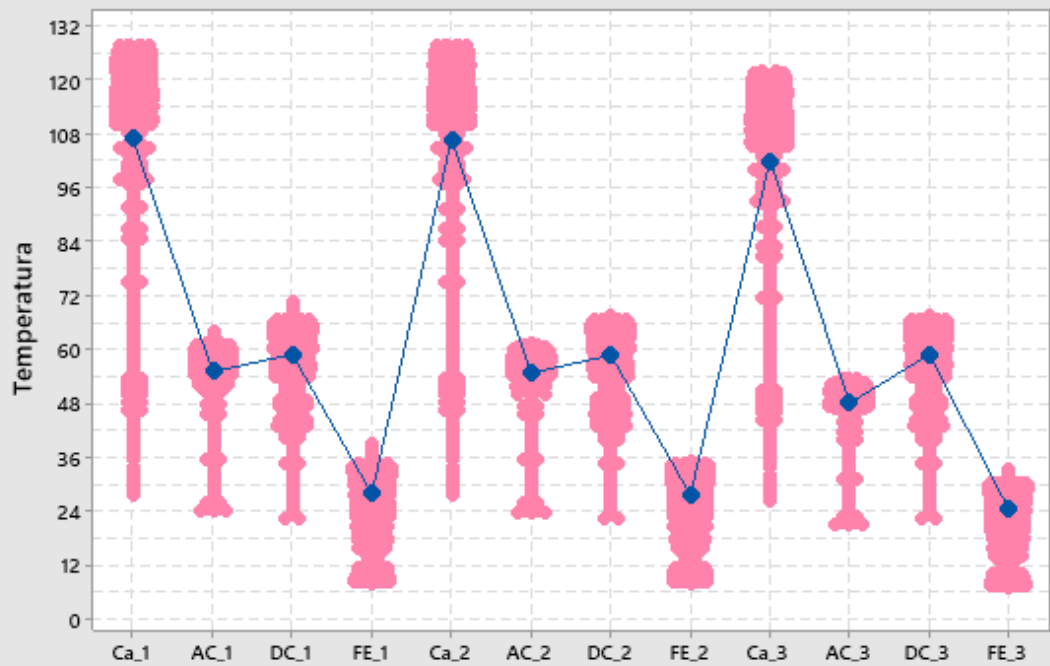
## Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
Ca_1	722	106,988	A
Ca_2	712	106,884	A
Ca_3	721	102,097	B
DC_1	722	58,897	C
DC_3	721	58,873	C
DC_2	712	58,739	C
AC_1	722	55,036	D
AC_2	712	54,748	D
AC_3	721	48,046	E
FE_1	722	27,841	F
FE_2	712	27,637	F
FE_3	721	24,395	G

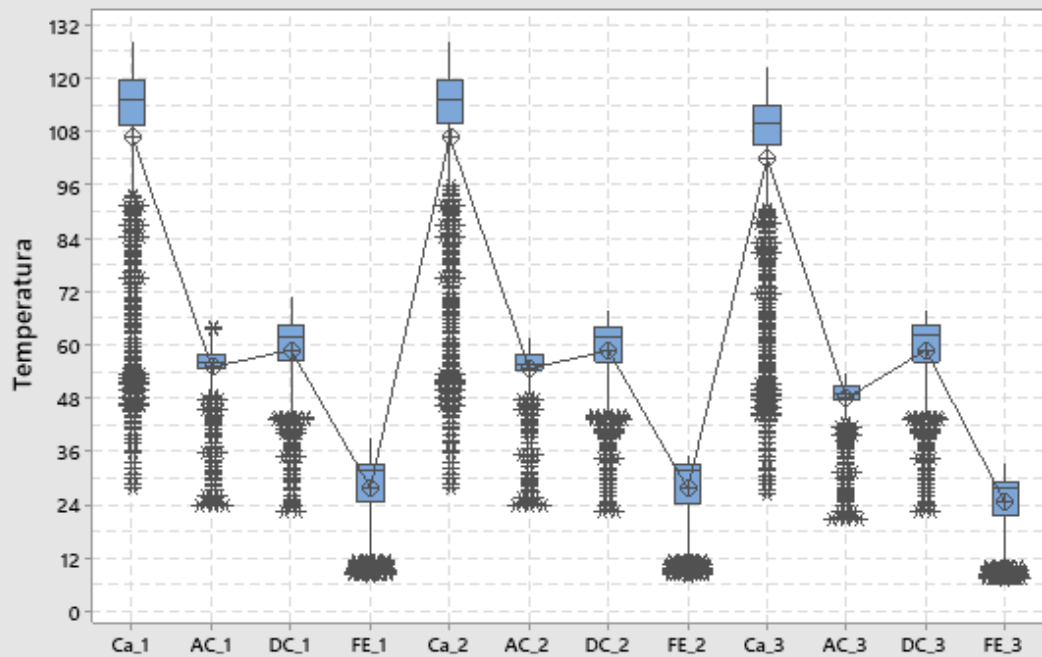
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



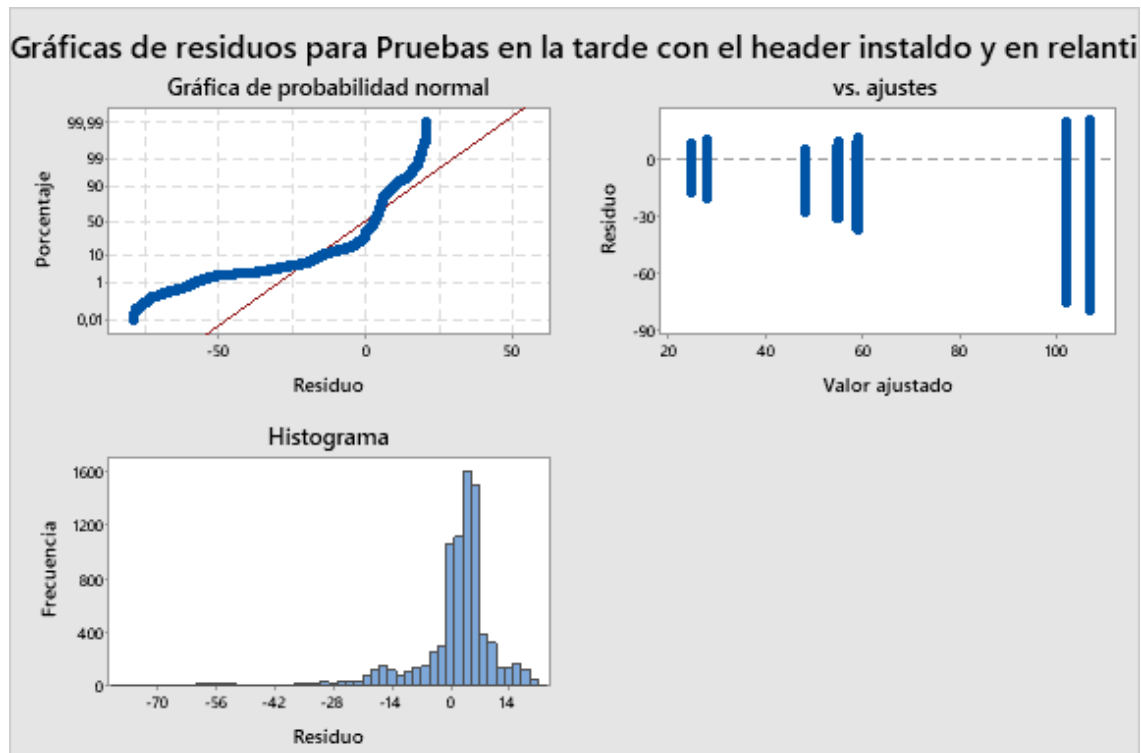
Gráfica de valores individuales de Pruebas en la tarde con el header instalado y en relanti



Gráfica de caja de Pruebas en la tarde con el header instalado y en relanti







## ANEXO E: ANOVA un solo factor: Pruebas con el header instalado en ruta.

### Método

Hipótesis nula            Todas las medias son iguales  
 Hipótesis alterna        No todas las medias son iguales  
 Nivel de significancia  $\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

### Información del factor

**Factor    Niveles Valores**

Factor            12 Ca\_1; AC\_1; DC\_1; FE\_1; Ca\_2; AC\_2; DC\_2; FE\_2; Ca\_3; AC\_3; DC\_3; FE\_3

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	11	4118081	68,28%	4118081	374371	158,87	0,000
Error	812	1913400	31,72%	1913400	2356		
Total	823	6031482	100,00%				

### Resumen del modelo

		R-cuad.		R-cuad.
S	R-cuad.	(ajustado)	PRESS	(pred)
48,5428	68,28%	67,85%	1970367	67,33%

## Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Ca_1	69	317,77	53,00	(306,30; 329,24)
AC_1	69	223,42	35,34	(211,95; 234,89)
DC_1	69	214,92	34,50	(203,45; 226,39)
FE_1	69	137,50	29,05	(126,03; 148,97)
Ca_2	69	325,59	73,50	(314,12; 337,07)
AC_2	69	206,59	55,75	(195,12; 218,07)
DC_2	69	205,76	51,32	(194,29; 217,23)
FE_2	69	122,48	42,14	(111,01; 133,95)
Ca_3	68	339,91	58,33	(328,36; 351,47)
AC_3	68	214,83	50,12	(203,27; 226,38)
DC_3	68	214,40	43,78	(202,85; 225,96)
FE_3	68	129,77	37,82	(118,22; 141,33)

Desv.Est. agrupada = 48,5428

## Comparaciones en parejas de Fisher

### Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
Ca_3	68	339,91	A
Ca_2	69	325,59	A B
Ca_1	69	317,77	B
AC_1	69	223,42	C
DC_1	69	214,92	C D
AC_3	68	214,83	C D
DC_3	68	214,40	C D
AC_2	69	206,59	D
DC_2	69	205,76	D
FE_1	69	137,50	E
FE_3	68	129,77	E
FE_2	69	122,48	E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

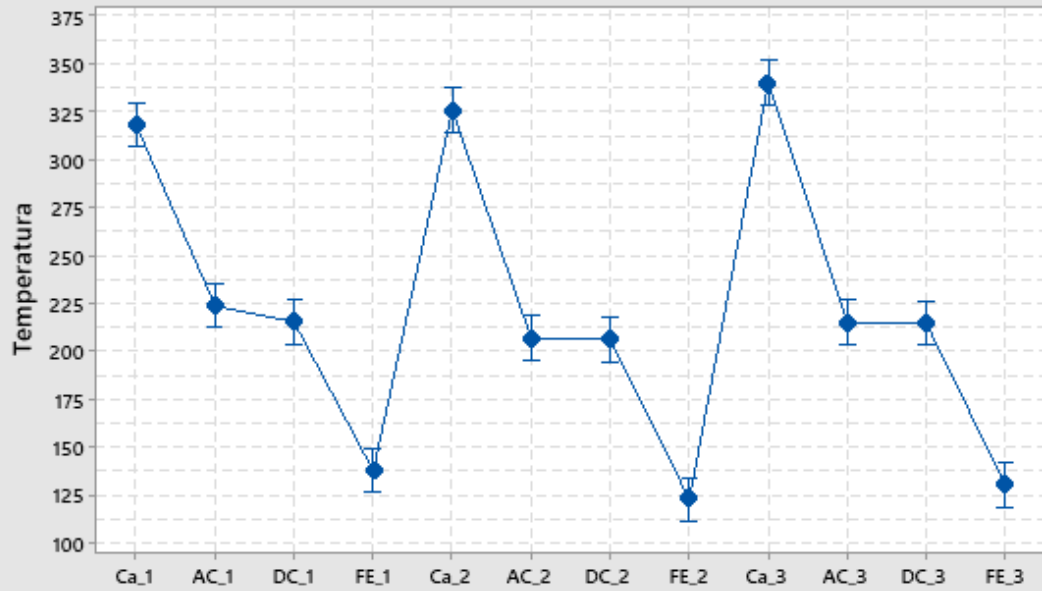
## Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia			Valor T	Valor p ajustado
	de las medias	EE de diferencia	IC de 95%		
AC_1 - Ca_1	-94,35	8,26	(-110,57; -78,13)	-11,42	0,000
DC_1 - Ca_1	-102,86	8,26	(-119,08; -86,63)	-12,45	0,000
FE_1 - Ca_1	-180,27	8,26	(-196,49; -164,05)	-21,81	0,000
Ca_2 - Ca_1	7,82	8,26	(-8,40; 24,04)	0,95	0,344
AC_2 - Ca_1	-111,18	8,26	(-127,40; -94,96)	-13,45	0,000
DC_2 - Ca_1	-112,01	8,26	(-128,24; -95,79)	-13,55	0,000
FE_2 - Ca_1	-195,29	8,26	(-211,51; -179,07)	-23,63	0,000
Ca_3 - Ca_1	22,14	8,29	(5,86; 38,42)	2,67	0,008
AC_3 - Ca_1	-102,94	8,29	(-119,23; -86,66)	-12,41	0,000
DC_3 - Ca_1	-103,37	8,29	(-119,65; -87,09)	-12,46	0,000
FE_3 - Ca_1	-188,00	8,29	(-204,28; -171,72)	-22,66	0,000
DC_1 - AC_1	-8,50	8,26	(-24,73; 7,72)	-1,03	0,304
FE_1 - AC_1	-85,92	8,26	(-102,14; -69,69)	-10,40	0,000
Ca_2 - AC_1	102,17	8,26	(85,95; 118,40)	12,36	0,000
AC_2 - AC_1	-16,83	8,26	(-33,05; -0,60)	-2,04	0,042
DC_2 - AC_1	-17,66	8,26	(-33,89; -1,44)	-2,14	0,033
FE_2 - AC_1	-100,94	8,26	(-117,16; -84,72)	-12,21	0,000
Ca_3 - AC_1	116,49	8,29	(100,21; 132,77)	14,04	0,000
AC_3 - AC_1	-8,59	8,29	(-24,87; 7,69)	-1,04	0,301
DC_3 - AC_1	-9,02	8,29	(-25,30; 7,26)	-1,09	0,277
FE_3 - AC_1	-93,65	8,29	(-109,93; -77,37)	-11,29	0,000
FE_1 - DC_1	-77,41	8,26	(-93,64; -61,19)	-9,37	0,000
Ca_2 - DC_1	110,68	8,26	(94,46; 126,90)	13,39	0,000
AC_2 - DC_1	-8,32	8,26	(-24,54; 7,90)	-1,01	0,314
DC_2 - DC_1	-9,16	8,26	(-25,38; 7,06)	-1,11	0,268
FE_2 - DC_1	-92,43	8,26	(-108,66; -76,21)	-11,18	0,000
Ca_3 - DC_1	125,00	8,29	(108,71; 141,28)	15,07	0,000
AC_3 - DC_1	-0,09	8,29	(-16,37; 16,19)	-0,01	0,991
DC_3 - DC_1	-0,52	8,29	(-16,80; 15,77)	-0,06	0,950
FE_3 - DC_1	-85,14	8,29	(-101,43; -68,86)	-10,26	0,000
Ca_2 - FE_1	188,09	8,26	(171,87; 204,31)	22,76	0,000

