



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**SELECCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
SOBREALIMENTACIÓN A UNA MOTOCICLETA LONCIN LX
250 PY PARA LA EMPRESA MOTOACCESORIOS CON EL
FIN DE REDUCIR LA EMISIÓN DE CONTAMINANTES Y
COMPENSAR LA CAÍDA DE POTENCIA EN APLICACIONES
DE ALTITUD**

AUTOR: LÓPEZ AYALA MAURICIO WLADIMIR

DIRECTOR: CRNL. (S.P) Ing. DÍAZ TOCACHI JUAN

SANGOLQUÍ

2017



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA


DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CERTIFICADO DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

Certifico que el trabajo de titulación: **“SELECCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SOBREALIMENTACIÓN A UNA MOTOCICLETA LONCIN LX 250 PY PARA LA EMPRESA MOTOACCESORIOS CON EL FIN DE REDUCIR LA EMISIÓN DE CONTAMINANTES Y COMPENSAR LA CAÍDA DE POTENCIA EN APLICACIONES DE ALTITUD”**, realizado por el señor **LÓPEZ AYALA MAURICIO WLADIMIR**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **LÓPEZ AYALA MAURICIO WLADIMIR** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 2017-03-23



CRNL. (S.P) Ing. Juan Díaz Tocachi
DIRECTOR DEL PROYECTO



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **MAURICIO WLADIMIR LÓPEZ AYALA**, con cédula de identidad N° 1723256218, declaro que este trabajo de titulación: **“SELECCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SOBREALIMENTACIÓN A UNA MOTOCICLETA LONCIN LX 250 PY PARA LA EMPRESA MOTOACCESORIOS CON EL FIN DE REDUCIR LA EMISIÓN DE CONTAMINANTES Y COMPENSAR LA CAÍDA DE POTENCIA EN APLICACIONES DE ALTITUD”**, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 2017-03-23

MAURICIO WLADIMIR LÓPEZ AYALA

C.I: 1723256218



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **MAURICIO WLADIMIR LÓPEZ AYALA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación: **“SELECCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SOBREALIMENTACIÓN A UNA MOTOCICLETA LONCIN LX 250 PY PARA LA EMPRESA MOTOACCESORIOS CON EL FIN DE REDUCIR LA EMISIÓN DE CONTAMINANTES Y COMPENSAR LA CAÍDA DE POTENCIA EN APLICACIONES DE ALTITUD”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 2017-03-23

Una firma manuscrita en tinta azul que parece leer 'Mauricio Wladimir López Ayala'.

MAURICIO WLADIMIR LÓPEZ AYALA

C.I: 1723256218



Quito, 1 de Marzo del 2017

Señores:
Carrera de Ingeniería Mecánica
Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE
Presente.-

De mi consideración:

Asunto: Conformidad de la elaboración del proyecto de grado.

Por la presente, yo, Milton Garrido, gerente de **MOTOACCESORIOS**, expreso mis más cordiales saludos y a la vez manifiesto que conforme a los trabajos realizados, he recibido de manera conforme para la empresa el proyecto: **“SELECCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SOBREALIMENTACIÓN A UNA MOTOCICLETA LONCIN LX 250 PY PARA LA EMPRESA MOTOACCESORIOS CON EL FIN DE REDUCIR LA EMISIÓN DE CONTAMINANTES Y COMPENSAR LA CAÍDA DE POTENCIA EN APLICACIONES DE ALTITUD”**, el cual fue realizado por el señor **MAURICIO WLADIMIR LÓPEZ AYALA** con **CI: 1723256218**, como requisito previo a la obtención del título de ingeniero mecánico.

Por lo anteriormente expuesto, cumpla con informar sobre la aceptación del proyecto y con las estimas de mi mayor consideración, me suscribo a ustedes.

Atentamente,

Milton Garrido
GERENTE MOTOACCESORIOS
0999448409

DEDICATORIA

A mi madre Nancy, mujer trabajadora, que me ha dado su apoyo incondicional para la construcción de mi vida profesional, es ella la persona más importante en mi vida.

A mi padre, a mis hermanos, a mi sobrino, que con su unión familiar fortalecieron mi camino de superación.

MAURICIO WLADIMIR LÓPEZ AYALA

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la oportunidad de respirar y vivir, a mi tío Eduardo que ha estado en las buenas y en las malas para ayudarme enormemente, a mi tía Mariana por sus sabias palabras, a los Ingenieros Juan Díaz y Alberto Naranjo por su guía profesional, y a Moto Accesorios por el auspicio del presente proyecto.

MAURICIO WLADIMIR LÓPEZ AYALA

INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO DE LA ELABORACION DEL PROYECTO.....	ii
AUTORIA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACION.....	iv
CONFORMIDAD DE LA ELABORACION DEL PROYECTO.....	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
INDICE DE CONTENIDOS	viii
INDICE DE FIGURAS.....	xii
INDICE DE TABLAS.....	xvii
GLOSARIO	xx
RESUMEN.....	xxiii
ABSTRACT.....	xxiv
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3 JUSTIFICACION E IMPORTANCIA DEL PROYECTO.....	5
1.4 OBJETIVOS.....	7
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	7
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
1.5 ALCANCE.....	8
1.6 METODOLOGÍA	8
CAPÍTULO II.....	11
MARCO TEÓRICO	11
2.1 MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA (MCI)	11
2.2 MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO (MEP) DE 4 TIEMPOS A GASOLINA.....	12
2.3 LA MOTOCICLETA	12
2.3.1 ESTRUCTURA JERÁRQUICA DE LA MOTOCICLETA CATEGORÍA L3	13
2.3.1.1 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.....	13
2.3.1.2 SISTEMA DE ESCAPE	16
2.3.1.3 SISTEMA DE LUBRICACIÓN	17

2.3.1.4	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	18
2.4	EL AIRE	18
2.5	COMBUSTIÓN EN UN MEP 4T A GASOLINA.....	19
2.5.1	CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE (C.E.C).....	21
2.5.2	RELACIÓN LAMBDA (λ)	21
2.6	SOBREALIMENTACIÓN	22
2.6.1	MÉTODOS DE SOBREALIMENTACIÓN.....	23
2.6.1.1	MÉTODOS MECÁNICOS DE SOBREALIMENTACIÓN.....	23
2.6.1.2	MÉTODOS QUÍMICOS DE SOBREALIMENTACIÓN	46
CAPÍTULO III	48
	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE SOBREALIMENTACIÓN	48
3.1	DISEÑO DEL SISTEMA	48
3.1.1	ESPECIFICACIONES DE LA MOTOCICLETA ATMOSFÉRICA	48
3.1.2	PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR.....	49
3.1.3	CONDICIONES AMBIENTALES DE OPERACIÓN.....	49
3.1.4	MODELO MATEMÁTICO	50
3.1.4.1	FLUJO VOLUMÉTRICO DE ENTRADA DE AIRE AL MOTOR..	50
3.1.4.2	RELACIÓN DE PRESIÓN (RP) DEL COMPRESOR	50
3.1.4.3	FLUJO VOLUMÉTRICO BAJO IMPULSO	52
3.1.4.4	TEMPERATURA DEL AIRE DESPUÉS DE PASAR POR EL COMPRESOR.....	52
3.1.4.5	RELACIÓN DE LA DENSIDAD EN EL COMPRESOR.....	53
3.1.4.6	FLUJO MÁSIKO DE ENTRADA DE AIRE AL MOTOR.....	53
3.1.4.7	FLUJO MÁSIKO BAJO IMPULSO.....	54
3.1.4.8	FLUJO MÁSIKO CORREGIDO DE ENTRADA DE AIRE AL MOTOR SOBREALIMENTADO	54
3.1.5	SELECCIÓN DEL MÉTODO DE SOBREALIMENTACIÓN.....	55
3.1.6	COMPORTAMIENTO ESTIMADO DE LA MOTOCICLETA SOBREALIMENTADA.....	59
3.1.7	CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE SOBREALIMENTACIÓN .	61
3.2	SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE LOS ACCESORIOS DEL TURBOCOMPRESOR	62
3.2.1	SELECCIÓN DE BRIDAS, EMPAQUES Y TORNILLOS.....	62
3.2.1.1	BRIDA, EMPAQUE Y TORNILLOS PARA LA ENTRADA DE LA TURBINA.....	62

3.2.1.2 BRIDA, EMPAQUE Y TORNILLOS PARA LA SALIDA DE LA TURBINA.....	62
3.2.1.3 BRIDA, EMPAQUE Y TORNILLOS PARA LA ENTRADA DEL COMPRESOR.....	62
3.2.1.4 BRIDA, EMPAQUE Y TORNILLOS PARA LA SALIDA DEL COMPRESOR.....	63
3.2.1.5 BRIDA, EMPAQUE Y TORNILLOS PARA EL DUCTO DE ADMISIÓN.....	63
3.2.2 CONSTRUCCIÓN DEL ACOPLE CILINDRO – TURBINA.....	64
3.2.3 CONSTRUCCIÓN DE DUCTOS.....	65
3.2.3.1 CONSTRUCCIÓN DEL DUCTO DE ESCAPE.....	65
3.2.3.2 CONSTRUCCIÓN DEL DUCTO DE SALIDA DEL COMPRESOR.....	67
3.2.3.3 CONSTRUCCIÓN DEL DUCTO DE ENTRADA AL CILINDRO.....	69
3.2.4 SELECCIÓN DE NEPLOS.....	70
3.2.5 SELECCIÓN DE MANGUERAS.....	71
3.2.6 SELECCIÓN DEL MANÓMETRO.....	71
3.2.7 SELECCIÓN DEL LUBRICANTE PARA LA MOTOCICLETA SOBREALIMENTADA.....	72
3.2.8 SELECCIÓN DEL LUBRICANTE DEL TURBOCOMPRESOR.....	74
3.2.9 SELECCIÓN DE LA BUJÍA PARA LA MOTOCICLETA SOBREALIMENTADA.....	74
3.2.10 SELECCIÓN DEL CARBURADOR.....	76
3.2.10.1 SELECCIÓN DEL CALIBRE (CHICLÉ) DEL CARBURADOR.....	76
CAPÍTULO IV	79
MONTAJE, PUESTA A PUNTO Y PRUEBAS	79
4.1 MONTAJE DEL SISTEMA DE SOBREALIMENTACIÓN.....	79
4.1.1 MONTAJE DEL SISTEMA DE ESCAPE.....	79
4.1.2 MONTAJE DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.....	80
4.1.3 MONTAJE DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN.....	81
4.2 RODAJE Y PUESTA A PUNTO DE LA MOTOCICLETA SOBREALIMENTADA.....	82
4.3 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	83
4.3.1 PRUEBAS DE LABORATORIO.....	84
4.3.1.1 PRUEBAS EN EL DINAMÓMETRO DE RODILLOS.....	84

4.3.1.2 PRUEBAS PARA EL CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE.....	89
4.3.1.3 PRUEBAS PARA EL NIVEL DE RUIDO EN EL ESCAPE.....	92
4.3.1.4 PRUEBAS DE LOS GASES DE ESCAPE	95
4.3.2 PRUEBA DE CARRETERA.....	102
4.3.2.1 PRUEBAS DEL RENDIMIENTO DE COMBUSTIBLE.....	102
4.3.3 PRUEBAS DE DESEMPEÑO	105
4.3.3.1 PRUEBAS DE ACELERACIÓN.....	105
CAPÍTULO V	109
ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO DEL PROYECTO	109
5.1 ESTUDIO ECONÓMICO	109
5.1.1 COSTO DIRECTO.....	109
5.1.1.1 COSTO DE MATERIALES DIRECTOS.....	109
5.1.1.2 COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA	111
5.1.2 COSTO INDIRECTO	112
5.1.2.1 COSTO DE MATERIALES INDIRECTOS	112
5.1.2.2 COSTO DE MANO DE OBRA INDIRECTA.....	112
5.1.2.3 COSTOS INDIRECTOS DEL PROYECTO	112
5.1.3 COSTO TOTAL	113
5.2 ESTUDIO FINANCIERO	113
5.3 ANALISIS COSTO – VOLUMEN – UTILIDAD	113
CAPÍTULO VI	116
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	116
6.1 CONCLUSIONES.....	116
6.2 RECOMENDACIONES	119
BIBLIOGRAFÍA.....	120

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Presión atmosférica en función de la altitud.....	2
Figura 2	Potencia al freno del motor de una motocicleta en función de la densidad del aire.....	4
Figura 3	Vehículos matriculados en el Ecuador según la clase.....	5
Figura 4	Clasificación de los MCI.....	11
Figura 5	Geometría básica de un MEP.....	12
Figura 6	Motocicleta Loncin LX 250 PY.....	12
Figura 7	Estructura jerárquica de la motocicleta categoría L3.....	13
Figura 8	Esquema del sistema de alimentación de un MEP 4T.....	14
Figura 9	Fenómenos que permiten el funcionamiento del carburador...	15
Figura 10	Tipos de carburadores de motocicletas.....	15
Figura 11	Sistema de escape típico de una motocicleta con MEP 4T.....	16
Figura 12	Sistema de lubricación a presión con cárter húmedo.....	18
Figura 13	Motor de motocicleta Derbi refrigerada por aire.....	18
Figura 14	Potencia al freno y consumo específico de combustible en función de la relación λ	21
Figura 15	Concentración de contaminantes en un motor a gasolina en función de la relación λ	22
Figura 16	Diferencia típica entre las curvas de torque al freno (T_f) de un motor atmosférico y un turbocargado.....	22
Figura 17	Potencia al freno (P_f) de un MEP 4T de 1600 cc con y sin turbocompresor.....	23
Figura 18	Clasificación de los métodos mecánicos de sobrealimentación.....	23
Figura 19	Funcionamiento básico del turbocompresor.....	24
Figura 20	Elementos que componen el turbocompresor de geometría fija.....	25
Figura 21	Accionamiento neumático de la válvula wastegate.....	26
Figura 22	Accionamiento eléctrico de la válvula wastegate.....	27
Figura 23	Turbocompresor de geometría variable.....	28

Figura 24	Diámetros fundamentales de los impulsores del turbocompresor.....	29
Figura 25	Diámetro del exductor de la turbina vs el flujo del compresor....	30
Figura 26	Relación “A/R” en las carcasas del turbocompresor.....	30
Figura 27	Tiempo de retardo del turbocompresor de geometría variable según su dimensión.....	32
Figura 28	Temperaturas de operación del turbocompresor.....	32
Figura 29	Presión de sobrealimentación (PS) vs presión en la entrada de la turbina.....	33
Figura 30	Puntos de máxima eficiencia (temperatura vs presión de sobrealimentación).....	33
Figura 31	Eficiencia del compresor (relación de presión vs temperatura de descarga del compresor).....	34
Figura 32	Mapa de flujo del compresor de un turbocompresor.....	37
Figura 33	Mapa de flujo de la turbina de un turbocompresor.....	38
Figura 34	Reducción de la presión de aceite mediante un restrictor.....	39
Figura 35	Líneas de lubricación – disposición.....	39
Figura 36	Descarga del lubricante hacia el depósito.....	40
Figura 37	Sistema turbocargado con interenfriador.....	40
Figura 38	Válvula blow-off, abierta y cerrada.....	41
Figura 39	Octanaje necesario en función de la presión de sobrealimentación y la relación de compresión.....	42
Figura 40	Compresor recíprocante.....	43
Figura 41	Estructura de un compresor Roots.....	44
Figura 42	Estructura de un compresor Lysholm.....	44
Figura 43	Estructura de un compresor tipo “G”.....	44
Figura 44	Dinámica del aire en un compresor centrífugo.....	45
Figura 45	Dinámica del aire en un compresor axial.....	45
Figura 46	Compresor comprex.....	46
Figura 47	Elementos anteriores al compresor.....	50
Figura 48	Ubicación del punto de diseño en el mapa de flujo del turbo IHI RHB31.....	57

Figura 49	Ubicación del punto de diseño en el mapa de flujo del turbo Ecotrons VZ21.....	57
Figura 50	Ubicación del punto de diseño en el mapa de flujo del turbo Garrett GT0632SZ.....	58
Figura 51	Turbocompresor Ecotrons VZ21.....	59
Figura 52	Comportamiento estimado de la potencia de la motocicleta sobrealimentada.....	59
Figura 53	Configuración del sistema de sobrealimentación.....	61
Figura 54	Brida, empaque y tornillos para la entrada de la turbina.....	62
Figura 55	Brida, empaque y tornillos para la salida de la turbina.....	62
Figura 56	Brida, empaque y tornillos para la entrada del compresor.....	62
Figura 57	Procesos para la fabricación de la brida de la salida del compresor.....	63
Figura 58	Brida, empaque y tornillos para la salida del compresor.....	63
Figura 59	Brida, empaque y tornillos para el ducto de admisión.....	63
Figura 60	Procesos para la fabricación de la brida para el ducto de admisión.....	64
Figura 61	Procesos para la fabricación del neplo cilindro - turbina.....	64
Figura 62	Elementos del acople cilindro – Turbina.....	65
Figura 63	Procesos para la fabricación del acople cilindro - turbina.....	65
Figura 64	Procesos para la fabricación del ducto de escape.....	66
Figura 65	Procesos para la fabricación del ducto de escape – brida.....	66
Figura 66	Proceso para la fabricación del ducto de salida del compresor.....	67
Figura 67	Proceso para la fabricación del ducto de salida del compresor – brida.....	68
Figura 68	Proceso para la fabricación del ducto de entrada al cilindro....	69
Figura 69	Proceso para la fabricación del ducto de entrada al cilindro brida.....	70
Figura 70	Neplo rosca M8 para manguera 1/2”.....	70
Figura 71	Neplo para la salida de aceite del turbocompresor.....	70
Figura 72	Neplo de rosca 1/4” NPT para manguera de Φ 1/2”.....	70