AC_2 - FE_1	69,09	8,26	(52,87; 85,31)	8,36	0,000
DC_2 - FE_1	68,25	8,26	(52,03; 84,48)	8,26	0,000
FE_2 - FE_1	-15,02	8,26	(-31,24; 1,20)	-1,82	0,069
Ca_3 - FE_1	202,41	8,29	(186,13; 218,69)	24,40	0,000
AC_3 - FE_1	77,32	8,29	(61,04; 93,61)	9,32	0,000
DC_3 - FE_1	76,90	8,29	(60,62; 93,18)	9,27	0,000
FE_3 - FE_1	-7,73	8,29	(-24,01; 8,55)	-0,93	0,352
AC_2 - Ca_2	-119,00	8,26	(-135,22; -102,78)	-14,40	0,000
DC_2 - Ca_2	-119,84	8,26	(-136,06; -103,61)	-14,50	0,000
FE_2 - Ca_2	-203,11	8,26	(-219,33; -186,89)	-24,58	0,000
Ca_3 - Ca_2	14,32	8,29	(-1,96; 30,60)	1,73	0,085
AC_3 - Ca_2	-110,77	8,29	(-127,05; -94,49)	-13,35	0,000
DC_3 - Ca_2	-111,19	8,29	(-127,48; -94,91)	-13,41	0,000
FE_3 - Ca_2	-195,82	8,29	(-212,10; -179,54)	-23,61	0,000
DC_2 - AC_2	-0,84	8,26	(-17,06; 15,39)	-0,10	0,919
FE_2 - AC_2	-84,11	8,26	(-100,33; -67,89)	-10,18	0,000
Ca_3 - AC_2	133,32	8,29	(117,04; 149,60)	16,07	0,000
AC_3 - AC_2	8,23	8,29	(-8,05; 24,51)	0,99	0,321
DC_3 - AC_2	7,81	8,29	(-8,48; 24,09)	0,94	0,347
FE_3 - AC_2	-76,82	8,29	(-93,10; -60,54)	-9,26	0,000
FE_2 - DC_2	-83,28	8,26	(-99,50; -67,05)	-10,08	0,000
Ca_3 - DC_2	134,15	8,29	(117,87; 150,44)	16,17	0,000
AC_3 - DC_2	9,07	8,29	(-7,21; 25,35)	1,09	0,275
DC_3 - DC_2	8,64	8,29	(-7,64; 24,93)	1,04	0,298
FE_3 - DC_2	-75,99	8,29	(-92,27; -59,70)	-9,16	0,000
Ca_3 - FE_2	217,43	8,29	(201,15; 233,71)	26,21	0,000
AC_3 - FE_2	92,35	8,29	(76,06; 108,63)	11,13	0,000
DC_3 - FE_2	91,92	8,29	(75,64; 108,20)	11,08	0,000
FE_3 - FE_2	7,29	8,29	(-8,99; 23,57)	0,88	0,380
AC_3 - Ca_3	-125,08	8,33	(-141,43; -108,74)	-15,03	0,000
DC_3 - Ca_3	-125,51	8,33	(-141,85; -109,17)	-15,08	0,000
FE_3 - Ca_3	-210,14	8,33	(-226,48; -193,80)	-25,24	0,000
DC_3 - AC_3	-0,43	8,33	(-16,77; 15,91)	-0,05	0,959
FE_3 - AC_3	-85,06	8,33	(-101,40; -68,71)	-10,22	0,000
FE_3 - DC_3	-84,63	8,33	(-100,97; -68,29)	-10,17	0,000

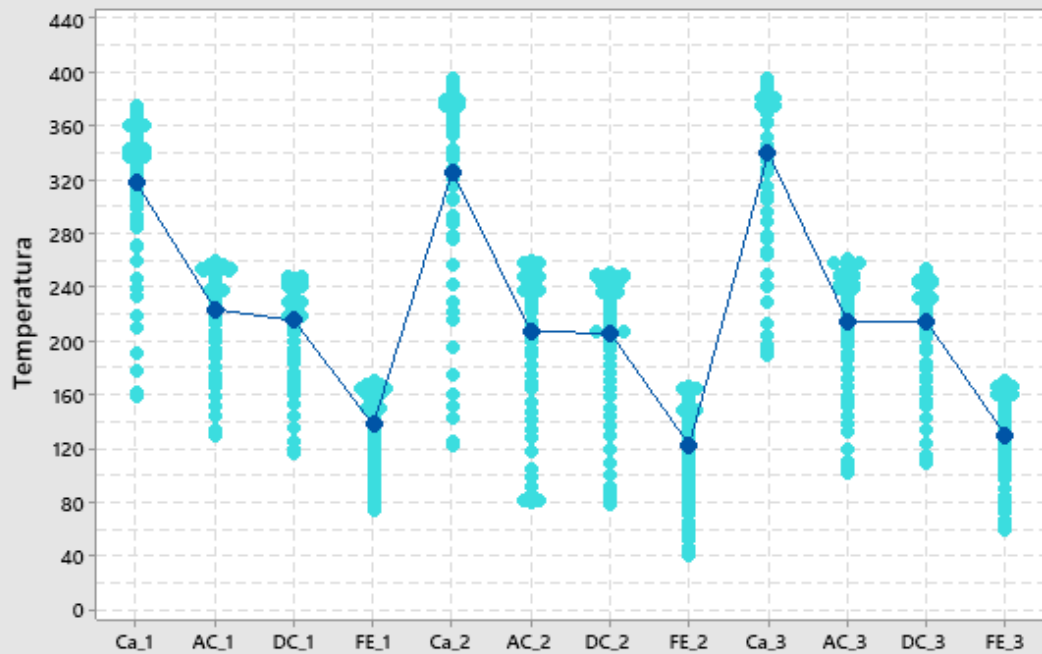
*Nivel de confianza simultánea = 28,12%*

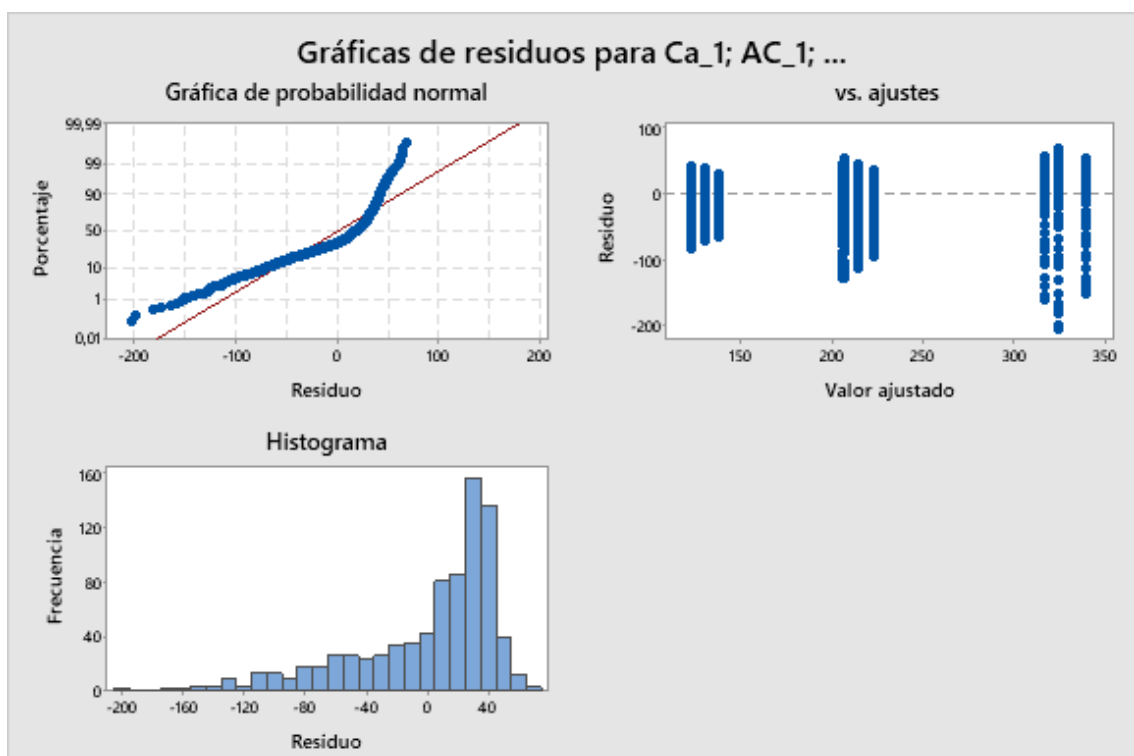
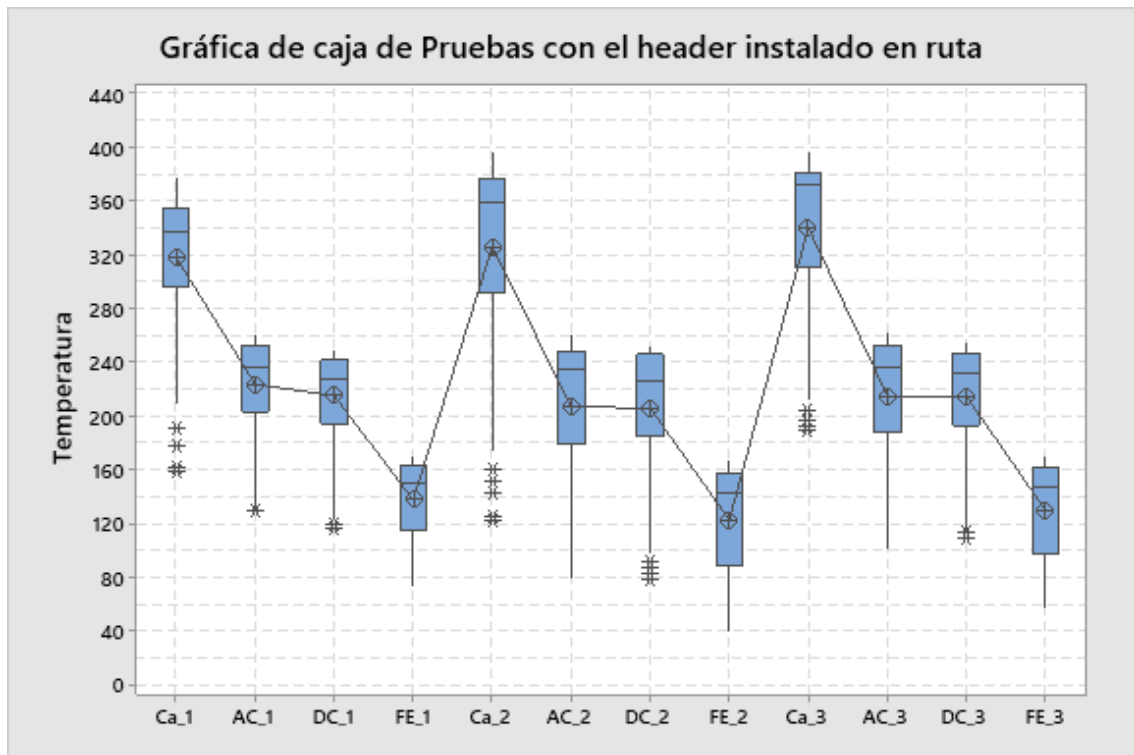
**Gráfica de intervalos de Pruebas con el header instalado en ruta**  
95% IC para la media



La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.

**Gráfica de valores individuales de Pruebas con el header instalado en ruta**





**ANEXO F: ANOVA un solo factor: Pruebas bajo el ciclo de conducción y con el sistema de escape original**

### Método

Hipótesis nula            Todas las medias son iguales  
 Hipótesis alterna        No todas las medias son iguales  
 Nivel de significancia  $\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

## Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	12	Ca_1; AC_1; DC_1; FE_1; Ca_2; AC_2; DC_2; FE_2; Ca_3; AC_3; DC_3; FE_3

## Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	11	37461757	3405614	9034,47	0,000
Error	6640	2503000	377		
Total	6651	39964757			

## Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
19,4154	93,74%	93,73%	93,71%

## Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Ca_1	629	266,513	18,560	(264,996; 268,031)
AC_1	629	174,246	25,035	(172,729; 175,764)
DC_1	629	148,943	18,384	(147,426; 150,461)
FE_1	629	62,677	6,303	(61,160; 64,195)
Ca_2	515	274,88	24,25	(273,21; 276,56)
AC_2	515	195,29	27,39	(193,62; 196,97)
DC_2	515	159,75	28,57	(158,07; 161,43)
FE_2	515	59,652	10,818	(57,975; 61,329)
Ca_3	519	274,097	19,321	(272,426; 275,768)
AC_3	519	194,322	19,012	(192,652; 195,993)
DC_3	519	164,608	13,542	(162,938; 166,279)
FE_3	519	64,256	4,958	(62,586; 65,927)

*Desv.Est. agrupada = 19,4154*

## Comparaciones en parejas de Fisher

## Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
Ca_2	515	274,88	A
Ca_3	519	274,097	A
Ca_1	629	266,513	B
AC_2	515	195,29	C
AC_3	519	194,322	C
AC_1	629	174,246	D
DC_3	519	164,608	E
DC_2	515	159,75	F
DC_1	629	148,943	G
FE_3	519	64,256	H
FE_1	629	62,677	H
FE_2	515	59,652	I

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

## Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias

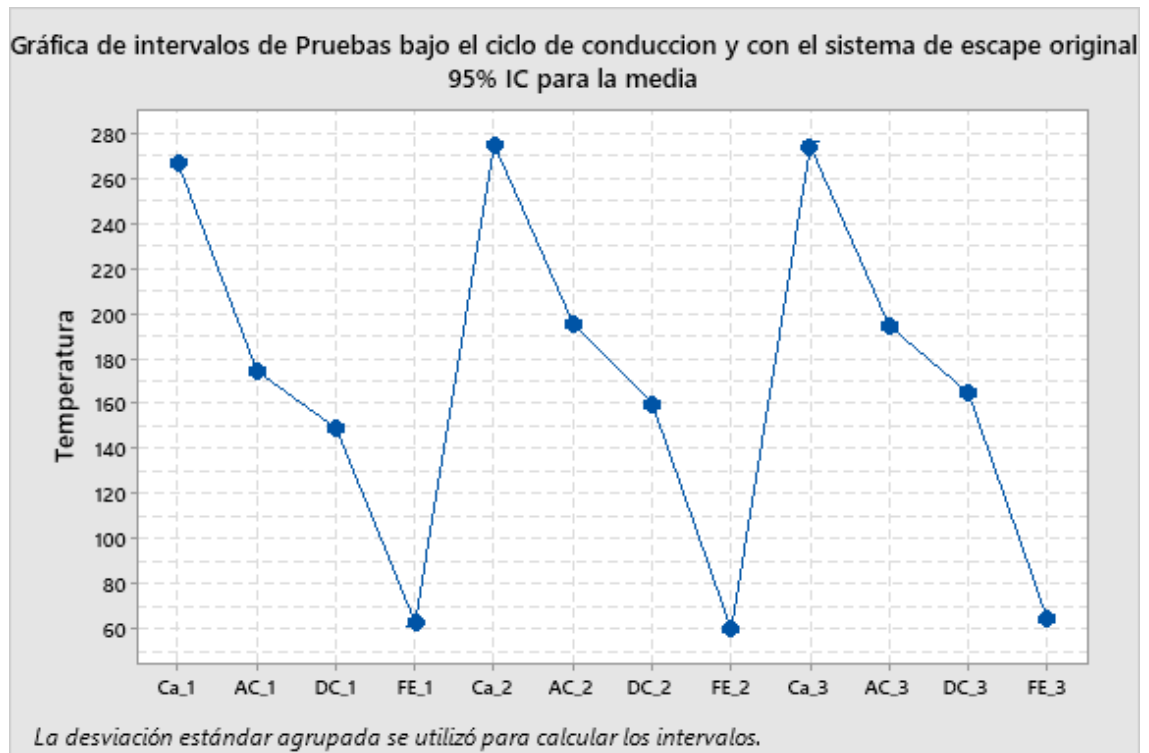
Diferencia de niveles	Diferencia			Valor T	Valor p ajustado
	de las medias	EE de diferencia	IC de 95%		
AC_1 - Ca_1	-92,27	1,09	(-94,41; -90,12)	-84,28	0,000
DC_1 - Ca_1	-117,57	1,09	(-119,72; -115,42)	-107,39	0,000
FE_1 - Ca_1	-203,84	1,09	(-205,98; -201,69)	-186,19	0,000
Ca_2 - Ca_1	8,37	1,15	(6,11; 10,63)	7,26	0,000
AC_2 - Ca_1	-71,22	1,15	(-73,48; -68,96)	-61,73	0,000
DC_2 - Ca_1	-106,76	1,15	(-109,03; -104,50)	-92,53	0,000
FE_2 - Ca_1	-206,86	1,15	(-209,12; -204,60)	-179,29	0,000
Ca_3 - Ca_1	7,58	1,15	(5,33; 9,84)	6,59	0,000
AC_3 - Ca_1	-72,19	1,15	(-74,45; -69,93)	-62,70	0,000
DC_3 - Ca_1	-101,91	1,15	(-104,16; -99,65)	-88,51	0,000
FE_3 - Ca_1	-202,26	1,15	(-204,51; -200,00)	-175,67	0,000
DC_1 - AC_1	-25,30	1,09	(-27,45; -23,16)	-23,11	0,000
FE_1 - AC_1	-111,57	1,09	(-113,72; -109,42)	-101,91	0,000
Ca_2 - AC_1	100,64	1,15	(98,38; 102,90)	87,22	0,000



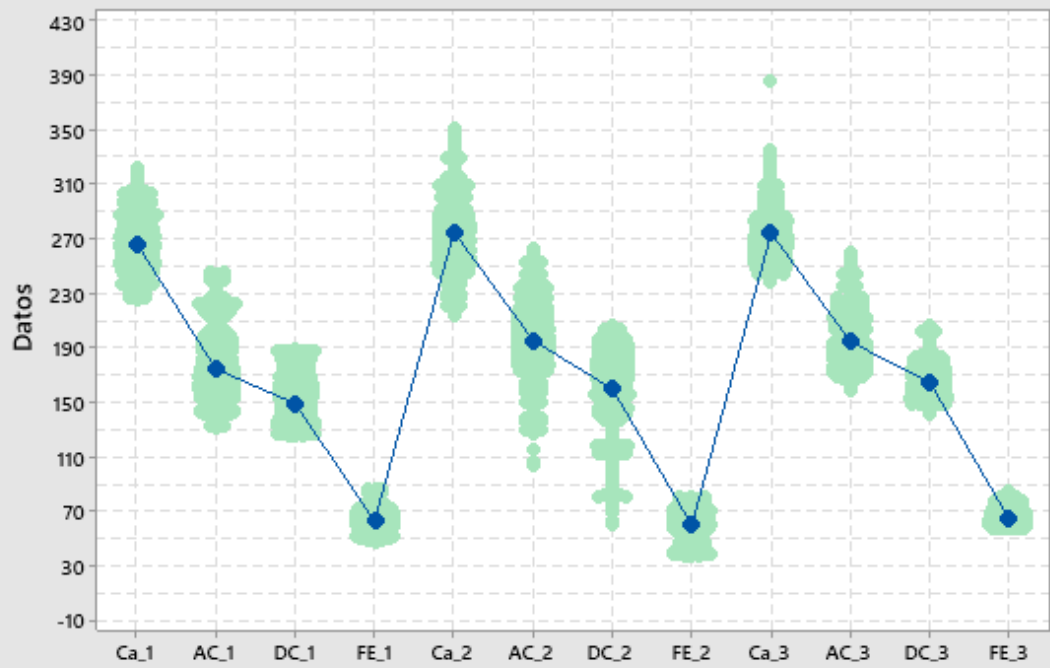
AC_2 - AC_1	21,05	1,15	(18,79; 23,31)	18,24	0,000
DC_2 - AC_1	-14,50	1,15	(-16,76; -12,23)	-12,56	0,000
FE_2 - AC_1	-114,59	1,15	(-116,86; -112,33)	-99,32	0,000
Ca_3 - AC_1	99,85	1,15	(97,59; 102,11)	86,72	0,000
AC_3 - AC_1	20,08	1,15	(17,82; 22,33)	17,44	0,000
DC_3 - AC_1	-9,64	1,15	(-11,90; -7,38)	-8,37	0,000
FE_3 - AC_1	-109,99	1,15	(-112,25; -107,73)	-95,53	0,000
FE_1 - DC_1	-86,27	1,09	(-88,41; -84,12)	-78,80	0,000
Ca_2 - DC_1	125,94	1,15	(123,68; 128,20)	109,15	0,000
AC_2 - DC_1	46,35	1,15	(44,09; 48,61)	40,17	0,000
DC_2 - DC_1	10,81	1,15	(8,54; 13,07)	9,37	0,000
FE_2 - DC_1	-89,29	1,15	(-91,55; -87,03)	-77,39	0,000
Ca_3 - DC_1	125,15	1,15	(122,90; 127,41)	108,70	0,000
AC_3 - DC_1	45,38	1,15	(43,12; 47,64)	39,41	0,000
DC_3 - DC_1	15,67	1,15	(13,41; 17,92)	13,61	0,000
FE_3 - DC_1	-84,69	1,15	(-86,94; -82,43)	-73,55	0,000
Ca_2 - FE_1	212,21	1,15	(209,95; 214,47)	183,92	0,000
AC_2 - FE_1	132,62	1,15	(130,35; 134,88)	114,94	0,000
DC_2 - FE_1	97,07	1,15	(94,81; 99,33)	84,13	0,000
FE_2 - FE_1	-3,03	1,15	(-5,29; -0,76)	-2,62	0,009
Ca_3 - FE_1	211,42	1,15	(209,16; 213,68)	183,63	0,000
AC_3 - FE_1	131,64	1,15	(129,39; 133,90)	114,34	0,000
DC_3 - FE_1	101,93	1,15	(99,67; 104,19)	88,53	0,000
FE_3 - FE_1	1,58	1,15	(-0,68; 3,84)	1,37	0,170
AC_2 - Ca_2	-79,59	1,21	(-81,96; -77,22)	-65,78	0,000
DC_2 - Ca_2	-115,13	1,21	(-117,51; -112,76)	-95,16	0,000
FE_2 - Ca_2	-215,23	1,21	(-217,60; -212,86)	-177,89	0,000
Ca_3 - Ca_2	-0,79	1,21	(-3,15; 1,58)	-0,65	0,514
AC_3 - Ca_2	-80,56	1,21	(-82,93; -78,19)	-66,71	0,000
DC_3 - Ca_2	-110,28	1,21	(-112,64; -107,91)	-91,32	0,000
FE_3 - Ca_2	-210,63	1,21	(-213,00; -208,26)	-174,42	0,000
DC_2 - AC_2	-35,54	1,21	(-37,92; -33,17)	-29,38	0,000
FE_2 - AC_2	-135,64	1,21	(-138,01; -133,27)	-112,11	0,000
Ca_3 - AC_2	78,80	1,21	(76,44; 81,17)	65,26	0,000
AC_3 - AC_2	-0,97	1,21	(-3,34; 1,40)	-0,80	0,421
DC_3 - AC_2	-30,69	1,21	(-33,05; -28,32)	-25,41	0,000
FE_3 - AC_2	-131,04	1,21	(-133,40; -128,67)	-108,51	0,000