Figura 73	Codo de cobre de rosca 1/2" NPT para neplo de rosca 1/2" NPT.....	71
Figura 74	Neplo de rosca 1/2" NPT para manguera de Φ 3/4".....	71
Figura 75	"Te" de cobre para manguera de Φ 1/2".....	71
Figura 76	Manguera de Φ 3/4", hasta 200 psi de trabajo.....	71
Figura 77	Manómetro bourdon de 0 a 10psi.....	71
Figura 78	Bujía de la motocicleta sin sobrealimentar.....	74
Figura 79	Presencia de carbonilla en la bujía de la motocicleta sin sobrealimentar.....	75
Figura 80	Bujía de iridio NGK DR9EIX para la motocicleta Loncin LX 250 PY TURBO.....	76
Figura 81	Carburador de tiro directo.....	76
Figura 82	Calibre o chiclé de un carburador.....	76
Figura 83	Diagrama del proceso de montaje del sistema de escape.....	79
Figura 84	Diagrama del proceso de montaje del sistema de alimentación.....	80
Figura 85	Diagrama del proceso de montaje del sistema de lubricación...	82
Figura 86	Regulación de la holgura del acelerador en la funda del cable de mando.....	83
Figura 87	Motocicleta Loncin LX 250 PY acoplada al dinamómetro de rodillos Dynamite 2450.....	84
Figura 88	Comparativa en la prueba de medición de la potencia.....	87
Figura 89	Comparativa en la prueba de medición del torque.....	88
Figura 90	Banco de pruebas para la medición del flujo másico de combustible.....	89
Figura 91	Comparativa en la prueba de medición del consumo específico de combustible.....	91
Figura 92	Medición del nivel de ruido con el sonómetro Thomas Scientific.....	92
Figura 93	Medición de ruido en vehículos – ISO 5130: 2007.....	93
Figura 94	Comparativa en la prueba de medición del nivel de ruido.....	94
Figura 95	Aparato de Orsat, Nextech NGA 6000.....	95

Figura 96	Comparativa en la prueba de medición del monóxido de carbono.....	98
Figura 97	Comparativa en la prueba de medición de hidrocarburos no quemados.....	99
Figura 98	Comparativa en la prueba de medición del dióxido de carbono.....	100
Figura 99	Comparativa en la prueba de medición del oxígeno.....	101
Figura 100	Tablero de control Loncin LX 250 PY.....	102
Figura 101	Comparativa en la prueba del rendimiento del combustible...	103
Figura 102	Cronómetro Casio HS-70W.....	105
Figura 103	Comparativa en la prueba de aceleración en función de la distancia.....	107
Figura 104	Análisis costo – volumen – utilidad.....	115

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación de los vehículos.....	1
Tabla 2	Potencia al freno de un MEP en distintos sitios del Ecuador.....	3
Tabla 3	Número de vehículos motorizados matriculados, por uso, según clase.....	5
Tabla 4	Rangos de calificación del nivel del ruido en las motocicletas.....	6
Tabla 5	Rangos de calificación de hidrocarburos no combustionados (HC) en las motocicletas.....	7
Tabla 6	Rangos de calificación del monóxido de carbono (CO) en las motocicletas.....	7
Tabla 7	Rangos de calificación del oxígeno (O ₂) en las motocicletas.....	7
Tabla 8	Composición del aire a nivel del mar.....	19
Tabla 9	Características ambientales de sitios específicos del Ecuador.....	20
Tabla 10	Rangos de sobrealimentación.....	24
Tabla 11	Presión y flujo mínimo del lubricante del turbocompresor.....	39
Tabla 12	Especificaciones de la motocicleta a sobrealimentar.....	48
Tabla 13	Combinex matrix para encontrar el factor de peso de cada parámetro de decisión para la selección del sistema de sobrealimentación.....	55
Tabla 14	Matriz de decisión para la selección del sistema de sobrealimentación de la motocicleta, basada en los métodos de sobrealimentación.....	55
Tabla 15	Características técnicas de los turbocompresores preseleccionados.....	56
Tabla 16	Lubricantes para motocicletas y sus características.....	72
Tabla 17	Combinex matrix para la selección del lubricante de la motocicleta sobrealimentada.....	73
Tabla 18	Matriz de decisión para la selección del lubricante de la motocicleta sobrealimentada.....	73

Tabla 19	Características de la bujía de la motocicleta sin sobrealimentar.....	74
Tabla 20	Características de la bujía de la motocicleta Yamaha TT-R 230 según NGK.....	75
Tabla 21	Datos de la motocicleta atmosférica – dinamómetro de rodillos.....	85
Tabla 22	Datos de la motocicleta turbo – dinamómetro de rodillos.....	86
Tabla 23	Comparativa en la prueba de medición de la potencia.....	87
Tabla 24	Comparativa en la prueba de medición del torque.....	88
Tabla 25	Medición del tiempo de consumo de combustible en la motocicleta atmosférica.....	90
Tabla 26	Medición del tiempo de consumo de combustible en la motocicleta turbo.....	90
Tabla 27	Comparativa en la prueba de medición del consumo específico de combustible.....	91
Tabla 28	Medición del nivel de presión sonora (NPS) en la motocicleta atmosférica.....	93
Tabla 29	Medición del nivel de presión sonora (NPS) en la motocicleta turbo.....	94
Tabla 30	Comparativa en la prueba de medición del nivel de ruido.....	94
Tabla 31	Medición de la composición de los gases de escape en la motocicleta atmosférica.....	96
Tabla 32	Medición de la composición de los gases de escape en la motocicleta turbo.....	97
Tabla 33	Comparativa en la prueba de medición del monóxido de carbono.....	98
Tabla 34	Comparativa en la prueba de medición de hidrocarburos no quemados.....	99
Tabla 35	Comparativa en la prueba de medición del dióxido de carbono.....	100
Tabla 36	Comparativa en la prueba de medición del oxígeno.....	101

Tabla 37	Distancia recorrida por cada 200 ml de combustible en la motocicleta atmosférica.....	103
Tabla 38	Distancia recorrida por cada 200 ml de combustible en la motocicleta turbo.....	103
Tabla 39	Comparativa en la prueba del rendimiento del combustible....	104
Tabla 40	Prueba de aceleración por distancia en la motocicleta atmosférica.....	106
Tabla 41	Prueba de aceleración por distancia en la motocicleta turbo...	106
Tabla 42	Comparativa en la prueba de aceleración en función de la distancia.....	107
Tabla 43	Costo de los materiales directos.....	111
Tabla 44	Costo de mano de obra directa.....	111
Tabla 45	Costo de materiales indirectos.....	112
Tabla 46	Costo de mano de obra indirecta.....	112
Tabla 47	Costos indirectos del proyecto.....	112
Tabla 48	Costo total del proyecto.....	113
Tabla 49	Financiamiento del proyecto.....	113

GLOSARIO

- **INEN:** Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- **Sobrealimentación:** Es un tipo de suministro de aire de un MCI, conocido como “aspiración forzada” ya que utiliza dispositivos que varían las condiciones iniciales del aire en el proceso de admisión.
- **MCI:** Motor de combustión interna.
- **MEP:** Motor de encendido provocado, también llamado motor a gasolina.
- **MEC:** Motor de encendido por compresión, también llamado motor a diesel.
- **MCIA:** Motor de combustión interna alternativo.
- **4T:** El motor realiza cuatro carreras para producir un ciclo termodinámico.
- **2T:** El motor realiza dos carreras para producir un ciclo termodinámico.
- **Motor atmosférico:** Es aquel motor que utiliza el vacío provocado en el proceso de admisión para introducir el fluido motriz en el cilindro.
- **Fluido motriz:** También conocido como fluido de trabajo o fluido activo, es la mezcla de un combustible con un comburente que mediante un encendido produce una reacción química violenta llamada combustión, aumentando la presión y temperatura del sistema en el que trabaja.
- **Densidad:** Es la relación entre la masa y el volumen de una sustancia.
- **Potencia (P):** Es la cantidad de trabajo que se realiza por unidad de tiempo.
- **Potencia al freno (Pf):** Es aquella potencia medida en el volante de inercia de un motor. Representa la diferencia entre la potencia indicada (P_i) (potencia sobre la cabeza del pistón) y la potencia por pérdidas (P_p) (provocadas por la fricción y pérdidas de calor).
- **Torque (T):** También llamado “par motor”, es una medida de la tendencia de la fuerza a producir un momento torsional y rotacional sobre un eje. En otras palabras, el torque es la capacidad de trabajo, mientras que la potencia representa la tasa en la cual este trabajo puede ser realizado.
- **Presión media efectiva (PME):** Es una presión ficticia que, si actuara sobre el pistón durante toda la carrera de potencia (expansión), produciría la misma cantidad de trabajo neto que el producido durante el ciclo real.

-Trabajo: Se dice que una fuerza realiza trabajo cuando altera el estado de movimiento de un cuerpo. El trabajo de la fuerza sobre ese cuerpo será equivalente a la energía necesaria para desplazarlo de manera acelerada.

- INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos.

-INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

-AMT: Agencia Metropolitana de Tránsito

-HP: Caballo de Fuerza (Horse Power), es la potencia que se le atribuye a un caballo, es decir una medida de la velocidad a la cual se supone puede trabajar este animal.

En términos prácticos, un HP es la potencia necesaria para elevar verticalmente a la velocidad de 1 [pie/minuto] un peso de 33 000 [libras]. $1 \text{ [HP]} = 745.7 \text{ [w]}$.