FE_2 - DC_2	-100,10	1,21	(-102,47; -97,73)	-82,73	0,000
Ca_3 - DC_2	114,35	1,21	(111,98; 116,71)	94,69	0,000
AC_3 - DC_2	34,57	1,21	(32,21; 36,94)	28,63	0,000
DC_3 - DC_2	4,86	1,21	(2,49; 7,23)	4,02	0,000
FE_3 - DC_2	-95,49	1,21	(-97,86; -93,13)	-79,08	0,000
Ca_3 - FE_2	214,44	1,21	(212,08; 216,81)	177,58	0,000
AC_3 - FE_2	134,67	1,21	(132,30; 137,04)	111,52	0,000
DC_3 - FE_2	104,96	1,21	(102,59; 107,32)	86,91	0,000
FE_3 - FE_2	4,60	1,21	(2,24; 6,97)	3,81	0,000
AC_3 - Ca_3	-79,77	1,21	(-82,14; -77,41)	-66,19	0,000
DC_3 - Ca_3	-109,49	1,21	(-111,85; -107,13)	-90,84	0,000
FE_3 - Ca_3	-209,84	1,21	(-212,20; -207,48)	-174,11	0,000
DC_3 - AC_3	-29,71	1,21	(-32,08; -27,35)	-24,65	0,000
FE_3 - AC_3	-130,07	1,21	(-132,43; -127,70)	-107,92	0,000
FE_3 - DC_3	-100,35	1,21	(-102,71; -97,99)	-83,26	0,000

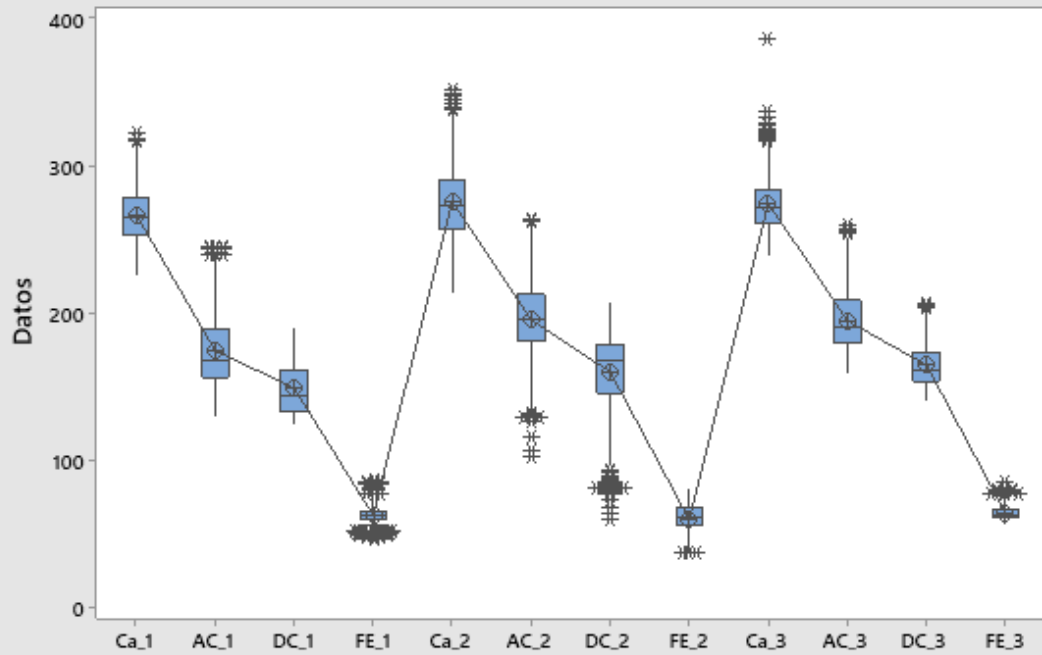
Nivel de confianza simultánea = 27,95%

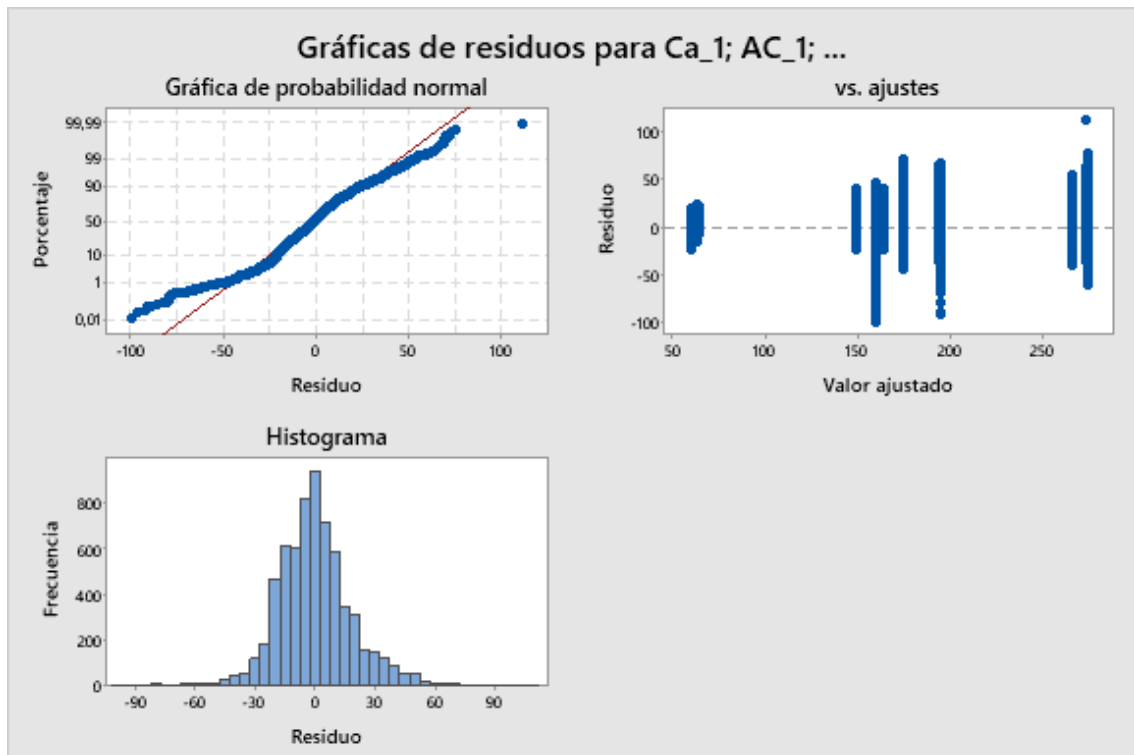


Gráfica de valores individuales de Pruebas bajo el ciclo de conduccion y con el sistema de escape original



Gráfica de caja de Ca\_1; AC\_1; ...





## ANEXO G: ANOVA un solo factor: Pruebas en relantí con el sistema de escape original en la mañana

### Método

Hipótesis nula      Todas las medias son iguales  
 Hipótesis alterna      No todas las medias son iguales  
 Nivel de significancia  $\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

### Información del factor

**Factor    Niveles    Valores**

Factor      12 Ca\_1; AC\_1; DC\_1; FE\_1; Ca\_2; AC\_2; DC\_2; FE\_2; Ca\_3; AC\_3; DC\_3; FE\_3

### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	11	37569636	89,62%	37569636	3415421	6781,37	0,000
Error	8644	4353533	10,38%	4353533	504		
Total	8655	41923168	100,00%				

### Resumen del modelo

		R-cuad.		R-cuad.
S	R-cuad.	(ajustado)	PRESS	(pred)
22,4421	89,62%	89,60%	4365629	89,59%

## Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Ca_1	723	207,05	42,73	(205,41; 208,68)
AC_1	723	85,804	17,159	(84,168; 87,440)
DC_1	723	61,042	12,615	(59,406; 62,678)
FE_1	723	34,550	4,514	(32,914; 36,187)
Ca_2	720	204,61	45,12	(202,97; 206,25)
AC_2	720	90,920	20,569	(89,280; 92,559)
DC_2	720	69,077	17,312	(67,438; 70,717)
FE_2	720	35,685	5,596	(34,046; 37,325)
Ca_3	721	214,623	23,382	(212,985; 216,261)
AC_3	721	85,156	15,100	(83,517; 86,794)
DC_3	721	65,010	12,655	(63,372; 66,648)
FE_3	721	37,348	4,378	(35,709; 38,986)

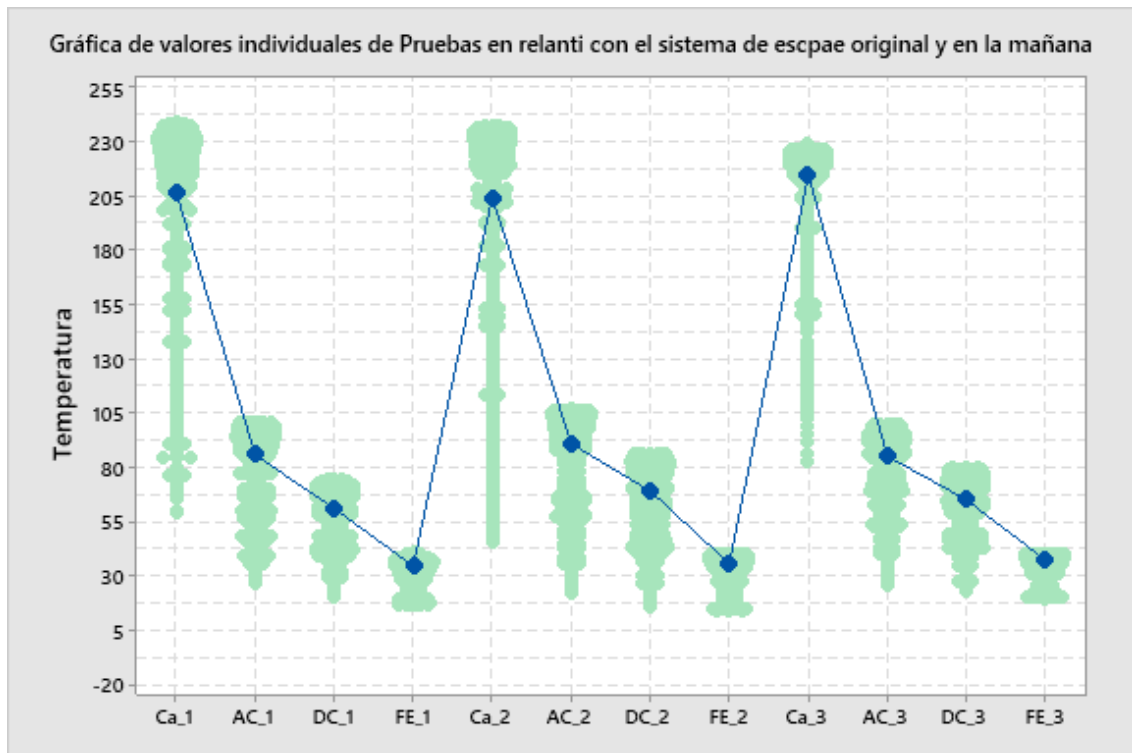
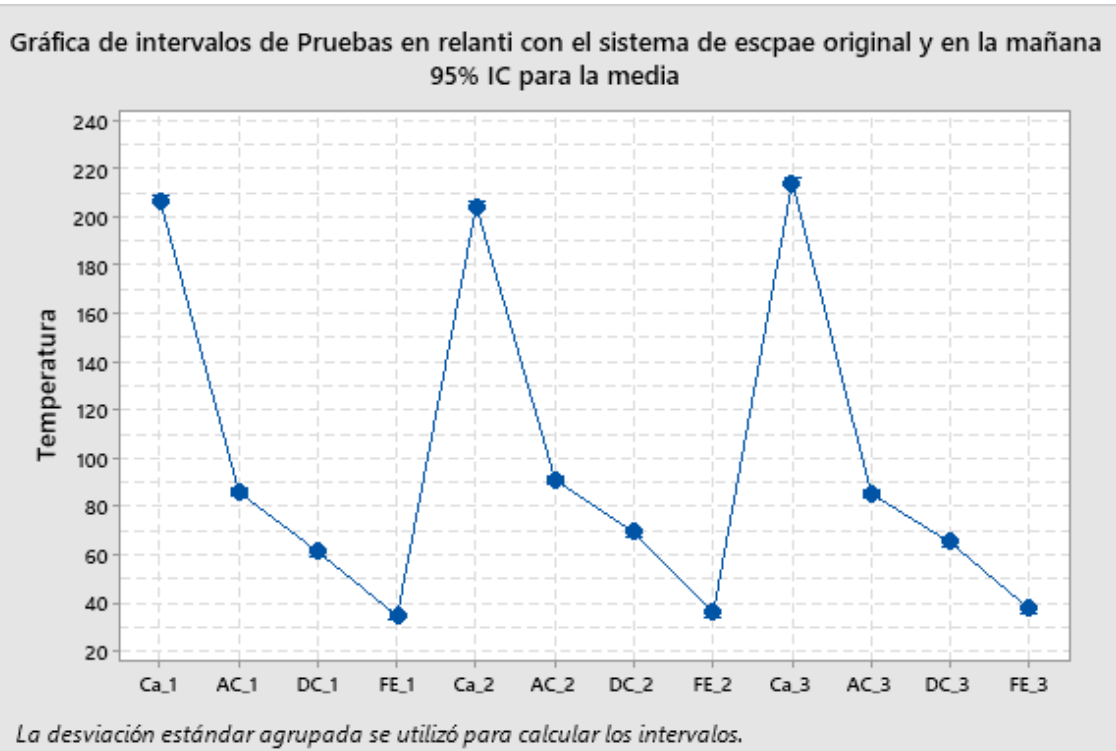
Desv.Est. agrupada = 22,4421