-Carburador: Es un componente del sistema de alimentación de la motocicleta cuyo cuerpo está fabricado generalmente de aleaciones ligeras (aluminio con antimonio), su función es preparar la mezcla de aire – gasolina en una proporción adecuada de acuerdo al régimen de velocidad del motor.

-Mezcla estequiométrica: Teóricamente se necesita 15.0429 [Kg] de aire por cada kilogramo de gasolina para que se produzca una combustión completa. La relación de aire - gasolina (A/C) (15.0429/1) se la conoce como mezcla estequiométrica del fluido motriz, valores mayores a esta relación se los conoce como mezclas pobres y valores menores se los conoce como mezclas ricas.

-Eficiencia volumétrica: Es un parámetro expresado en porcentaje que sirve para medir la efectividad en el proceso de suministro de aire de un motor, pues intervienen elementos como: filtro de aire, carburador, válvula mariposa, campana, ducto de admisión, válvula de admisión, etc. Dichos elementos dificultan el ingreso de la cantidad de aire en cada ciclo.

-Eficiencia Térmica: Es un parámetro expresado en porcentaje que sirve para medir la efectividad en el proceso de “conversión de la energía”, por ello muchos autores la identifican como la “eficiencia de conversión del combustible”, que no es más que la relación entre la energía producida por el motor y la energía suministrada al motor.

-Poder calorífico: También conocido como “poder calorífico superior”, es la cantidad de energía en forma de calor que la unidad de masa de una determinada materia puede desprender al producirse una reacción química de oxidación. Esta energía es igual a la energía que mantenía unidos los átomos en las moléculas de combustible (energía de enlace), y parte de esta energía desprendida se utiliza en la formación de nuevas moléculas (generalmente gases), obteniendo como resultado una cantidad de calor realmente aprovechable conocido como “poder calorífico inferior”.

-Combustión: Es una reacción química de oxidación fuertemente exotérmica, la cual debe cumplir con ciertas condiciones para que pueda iniciar y para que pueda mantenerse como una reacción auto-sostenible

-PS: Presión de sobrealimentación, también conocida como “Boost” (aumento), es una presión manométrica generada por un sobrealimentador que se obtiene por la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica en el múltiple de admisión.

-Turbocompresor: Es una bomba de aire diseñada para aportar un gran volumen de aire a presión, aumentando así la presión en las cámaras de combustión del motor y por ende su densidad.

-Centrífugo: Se denominan “centrífugos” porque las fuerzas generadas tienden a alejarse del eje (rotor) alrededor del cual giran.

RESUMEN

En el presente proyecto se investigó: la mecánica del vehículo categoría L3, los efectos de la variación de la altitud en los motores de encendido provocado (MEP) atmosféricos, sistemas de sobrealimentación. Posteriormente se calculó, seleccionó e implementó el sistema de sobrealimentación óptimo para la motocicleta Loncin LX 250 PY y se validó el estudio mediante pruebas de laboratorio, pruebas de carretera y pruebas de desempeño. Finalmente se realizó el cálculo de los costos involucrados en el proyecto. Todo ello porque la presión atmosférica decrece exponencialmente en función de la altitud y provoca la disminución de la densidad del aire, ocasionando pérdidas de potencia y torque, así como una mayor emisión de contaminantes a través de los gases de escape. Entonces la empresa MOTOACCESORIOS en su afán de ofrecer una solución eficaz a este problema decidió desarrollar un prototipo de motocicleta con un sistema de sobrealimentación.

PALABRAS CLAVE:

- **MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO (MEP)**
- **MOTOR ATMOSFERICO**
- **SISTEMAS DE SOBREALIMENTACION**
- **PRESION ATMOSFERICA**
- **ALTITUD**
- **DENSIDAD DEL AIRE**
- **POTENCIA**
- **TORQUE**
- **CONTAMINANTES**

ABSTRACT

In the present project we investigated: the mechanics of the category L3 vehicle, the effects of altitude variation on atmospheric ignition engines (MEP), and supercharging systems. Then we calculated, selected and implemented the optimum supercharging system for the Loncin LX 250 PY motorcycle. Then the study was validated through laboratory tests, road tests and performance tests. Finally, was calculated the costs involved in the project.

All this because the atmospheric pressure decreases exponentially as a function of the altitude and causes the decrease of the air density, causing losses of power and torque, as well as a greater emission of contaminants through the exhaust gases.

Then the company MOTOACCESORIOS in its eagerness to offer an effective solution to this problem decided to develop a motorcycle prototype with a supercharging system.

KEYWORDS:

- **ATMOSPHERIC IGNITION ENGINE (MEP)**
- **ATMOSPHERIC ENGINE**
- **SUPERCHARGING SYSTEMS**
- **ATMOSPHERIC PRESSURE**
- **ALTITUDE**
- **AIR DENSITY**
- **POWER**
- **TORQUE**
- **CONTAMINANTS**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

La norma técnica ecuatoriana, NTE INEN 2656:2012, la cual se basa en el estudio de la directiva 2007 /46 / CEE de la comunidad económica europea, establece la clasificación de los vehículos terrestres, identificándolos mediante características generales de diseño y uso (R: ruedas, C: cilindrada, V: velocidad, P: peso, Pas: pasajeros), como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 1

Clasificación de los vehículos.

VEHÍCULOS	SUBCATEGORIAS				
	1	2	3	4	5
Categoría L: Vehículos a motor. (R < 4)	R = 2 C ≤ 50 cc V ≤ 50 Km/h	R = 3 C ≤ 50 cc V ≤ 50 Km/h	R = 2 C > 50 cc V > 50 Km/h	R = 3 asimétricas C > 50 cc V > 50 Km/h	R = 3 simétricas C > 50 cc V > 50 Km/h P ≤ 1000 Kg
Categoría M: Vehículos a motor destinados al transporte de personas. (R ≥ 3) (P ≥ 1 ton)	Pas ≤ 8	Pas > 8 P ≤ 5 ton	Pas > 8 P > 5 ton		
Categoría N: Vehículos a motor destinados al transporte de mercancías. (R ≥ 3)	P ≤ 3.5 ton	3.5 ton < P ≤ 12 ton	P > 12 ton		
Categoría O: Remolques.	P ≤ 0.75 ton	0.75 ton < P ≤ 3.5 ton	3.5 ton < P ≤ 10 ton	P > 10 ton	

En el Ecuador, la sobrealimentación de vehículos categoría M y N con motores de encendido por compresión (MEC), es muy común, ya que para su funcionamiento necesitan de un fluido motriz a alta presión.

Por otro lado, la sobrealimentación de vehículos categoría M y N con motores de encendido provocado (MEP), no es común, pero existen, y posteriormente veremos que tienen importantes ventajas en comparación con los MEP atmosféricos.

Finalmente, la sobrealimentación de vehículos categoría L, es inexistente, siendo el vehículo más común en nuestro medio el tipo L3 con MEP 4T.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En la ecuación 1 y figura 1 podemos observar que la presión atmosférica (P2) decrece exponencialmente en función de la altitud (z2).

$$P2 = P1 \cdot e^{-\frac{g \cdot N \cdot z2}{R \cdot T1}} \quad [Pa] \quad Ec. 1$$

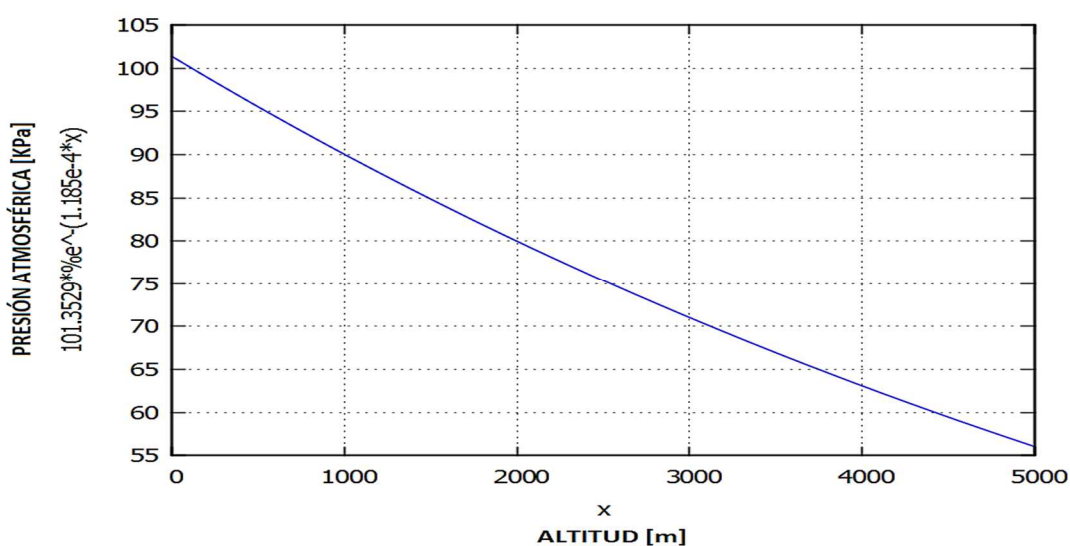


Figura 1: Presión atmosférica en función de la altitud.