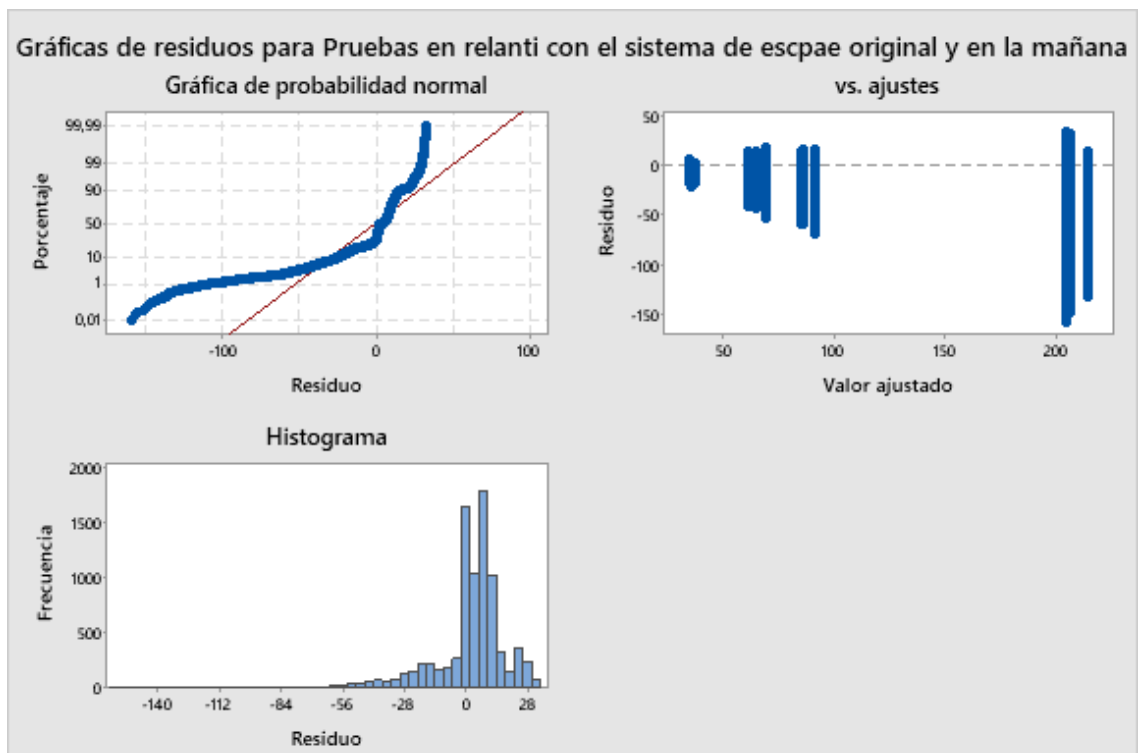
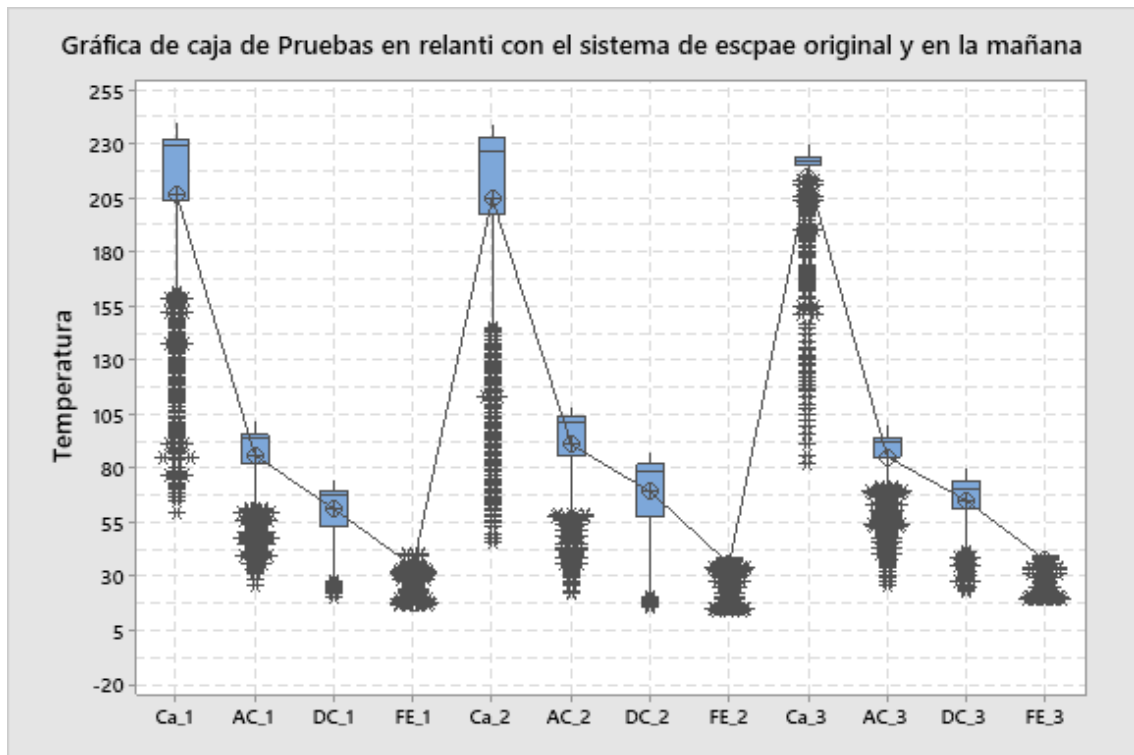
## Comparaciones en parejas de Fisher

### Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
Ca_3	721	214,623	A
Ca_1	723	207,05	B
Ca_2	720	204,61	C
AC_2	720	90,920	D
AC_1	723	85,804	E
AC_3	721	85,156	E
DC_2	720	69,077	F
DC_3	721	65,010	G
DC_1	723	61,042	H
FE_3	721	37,348	I
FE_2	720	35,685	I J
FE_1	723	34,550	J

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.





**ANEXO H:** ANOVA un solo factor: Pruebas al medio día, en relanti con el sistema de escape original

**Método**

Hipótesis nula            Todas las medias son iguales  
 Hipótesis alterna        No todas las medias son iguales  
 Nivel de significancia  $\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

## Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	12	Ca_1; AC_1; DC_1; FE_1; Ca_2; AC_2; DC_2; FE_2; Ca_3; AC_3; DC_3; FE_3

## Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	11	37451539	95,55%	37451539	3404685	16891,92	0,000
Error	8644	1742259	4,45%	1742259	202		
Total	8655	39193798	100,00%				

## Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	PRESS	R-cuad. (pred)
14,1971	95,55%	95,55%	1747100	95,54%

## Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Ca_1	721	208,936	24,332	(207,900; 209,973)
AC_1	721	85,683	11,486	(84,647; 86,720)
DC_1	721	63,174	8,839	(62,137; 64,210)
FE_1	721	37,6709	2,1115	(36,6345; 38,7074)
Ca_2	720	208,974	24,346	(207,937; 210,011)
AC_2	720	85,731	11,494	(84,694; 86,768)
DC_2	720	63,270	8,845	(62,233; 64,308)
FE_2	720	37,7205	2,1129	(36,6833; 38,7576)
Ca_3	723	208,937	24,303	(207,902; 209,972)
AC_3	723	85,665	11,470	(84,630; 86,700)
DC_3	723	63,209	8,829	(62,174; 64,244)
FE_3	723	37,6417	2,1095	(36,6067; 38,6767)