Dónde: (P1 y T1) es la presión y temperatura atmosférica a nivel del mar (P1=101352.9 [Pa] = 14.7 [PSI] = 1 [Atm]) (T1= 288.15 [°K] = 15 [°C]), (g) gravedad (g=9.8 [$\frac{m}{s^2}$]), (N) masa molecular del aire (N=0.028967 [$\frac{Kg}{mol}$]) y (R) constante universal de los gases ideales (R=8.314 [$\frac{Pa \cdot m^3}{mol \cdot K}$]).

Esta disminución de la presión atmosférica a medida que aumenta la altitud, disminuye la densidad del aire, como lo podemos ver en la siguiente ecuación:

$$\rho_{\text{aire seco}} = \frac{P}{(287.0163) T} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right] \quad \text{Ec. 2}$$

Y esto representa un problema, porque la máxima potencia y torque que se puede obtener en un MEP 4T puede estar limitada por la cantidad de combustible que puede ser quemado eficientemente dentro de la cámara de combustión, lo que a su vez depende, entre otros factores, de la densidad del aire que es introducido dentro del cilindro en cada uno de los ciclos, como lo demuestran las siguientes ecuaciones:

$$Pf = \frac{n_t \cdot n_v \cdot N \cdot Vdt \cdot \dot{Q}_{\text{neto}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot (C/A)}{2 [\text{rev}]} \quad [\text{w}] \quad \text{Ec. 3}$$

$$Tf = \frac{n_t \cdot n_v \cdot Vdt \cdot \dot{Q}_{\text{neto}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot (C/A)}{4\pi} \quad [\text{J}] [\text{N.m}] \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde: (η_t) eficiencia térmica en [%/100], (η_v) eficiencia volumétrica en [%/100], (N) velocidad rotacional del cigüeñal en [rev/s], (Vdt) volumen desplazado total en [m^3], (\dot{Q}) poder calórico inferior del combustible en [J/Kg], (ρ) densidad del aire en [Kg/m^3], (C/A) relación combustible – aire.

Tabla 2

Potencia al freno de un MEP en distintos sitios del Ecuador.

LUGAR	ALTURA [m.s.n.m]	PRESIÓN ATMOSFÉRICA [KPa]	T ambiente [°C]	Densidad el aire [Kg/m ³]	Pf [HP]	Caída de Potencia [%]
GUAYAQUIL	6	101.2809	26.5	1.1781	16.5259	0.0000
NUEVA LOJA	580	94.6209	23.7	1.1110	15.5849	5.6941
PUYO	960	90.4546	21.2	1.0711	15.0253	9.0805
LOJA	2160	78.4647	16.4	0.9445	13.2498	19.8239
GUARANDA	2504	75.3305	13.8	0.9150	12.8359	22.3286
QUITO	2789	72.8288	15.3	0.8800	12.3451	25.2988
TULCÁN	3000	71.0304	11.8	0.8689	12.1882	26.2480
TELEFÉRICO DE QUITO	4000	63.0941	7.6	0.7833	10.9884	33.5079
REFUGIO JOSÉ RIVAS (COTOPAXI)	4500	59.4645	5.2	0.7446	10.4457	36.7923

La tabla 2 fue calculada en base a un motor de motocicleta monocilindro de 230 cc que gira a 6500 rpm, con una eficiencia volumétrica del 85%, una eficiencia térmica del 35%, relación aire / combustible (A/C) de 15/1 y poder calorífico inferior del combustible de 42.5 [MJ/Kg]. Dicho motor funcionando en distintos sitios del Ecuador desarrolla diferentes potencias al freno, lo que se debe al cambio de la densidad del aire como lo podemos ver en la figura 2:

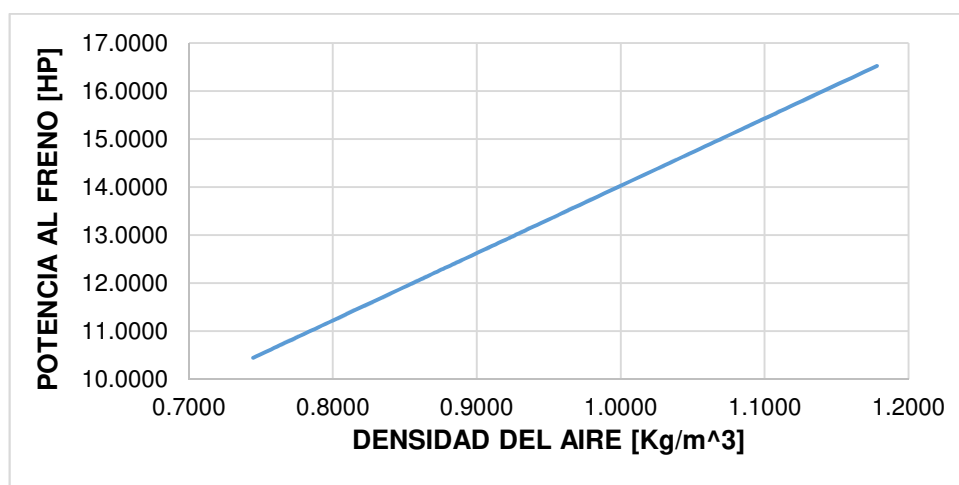
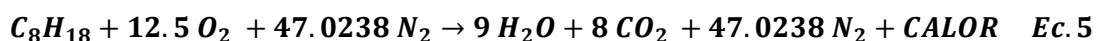


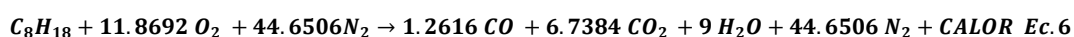
Figura 2: Potencia al freno del motor de una motocicleta en función de la densidad del aire.

Esta caída de la densidad del aire provoca por ejemplo en la ciudad de Quito una caída de la potencia del motor en un 25% aproximadamente.

Por otro lado, la fórmula química 5, representa una combustión completa exacta o estequiométrica de la gasolina (C₈H₁₈), la cual establece la relación aire - combustible (A/C= 15.0429 [g] / 1 [g]). Podemos ver que los únicos productos de la combustión son: agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), y calor:



Pero la disminución de la densidad del aire, provoca una disminución de la concentración de oxígeno, produciendo combustiones incompletas, las cuales son más contaminantes, como lo podemos ver en la siguiente ecuación química, la cual corresponde a una deficiencia de aire del 5.0468%:



1.3 JUSTIFICACION E IMPORTANCIA DEL PROYECTO

La pérdida de potencia y torque en ciudades de altitud, anima al conductor de la motocicleta a visitar al mecánico, el cual para “solucionar el problema” hace modificaciones en el sistema de suministro de combustible para aumentar la cantidad de gasolina, dicha técnica generalmente carece de sustento científico, lo que provoca el aumento del consumo de combustible y la contaminación hacia el medio ambiente.

Esta contaminación se torna importante porque solo en el año 2014 el número de vehículos matriculados en el Ecuador fue de 1.752.712, de los cuales el 23% (405.173) fueron motocicletas como lo demuestra la tabla 3 y figura 3:

Tabla 3

Número de vehículos motorizados matriculados, por uso, según clase.

CLASE	TOTAL	USO DEL VEHÍCULO					
		PARTICULAR	ALQUILER	ESTADO	MUNICIPIO	GOBIERNOS SECCIONALES	OTROS
TOTAL	1.752.712	1.656.929	64.363	24.655	5.950	765	50
AUTOMÓVIL	529.521	504.914	23.989	577	17	1	23
AUTOBUS	11.300	1.404	9.100	716	68	11	1
CAMIÓN	78.652	64.541	12.641	954	467	46	3
CAMIONETA	368.890	349.611	6.285	10.680	2.020	280	14
FURGONETA C	32.242	28.300	3.498	384	51	8	1
FURGONETA P	41.374	41.009	217	141	2	1	4
JEEP	260.877	255.743	17	4.463	582	70	2
MOTOCICLETA	405.173	398.049	936	4.894	1.232	61	1
TANQUERO	2.511	1.437	712	185	135	41	1
TRAILER	6.917	2.966	3.819	76	45	11	0
VOLQUETA	9.942	5.653	2.682	580	806	221	0
OTRA CLASE	5.313	3.302	467	1.005	525	14	0

Fuente: Anuario de Estadísticas de Transportes 2014, INEC.

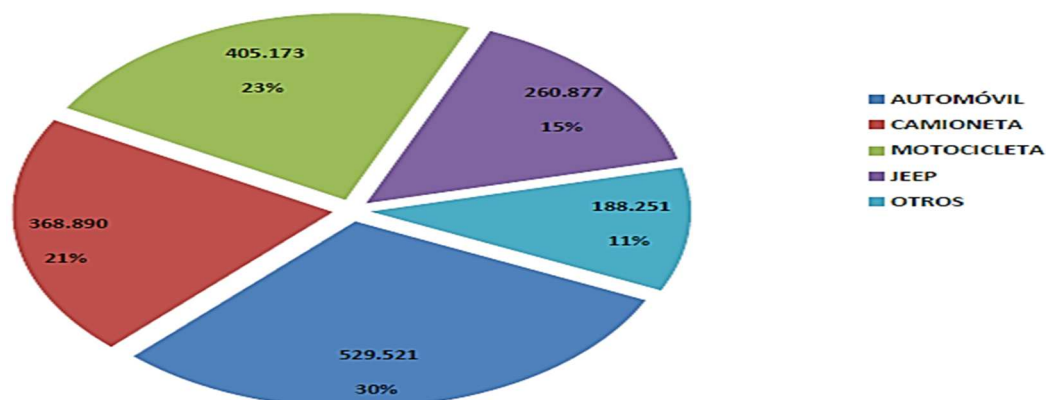


Figura 3: Vehículos matriculados en el Ecuador según la clase.