*Desv.Est. agrupada = 14,1971*

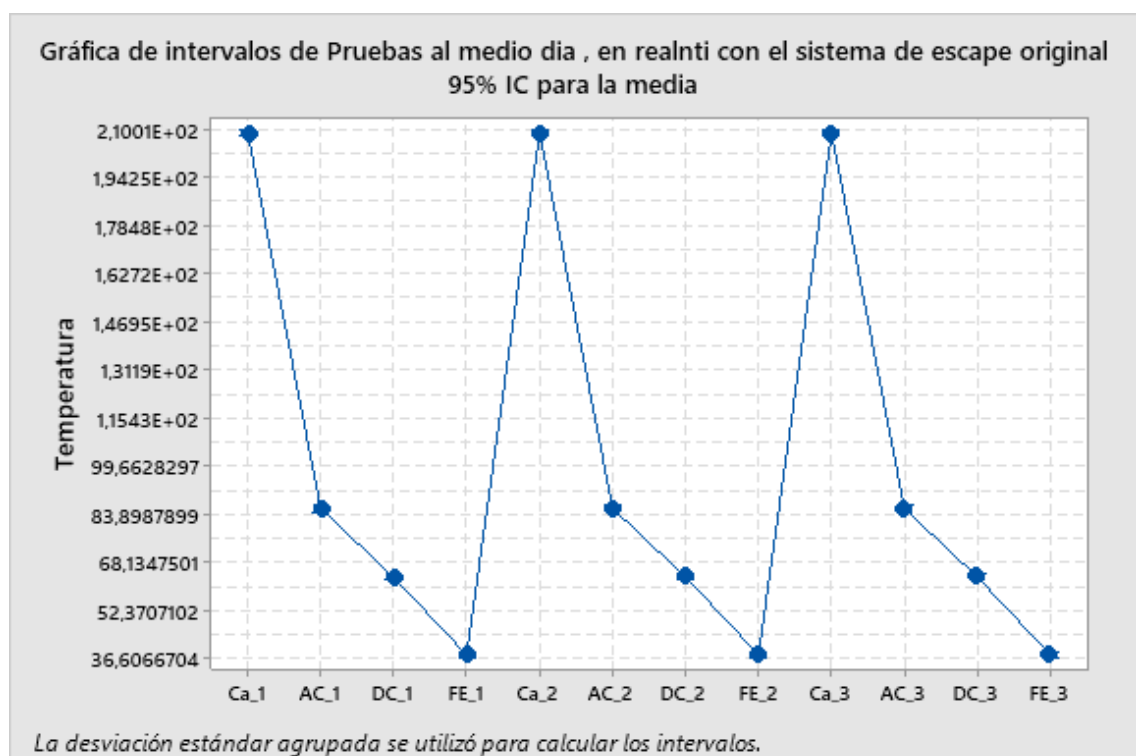
## Comparaciones en parejas de Fisher



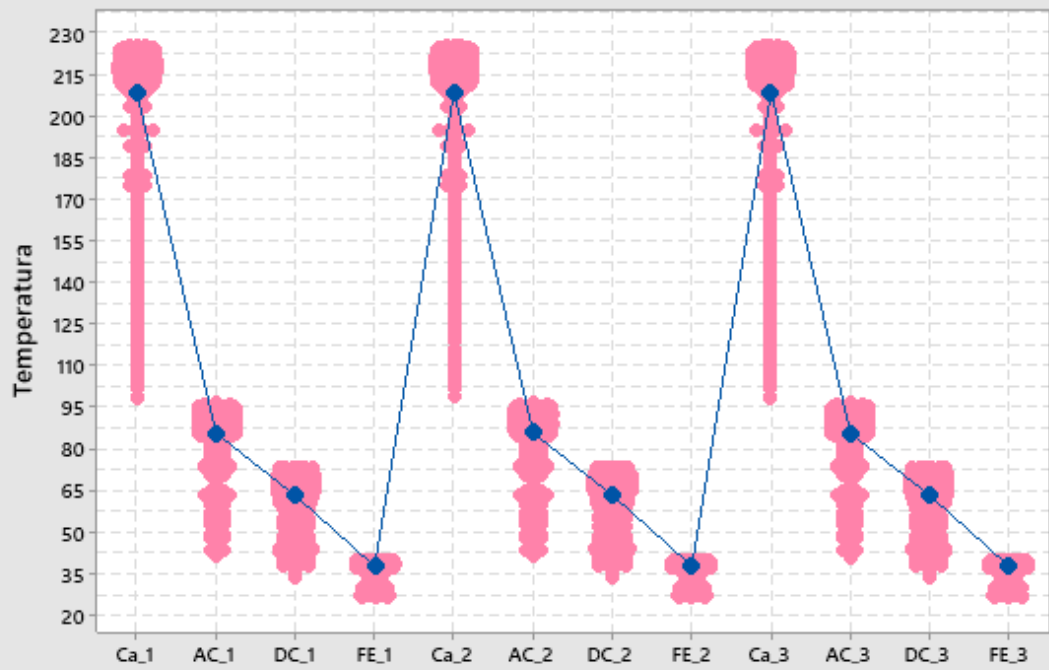
## Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
Ca_2	720	208,974	A
Ca_3	723	208,937	A
Ca_1	721	208,936	A
AC_2	720	85,731	B
AC_1	721	85,683	B
AC_3	723	85,665	B
DC_2	720	63,270	C
DC_3	723	63,209	C
DC_1	721	63,174	C
FE_2	720	37,7205	D
FE_1	721	37,6709	D
FE_3	723	37,6417	D

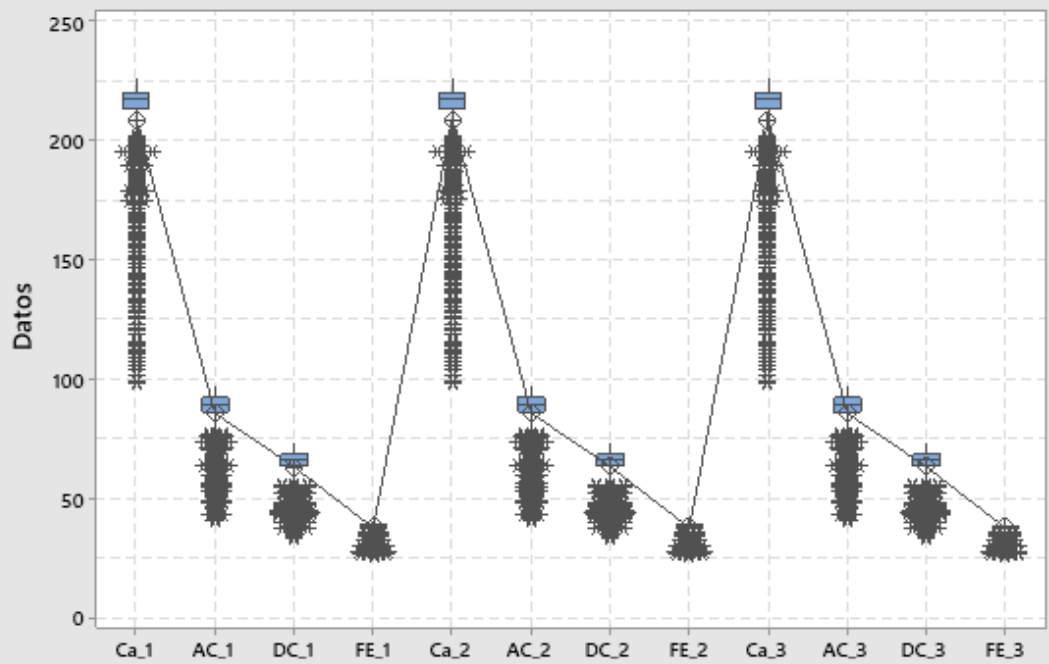
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

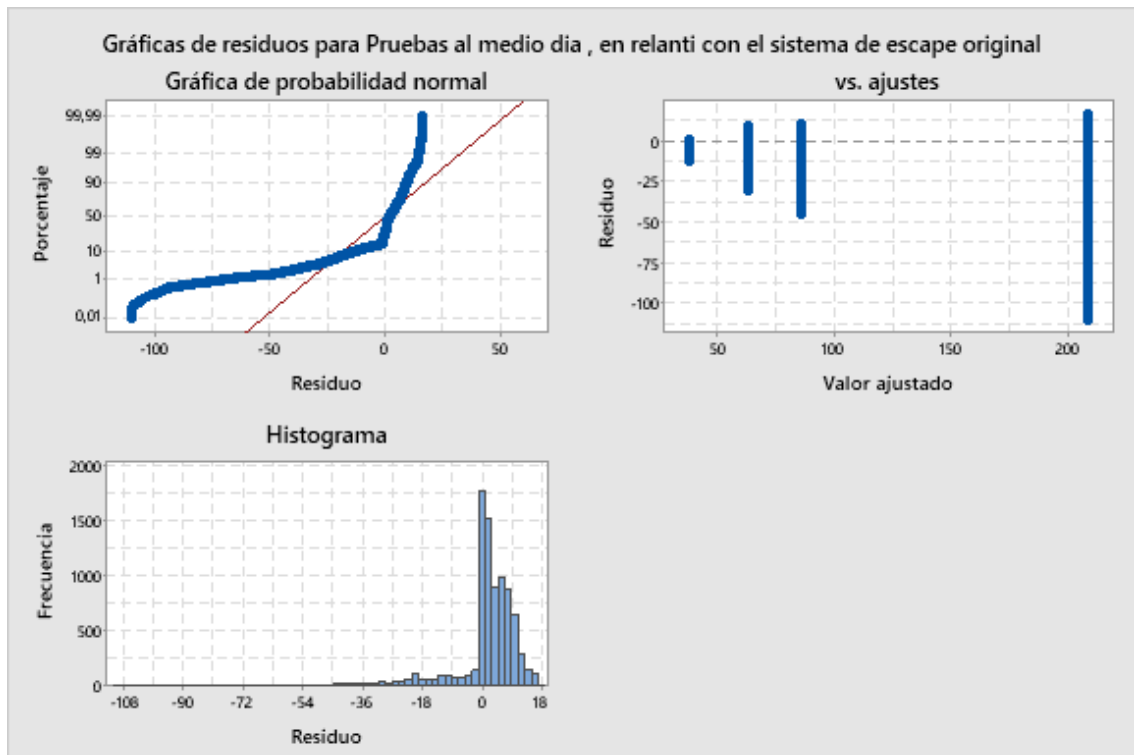


Gráfica de valores individuales de Pruebas al medio día , en relanti con el sistema de escape original



Gráfica de caja de Pruebas al medio día , en relanti con el sistema de escape original





**ANEXO I:** ANOVA un solo factor: Pruebas en relanti con el sistema de escape original, en la tarde

## Método

Hipótesis nula      Todas las medias son iguales  
 Hipótesis alterna      No todas las medias son iguales  
 Nivel de significancia  $\alpha = 0,05$

*Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

## Información del factor

**Factor    Niveles    Valores**

Factor      12    Ca\_1; AC\_1; DC\_1; FE\_1; Ca\_2; AC\_2; DC\_2; FE\_2; Ca\_3; AC\_3; DC\_3; FE\_3

## Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	11	37982991	95,79%	37982991	3452999	17828,80	0,000
Error	8628	1671031	4,21%	1671031	194		
Total	8639	39654022	100,00%				

## Resumen del modelo

		R-cuad.		R-cuad.
S	R-cuad.	(ajustado)	PRESS	(pred)
13,9167	95,79%	95,78%	1675676	95,77%

## Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Ca_1	717	230,669	5,780	(229,650; 231,687)
AC_1	717	105,713	9,466	(104,694; 106,732)
DC_1	717	82,875	9,900	(81,856; 83,893)
FE_1	717	37,5196	1,0609	(36,5008; 38,5384)
Ca_2	723	204,604	25,457	(203,590; 205,619)
AC_2	723	86,746	14,037	(85,731; 87,760)
DC_2	723	69,559	12,233	(68,544; 70,573)
FE_2	723	35,708	3,369	(34,694; 36,723)
Ca_3	720	195,94	28,06	(194,92; 196,95)
AC_3	720	76,323	13,152	(75,307; 77,340)
DC_3	720	60,630	11,158	(59,614; 61,647)
FE_3	720	36,584	2,771	(35,567; 37,600)

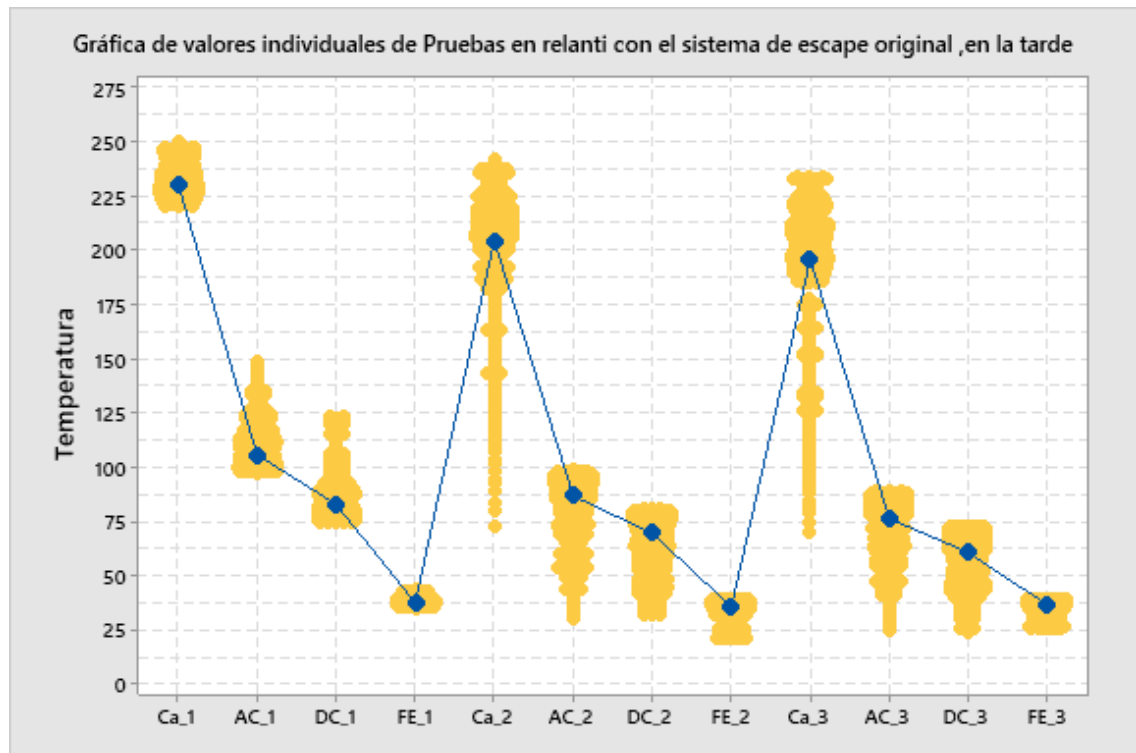
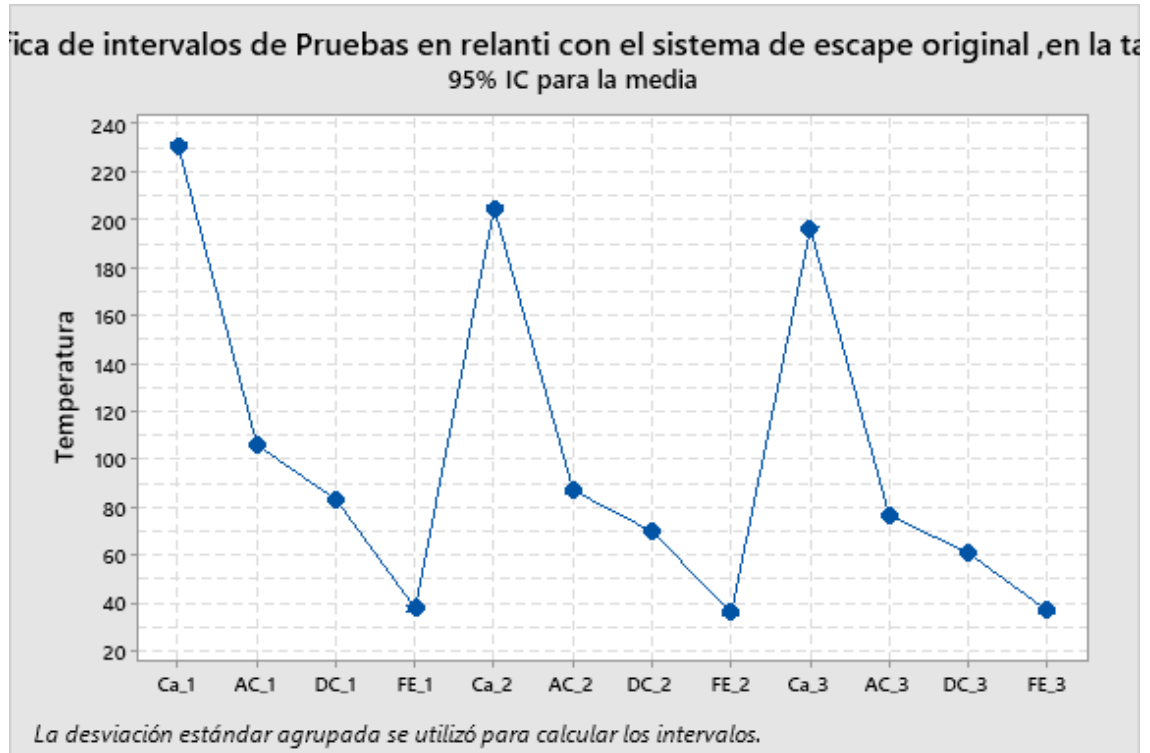
Desv.Est. agrupada = 13,9167

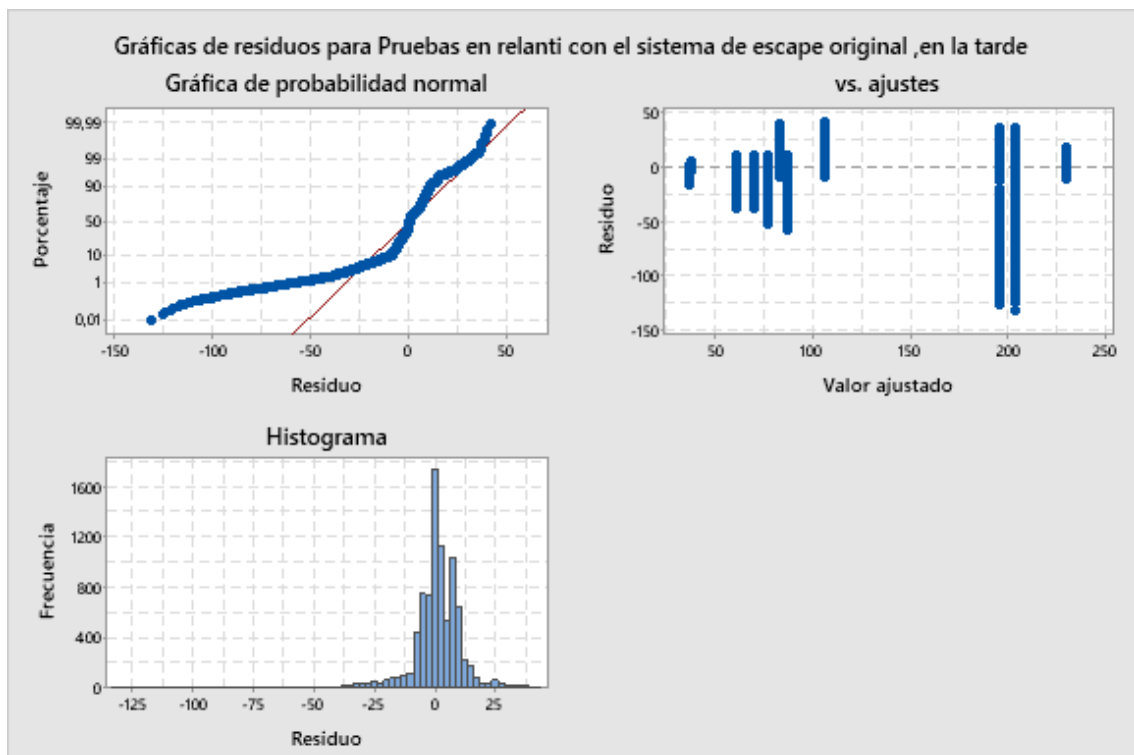
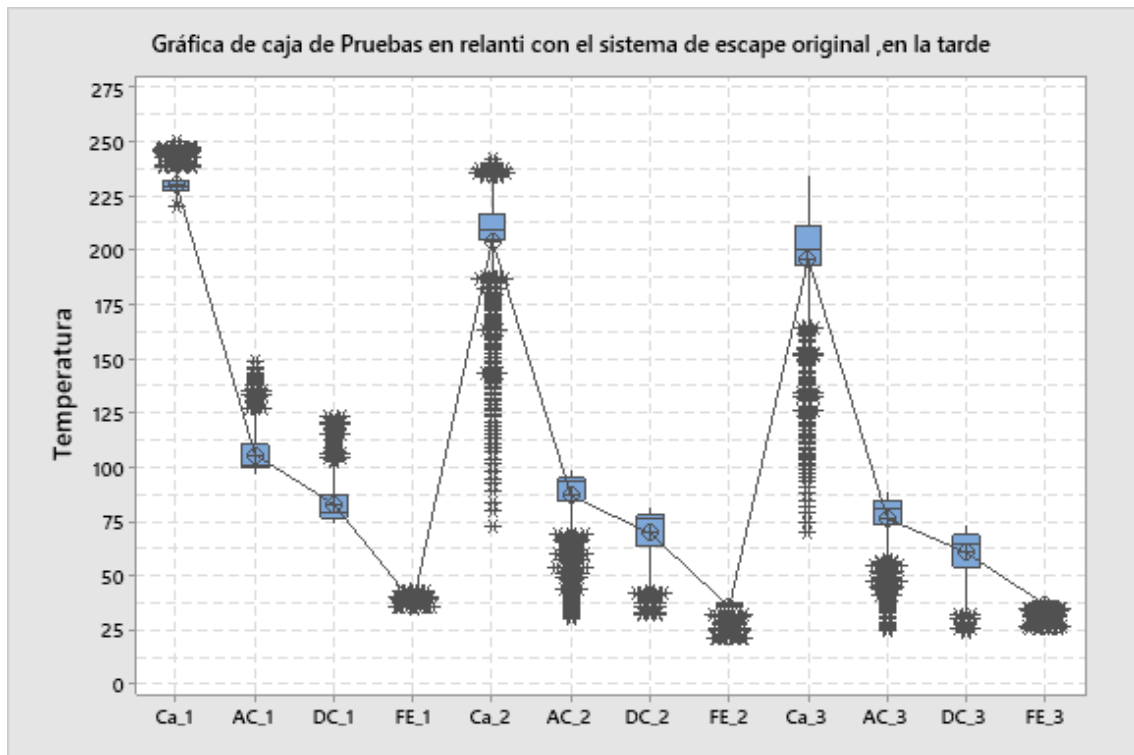
## Comparaciones en parejas de Fisher

### Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
Ca_1	717	230,669	A
Ca_2	723	204,604	B
Ca_3	720	195,94	C
AC_1	717	105,713	D
AC_2	723	86,746	E
DC_1	717	82,875	F
AC_3	720	76,323	G
DC_2	723	69,559	H
DC_3	720	60,630	I
FE_1	717	37,5196	J
FE_3	720	36,584	J K
FE_2	723	35,708	K

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.





## ANEXO J: ANOVA un solo factor: Pruebas en ruta, con el sistema original de escape

### Método

Hipótesis nula

Todas las medias son iguales

Hipótesis alterna No todas las medias son iguales

Nivel de significancia  $\alpha = 0,05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

## Información del factor

**Factor Niveles Valores**

Factor 12 Ca\_1; AC\_1; DC\_1; FE\_1; Ca\_2; AC\_2; DC\_2; FE\_2; Ca\_3; AC\_3; DC\_3; FE\_3

## Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	11	7119726	647248	174,35	0,000
Error	764	2836170	3712		
Total	775	9955896			

## Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
60,9284	71,51%	71,10%	70,61%

## Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Ca_1	64	375,84	55,75	(360,89; 390,79)
AC_1	64	276,7	81,1	(261,7; 291,6)
DC_1	64	239,4	85,5	(224,5; 254,4)
FE_1	64	102,39	38,08	(87,44; 117,34)
Ca_2	64	369,54	50,26	(354,59; 384,49)
AC_2	64	284,00	67,85	(269,05; 298,95)
DC_2	64	255,94	69,69	(240,99; 270,89)
FE_2	64	103,63	30,56	(88,68; 118,58)
Ca_3	66	359,65	47,58	(344,93; 374,37)
AC_3	66	271,58	71,82	(256,86; 286,30)
DC_3	66	238,95	70,50	(224,23; 253,68)
FE_3	66	100,88	28,98	(86,16; 115,61)

Desv.Est. agrupada = 60,9284

## Comparaciones en parejas de Fisher

## Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
Ca_1	64	375,84	A
Ca_2	64	369,54	A
Ca_3	66	359,65	A
AC_2	64	284,00	B
AC_1	64	276,7	B C
AC_3	66	271,58	B C
DC_2	64	255,94	C D
DC_1	64	239,4	D
DC_3	66	238,95	D
FE_2	64	103,63	E
FE_1	64	102,39	E
FE_3	66	100,88	E

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.*

## Pruebas individuales de Fisher para diferencias de las medias

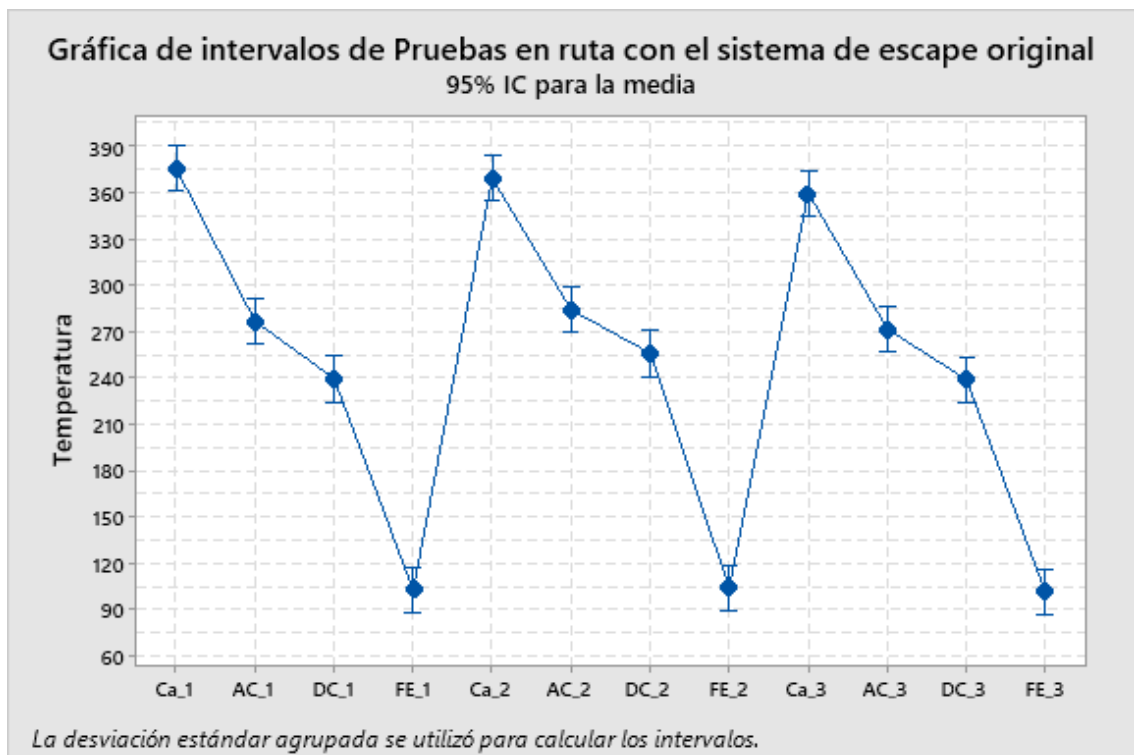
Diferencia de niveles	Diferencia			Valor T	Valor p ajustado
	de las medias	EE de diferencia	IC de 95%		
AC_1 - Ca_1	-99,2	10,8	(-120,3; -78,0)	-9,21	0,000
DC_1 - Ca_1	-136,4	10,8	(-157,6; -115,3)	-12,67	0,000
FE_1 - Ca_1	-273,4	10,8	(-294,6; -252,3)	-25,39	0,000
Ca_2 - Ca_1	-6,3	10,8	(-27,4; 14,9)	-0,58	0,559
AC_2 - Ca_1	-91,8	10,8	(-113,0; -70,7)	-8,53	0,000
DC_2 - Ca_1	-119,9	10,8	(-141,0; -98,8)	-11,13	0,000
FE_2 - Ca_1	-272,2	10,8	(-293,4; -251,1)	-25,27	0,000
Ca_3 - Ca_1	-16,2	10,7	(-37,2; 4,8)	-1,51	0,130
AC_3 - Ca_1	-104,3	10,7	(-125,2; -83,3)	-9,75	0,000
DC_3 - Ca_1	-136,9	10,7	(-157,9; -115,9)	-12,81	0,000
FE_3 - Ca_1	-275,0	10,7	(-295,9; -254,0)	-25,72	0,000
DC_1 - AC_1	-37,2	10,8	(-58,4; -16,1)	-3,46	0,001
FE_1 - AC_1	-174,3	10,8	(-195,4; -153,1)	-16,18	0,000
Ca_2 - AC_1	92,9	10,8	(71,7; 114,0)	8,62	0,000