Fuente: Anuario de Estadísticas de Transportes 2014, INEC.

La motocicleta al ser una máquina térmica que transforma el calor en trabajo mecánico necesita combustionar el fluido motriz para lograr su propósito, y es de esperar que al final de este proceso exista una emisión de contaminantes como: HC¹, CO², CO₂³, H₂O y ruido⁴; los cuales pueden ser reducidos al implementar un sistema de sobrealimentación.

La medición de estos contaminantes se debe realizar bajo la normativa INEN 2204 (automotores) con la motocicleta a velocidad de ralentí, y se establece tres tipos de calificaciones y los rangos de calificación (umbrales):

- **CALIFICACIÓN 0:** OK, el automotor aprueba.
- **CALIFICACIÓN 1:** El automotor aprueba con observación leve.
- **CALIFICACIÓN 2:** El automotor aprueba con observación grave.
- **CALIFICACIÓN 3:** El automotor no aprueba.

Tabla 4

Rangos de calificación del nivel del ruido en las motocicletas.

NIVEL DE RUIDO EN EL ESCAPE – MOTOCICLETAS			
AÑO - MODELO	CALIFICACIÓN	UMBRAL	UNIDAD
Todos	0	$0 \leq X < 75$	dB
Todos	1	$75 \leq X < 85$	dB
Todos	2	$85 \leq X < 90$	dB
Todos	3	$X \geq 90$	dB

Fuente: Agencia Metropolitana de Tránsito (AMT), Instructivo de revisión vehicular 2016.

¹**HC:** Los hidrocarburos procedentes de la combustión del fluido motriz de un MCI son combustibles sin quemar en su estado puro en forma de gases tóxicos y se miden en partículas por millón (ppm).

²**CO:** El monóxido de carbono es un gas incoloro, inodoro, inflamable y altamente tóxico que se produce por la quema incompleta de materiales combustibles y que se mide como un porcentaje del volumen del gas de medición. Los efectos de este gas sobre la salud de las personas depende de la concentración del gas y del tiempo de exposición, pudiendo causar: dolor de cabeza, mareo, cansancio, alucinaciones, convulsiones, pérdida del conocimiento, dificultad respiratoria.

³**CO₂:** El dióxido de carbono es un gas que se encuentra presente en la atmósfera y que naturalmente procede de procesos de quema de materia orgánica con la ayuda del oxígeno, y un ejemplo es la respiración de los seres vivos. Este gas también se produce por la quema artificial de combustibles fósiles y si su emisión no se compensa adecuadamente con la absorción de las plantas, aumentaría su concentración en la atmósfera y contribuiría al calentamiento global del planeta, ya que al no dejar disipar la radiación infrarroja provoca el fenómeno de efecto invernadero al igual que el vapor de agua.

⁴**Ruido:** Proveniente del latín (rugitus) (rugido), se define como la sensación auditiva no deseada. En la actualidad se considera unos de los contaminantes más invasivos del medio ambiente. Ejemplos de generadores de ruido pueden ser: el tránsito de automotores, aviones, maquinaria de construcción, procesos industriales, equipos de sonido fijo y móvil, etc.

Tabla 5

Rangos de calificación de hidrocarburos no combustionados (HC) en las motocicletas.

HIDROCARBUROS NO COMBUSTIONADOS (HC) - MOTOCICLETAS			
AÑO - MODELO	CALIFICACIÓN	UMBRAL	UNIDAD
Todos	0	$0 \leq X < 2000$	ppm
Todos	1	$2000 \leq X < 4000$	ppm
Todos	2	$4000 \leq X < 6000$	ppm
Todos	3	$X \geq 6000$	ppm

Fuente: Agencia Metropolitana de Tránsito (AMT), Instructivo de revisión vehicular 2016**Tabla 6**

Rangos de calificación del monóxido de carbono (CO) en las motocicletas.

MONÓXIDO DE CARBONO (CO) – MOTOCICLETAS			
AÑO - MODELO	CALIFICACIÓN	UMBRAL	UNIDAD
Todos	0	$0 \leq X < 4$	%
Todos	1	$4 \leq X < 6$	%
Todos	2	$6 \leq X < 8$	%
Todos	3	$X \geq 8$	%

Fuente: Agencia Metropolitana de Tránsito (AMT), Instructivo de revisión vehicular 2016**Tabla 7**

Rangos de calificación del oxígeno (O2) en las motocicletas.

OXÍGENO (O2) – MOTOCICLETAS			
AÑO - MODELO	CALIFICACIÓN	UMBRAL	UNIDAD
Todos	0	$0 \leq X < 3$	%
Todos	1	$3 \leq X < 4$	%
Todos	2	$4 \leq X < 5$	%
Todos	3	$X \geq 5$	%

Fuente: Agencia Metropolitana de Tránsito (AMT), Instructivo de revisión vehicular 2016

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar, seleccionar e implementar un sistema de sobrealimentación a una motocicleta Loncin LX 250 PY para la empresa Motoaccesorios.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar los efectos de la variación de la altitud en los MEP atmosféricos.
- Investigar la mecánica del vehículo categoría L3.
- Investigar los métodos de los sistemas de sobrealimentación.
- Diseñar y seleccionar un sistema de sobrealimentación para un vehículo categoría L3.
- Construir accesorios del sistema de sobrealimentación para una motocicleta Loncin LX 250 PY.
- Implementar el sistema de sobrealimentación en la motocicleta.
- Validar el proyecto mediante pruebas de laboratorio, pruebas de carretera y pruebas de desempeño.
- Calcular los costos involucrados.

1.5 ALCANCE

El presente proyecto contempla el diseño, la selección e implementación de un sistema de sobrealimentación para un vehículo categoría L3 con un motor de 250 cc a carburador, así como la validación de la reducción de contaminantes y el aumento de potencia, con el fin de ofrecer al sector motociclístico una solución a los problemas debido a la altitud.

1.6 METODOLOGÍA

1.- Selección del problema: MotoAccesorios propone desarrollar un prototipo de motocicleta con un sistema de sobrealimentación, como solución a los problemas provocados por la altitud.

2.- Clasificación y cuantificación del problema: Mediante la investigación de los efectos de la altitud en un MEP atmosférico, se supo que la caída de potencia del motor de una motocicleta Loncin LX 250 PY en la ciudad más alta del Ecuador, Tulcán, es de aproximadamente el 26%, es decir más de un cuarto de la potencia esperada, lo que a su vez provoca una mayor emisión de contaminantes (CO, HC, CO₂, etc.).

3.- Análisis de la causa raíz: Mediante la investigación de los efectos de la altitud en un MEP atmosférico también se supo que la causa raíz del problema es la disminución de la densidad del aire atmosférico en función de la presión atmosférica por efectos de la altitud.

4.- Establecimiento de niveles exigidos: La potencia máxima esperada por el dueño de la motocicleta Loncin LX 250 PY es la que se establece en la ficha técnica del producto, misma que es medida en el volante de inercia del motor a nivel del mar. Los niveles de contaminación de la motocicleta están contemplados en la normativa INEN 2204 (automotores), la cual establece tres tipos de calificaciones y sus umbrales (rangos).

5.- Definición y programación de las soluciones: Mediante la investigación de la mecánica del vehículo categoría L3 y de los métodos de los sistemas de sobrealimentación, se pudo definir y programar las siguientes soluciones:

- Pruebas en el dinamómetro de rodillos marca Dynamite serie 2450 para medir la potencia y el torque en la rueda de la motocicleta atmosférica. (Fecha: 2016-05-06).
- Pruebas para el consumo específico del combustible (C.E.C) de la motocicleta atmosférica, con un banco de pruebas de medición del flujo másico de combustible. (Fecha: 2016-05-09).
- Pruebas para el nivel de ruido en el escape de la motocicleta atmosférica, con un sonómetro marca Thomas Scientific. (Fecha: 2016-05-10).
- Pruebas en un analizador de gases de escape marca Nextech NGA 6000 para la medición del monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no combustionados (HC), dióxido de carbono (CO₂) y oxígeno (O₂) de la motocicleta atmosférica. (Fecha: 2016-05-11).
- Pruebas de carretera para medir el rendimiento del combustible en la motocicleta atmosférica. (Fecha: 2016-05-14).
- Pruebas de desempeño para medir la capacidad de aceleración de la motocicleta atmosférica. (Fecha: 2016-05-14).
- Diseñar y seleccionar un sistema de sobrealimentación adecuado para el vehículo categoría L3 estableciendo las especificaciones de la motocicleta,

parámetros de funcionamiento del motor, condiciones ambientales de operación, modelo matemático y matrices de decisión.

- Seleccionar algunos accesorios del sistema de sobrealimentación y construir otros.

6.- Implementación y verificación de las soluciones: Se implementó el sistema de sobrealimentación en la motocicleta Loncin LX 250 PY y se verificó las soluciones mediante:

- Pruebas en el dinamómetro de rodillos marca Dynamite serie 2450 para medir la potencia y el torque en la rueda de la motocicleta sobrealimentada (Fecha: 2017-01-31).

- Pruebas para el consumo específico del combustible (C.E.C) de la motocicleta sobrealimentada, con un banco de pruebas de medición del flujo másico de combustible (Fecha: 2017-02-01).

- Pruebas para el nivel de ruido en el escape de la motocicleta sobrealimentada, con un sonómetro marca Thomas Scientific (Fecha: 2017-02-02).

- Pruebas en un analizador de gases de escape marca Nextech NGA 6000 para la medición del monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no combustionados (HC), dióxido de carbono (CO₂) y oxígeno (O₂) de la motocicleta sobrealimentada. (Fecha: 2017-02-03).

- Pruebas de carretera para medir el rendimiento del combustible en la motocicleta sobrealimentada. (Fecha: 2017-02-04).

- Pruebas de desempeño para medir la capacidad de aceleración de la motocicleta sobrealimentada. (Fecha: 2017-02-04).

- Análisis y validación de los resultados obtenidos en las pruebas.

- Calculo de los costos involucrados. Fuentes de financiamiento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA (MCI)

Se puede definir al MCI como: “El conjunto de elementos mecánicos que permite obtener energía mecánica a partir del estado térmico del fluido compresible que lo atraviesa, obtenido por un proceso de combustión que tiene lugar en el propio seno del fluido”. (*Alfaomega, Prácticas de Motores de Combustión, Universidad Politécnica de Valencia, 2005*). Su ciclo de operación consta de 5 procesos: admisión, compresión, combustión, expansión y escape. Y los podemos clasificar de la siguiente forma:

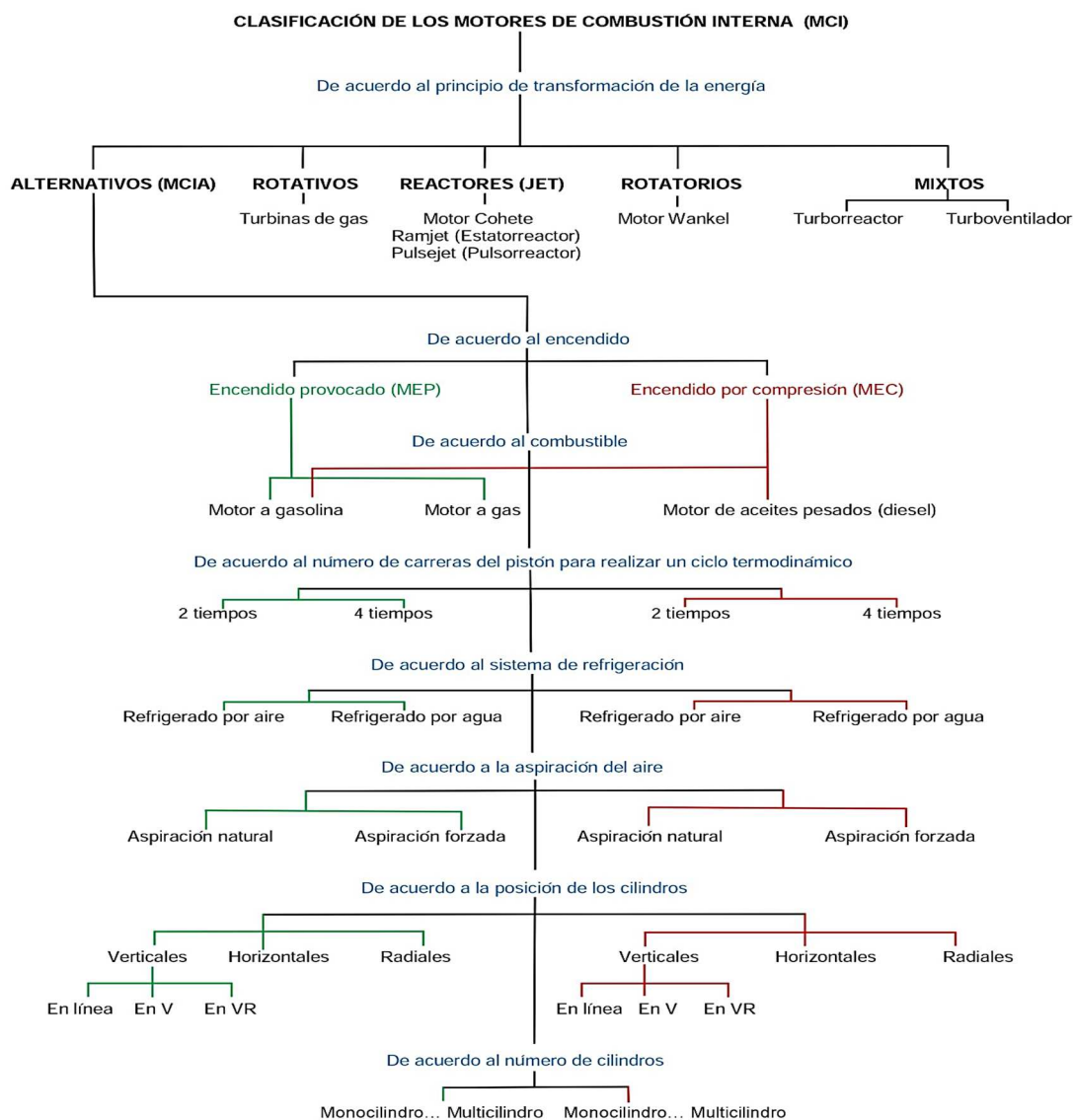


Figura 4: Clasificación de los MCI.

2.2 MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO (MEP) DE 4 TIEMPOS A GASOLINA

Es un tipo de MCI en donde el encendido del fluido motriz es provocado por un arco eléctrico que se produce en la bujía, este fluido se expande en una cámara de volumen variable, produciendo el desplazamiento lineal alternativo de un émbolo, y mediante un mecanismo biela-manivela es transformado en movimiento rotacional de un eje.

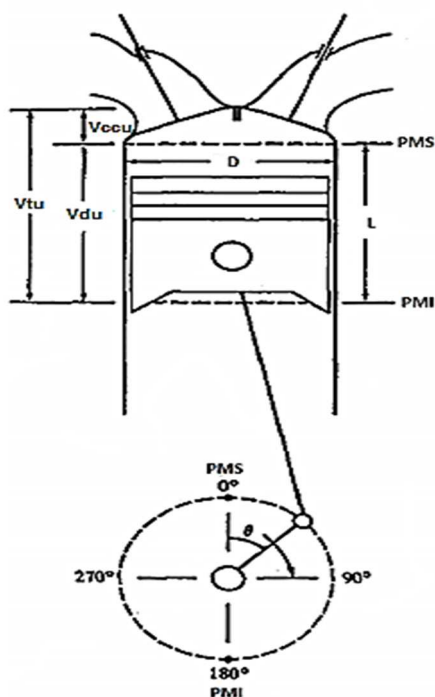


Figura 5: Geometría básica de un MEP.

Recuperado y modificado de: Internal Combustion Engine Fundamentals, John B. Heywood, MIT.

(PMS) es el “punto muerto superior” el cual representa la posición más alta del émbolo en el cilindro que lo contiene y (PMI) “punto muerto inferior” es la posición más baja.

(L) es la “carrera” del émbolo, en inglés “stroke”.

(D) diámetro del cilindro.

(Vdu) volumen desplazado unitario.

(Vccu) volumen de la cámara de combustión unitario.

(Vtu) volumen total unitario.

$$Vtu = Vdu + Vccu \quad [m^3] \quad Ec.7$$

2.3 LA MOTOCICLETA

La motocicleta o moto es un vehículo automóvil creado en el año de 1885 por los ingenieros Alemanes Wilhelm Maybach y Gottlieb Daimler, los cuales utilizaron un MEP 4T de Nicolaus Otto que desarrollaba 0.5 caballos de fuerza.



Figura 6: Motocicleta Loncin LX 250 PY.