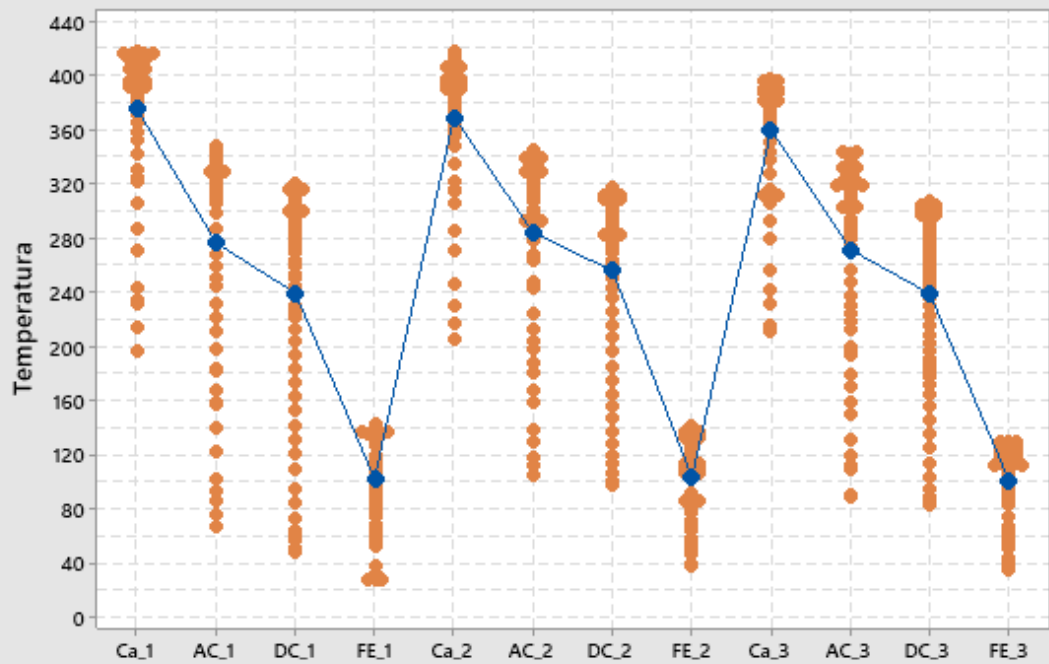
AC_2 - AC_1	7,3	10,8	(-13,8; 28,5)	0,68	0,496
DC_2 - AC_1	-20,7	10,8	(-41,9; 0,4)	-1,92	0,055
FE_2 - AC_1	-173,0	10,8	(-194,2; -151,9)	-16,06	0,000
Ca_3 - AC_1	83,0	10,7	(62,0; 104,0)	7,76	0,000
AC_3 - AC_1	-5,1	10,7	(-26,1; 15,9)	-0,47	0,635
DC_3 - AC_1	-37,7	10,7	(-58,7; -16,7)	-3,53	0,000
FE_3 - AC_1	-175,8	10,7	(-196,8; -154,8)	-16,44	0,000
FE_1 - DC_1	-137,0	10,8	(-158,2; -115,9)	-12,72	0,000
Ca_2 - DC_1	130,1	10,8	(109,0; 151,3)	12,08	0,000
AC_2 - DC_1	44,6	10,8	(23,4; 65,7)	4,14	0,000
DC_2 - DC_1	16,5	10,8	(-4,6; 37,7)	1,53	0,126
FE_2 - DC_1	-135,8	10,8	(-156,9; -114,6)	-12,61	0,000
Ca_3 - DC_1	120,2	10,7	(99,2; 141,2)	11,25	0,000
AC_3 - DC_1	32,2	10,7	(11,2; 53,1)	3,01	0,003
DC_3 - DC_1	-0,5	10,7	(-21,5; 20,5)	-0,04	0,965
FE_3 - DC_1	-138,5	10,7	(-159,5; -117,6)	-12,96	0,000
Ca_2 - FE_1	267,2	10,8	(246,0; 288,3)	24,80	0,000
AC_2 - FE_1	181,6	10,8	(160,5; 202,8)	16,86	0,000
DC_2 - FE_1	153,5	10,8	(132,4; 174,7)	14,26	0,000
FE_2 - FE_1	1,2	10,8	(-19,9; 22,4)	0,11	0,909
Ca_3 - FE_1	257,3	10,7	(236,3; 278,2)	24,07	0,000
AC_3 - FE_1	169,2	10,7	(148,2; 190,2)	15,83	0,000
DC_3 - FE_1	136,6	10,7	(115,6; 157,5)	12,78	0,000
FE_3 - FE_1	-1,5	10,7	(-22,5; 19,5)	-0,14	0,888
AC_2 - Ca_2	-85,5	10,8	(-106,7; -64,4)	-7,94	0,000
DC_2 - Ca_2	-113,6	10,8	(-134,7; -92,5)	-10,55	0,000
FE_2 - Ca_2	-265,9	10,8	(-287,1; -244,8)	-24,69	0,000
Ca_3 - Ca_2	-9,9	10,7	(-30,9; 11,1)	-0,93	0,355
AC_3 - Ca_2	-98,0	10,7	(-118,9; -77,0)	-9,17	0,000
DC_3 - Ca_2	-130,6	10,7	(-151,6; -109,6)	-12,22	0,000
FE_3 - Ca_2	-268,7	10,7	(-289,6; -247,7)	-25,13	0,000
DC_2 - AC_2	-28,1	10,8	(-49,2; -6,9)	-2,61	0,009
FE_2 - AC_2	-180,4	10,8	(-201,5; -159,2)	-16,75	0,000
Ca_3 - AC_2	75,6	10,7	(54,7; 96,6)	7,08	0,000
AC_3 - AC_2	-12,4	10,7	(-33,4; 8,6)	-1,16	0,246
DC_3 - AC_2	-45,0	10,7	(-66,0; -24,1)	-4,21	0,000
FE_3 - AC_2	-183,1	10,7	(-204,1; -162,1)	-17,13	0,000

FE_2 - DC_2	-152,3	10,8	(-173,5; -131,2)	-14,14	0,000
Ca_3 - DC_2	103,7	10,7	(82,7; 124,7)	9,70	0,000
AC_3 - DC_2	15,6	10,7	(-5,3; 36,6)	1,46	0,144
DC_3 - DC_2	-17,0	10,7	(-38,0; 4,0)	-1,59	0,113
FE_3 - DC_2	-155,1	10,7	(-176,0; -134,1)	-14,51	0,000
Ca_3 - FE_2	256,0	10,7	(235,0; 277,0)	23,95	0,000
AC_3 - FE_2	168,0	10,7	(147,0; 188,9)	15,71	0,000
DC_3 - FE_2	135,3	10,7	(114,3; 156,3)	12,66	0,000
FE_3 - FE_2	-2,7	10,7	(-23,7; 18,2)	-0,26	0,797
AC_3 - Ca_3	-88,1	10,6	(-108,9; -67,2)	-8,30	0,000
DC_3 - Ca_3	-120,7	10,6	(-141,5; -99,9)	-11,38	0,000
FE_3 - Ca_3	-258,8	10,6	(-279,6; -237,9)	-24,40	0,000
DC_3 - AC_3	-32,6	10,6	(-53,4; -11,8)	-3,08	0,002
FE_3 - AC_3	-170,7	10,6	(-191,5; -149,9)	-16,09	0,000
FE_3 - DC_3	-138,1	10,6	(-158,9; -117,3)	-13,02	0,000

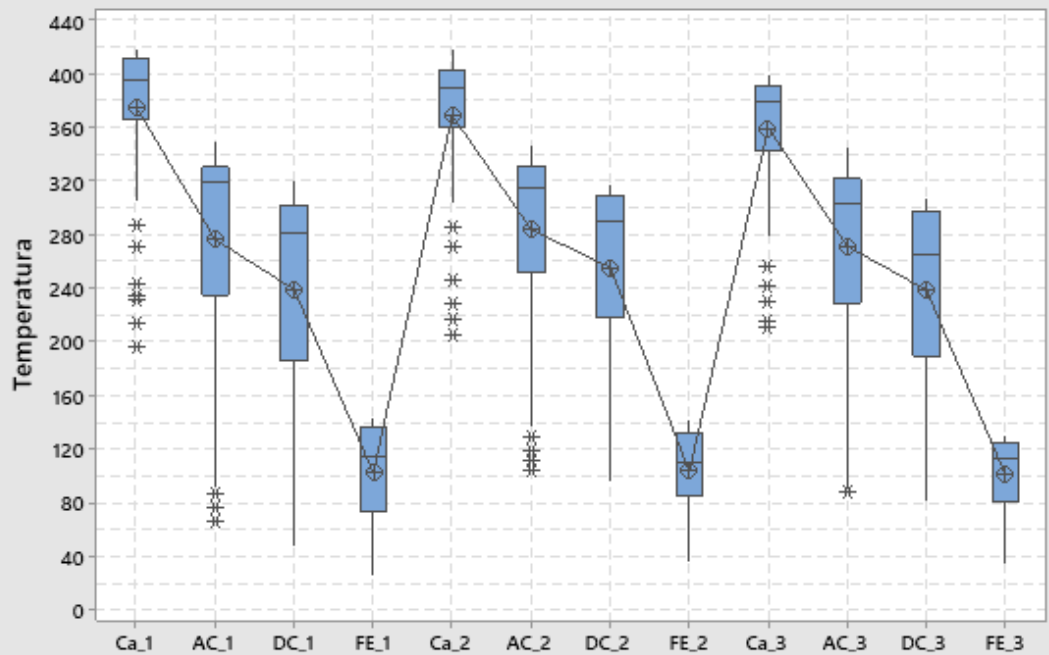
Nivel de confianza simultánea = 28,13%



Gráfica de valores individuales de Pruebas en ruta con el sistema de escape original

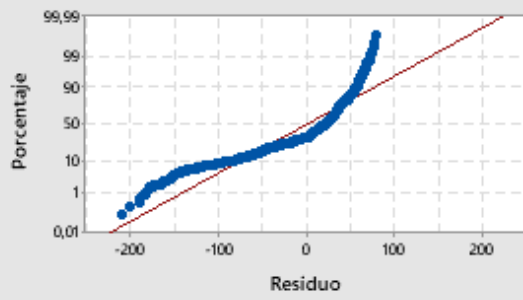


Gráfica de caja de Pruebas en ruta con el sistema de escape original

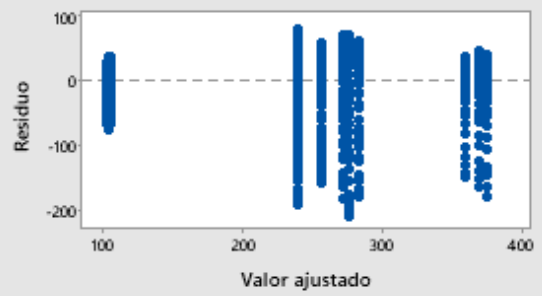


# Gráficas de residuos para Pruebas en ruta con el sistema de escape original

## Gráfica de probabilidad normal



## vs. ajustes



## Histograma