2.3.1 ESTRUCTURA JERÁRQUICA DE LA MOTOCICLETA CATEGORÍA L3

A la motocicleta se la puede considerar como un sistema motriz capaz de transformar la energía térmica en trabajo mecánico, este sistema está compuesto de elementos, partes y componentes interrelacionados e interactuantes entre sí, formando una estructura jerárquica como se muestra en la siguiente figura:

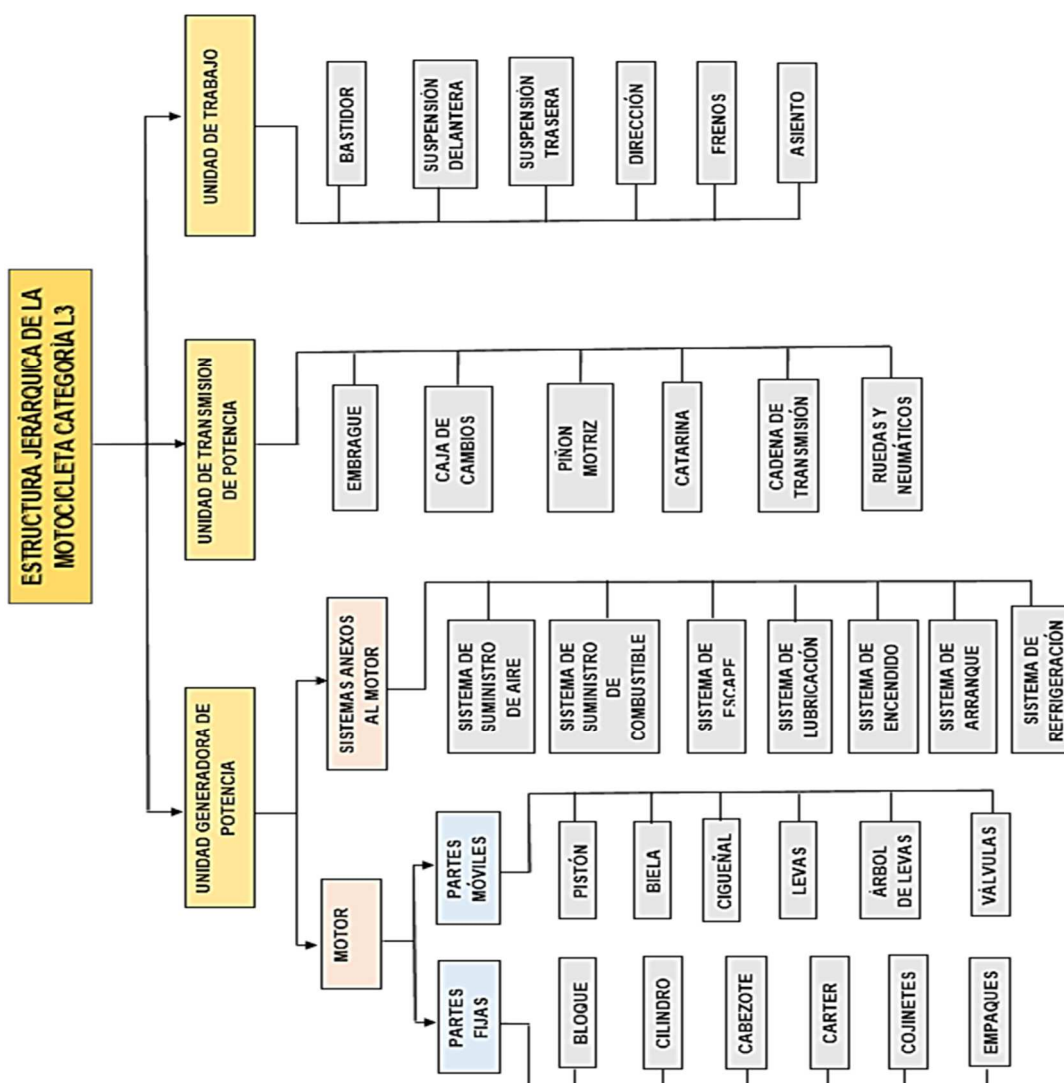


Figura 7: Estructura jerárquica de la motocicleta categoría L3.

2.3.1.1 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

El sistema de alimentación de un MEP 4T es la combinación del sistema de suministro de aire con el sistema de suministro de combustible, cuyas funciones son:

- Recibir y filtrar el aire atmosférico de forma que llegue libre de impurezas.
- Dosificar la mezcla (aire-combustible) en cuanto a composición y cantidad de acuerdo a la velocidad y carga del motor.
- Transportar y distribuir la mezcla hacia los cilindros.
- Atenuar el ruido proveniente del interior del motor.

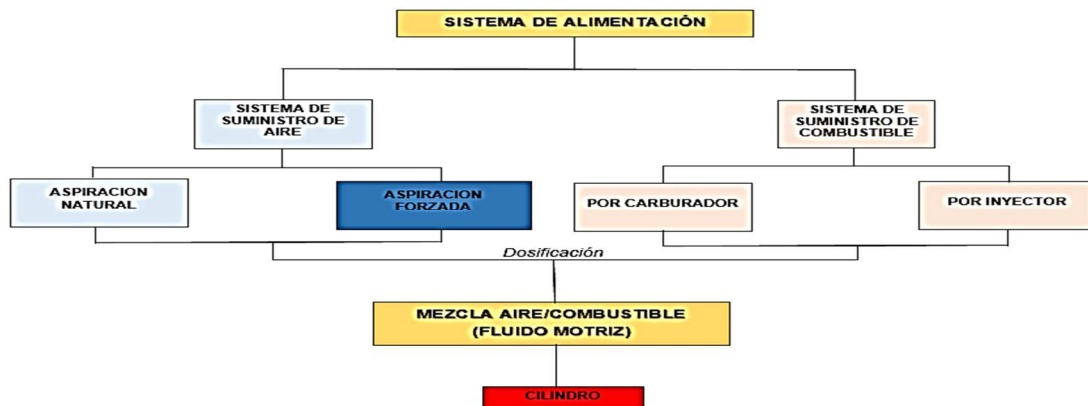


Figura 8: Esquema del sistema de alimentación de un MEP 4T.

2.3.1.1.1 CARBURADOR

Es un componente del sistema de alimentación de la motocicleta cuyo cuerpo está fabricado generalmente de aleaciones ligeras (aluminio con antimonio), su función es preparar la mezcla de aire – gasolina en una proporción adecuada de acuerdo al régimen de velocidad del motor, para ello deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- **Mezcla cercana a la estequiométrica:** Para condiciones de marcha normales.
- **Garantizar una pulverización fina de la gasolina:** Para facilitar su vaporización homogénea.
- **Mezcla pobre:** A velocidad de vacío, es decir para la velocidad mínima (ralentí) (1200rpm).
- **Mezcla rica:** En aceleraciones y en altas velocidades del motor.
- **Circuito independiente:** Que proporcione mezclas ricas para el arranque del motor (ahogador).

Su funcionamiento se basa en dos fenómenos:

- **Depresión:** Este fenómeno se da en un fluido que se encuentra en un conducto cerrado y presenta zonas con diferente presión (ver figura 9), el fluido se dirigirá en dirección de la zona de mayor presión (P1) a la zona de menor presión (P3), este efecto de succión es creado por los pistones en el proceso de admisión, el cual permite el ingreso del fluido motriz a los cilindros.

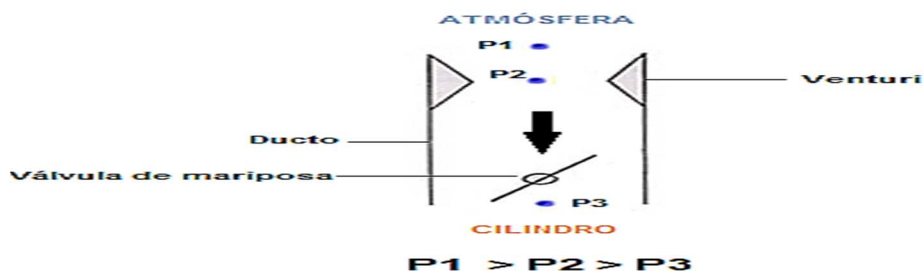


Figura 9: Fenómenos que permiten el funcionamiento del carburador.

- **Efecto de venturi:** Este fenómeno consiste en que un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado aumentara la velocidad y disminuirá la presión al pasar por una zona de menor sección transversal.

Los carburadores de motocicletas se pueden clasificar en dos grandes grupos: de accionamiento directo y de depresión (vacío constante).

En la figura 10 (izquierda), podemos observar el tipo de carburador de accionamiento directo, en donde la “campana” (C) es accionada directamente por el “cable” (G) desde la “empuñadura” de aceleración de la motocicleta para permitir el paso del fluido motriz.

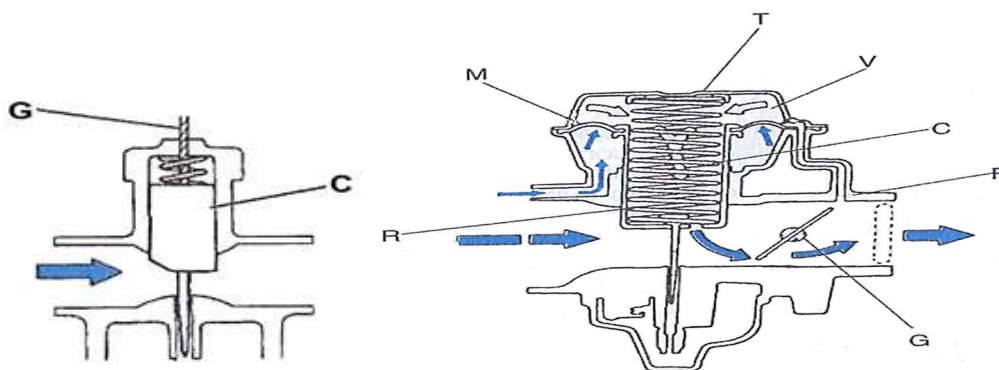


Figura 10: Tipos de carburadores de motocicletas.

Fuente: Motocicletas, M. Arias-Paz, Edición 32, CIE DOSSAT 2000

Por otro lado, en los carburadores del tipo “vacío constante” (figura 10 - derecha), la “campana” (C), lleva adherida por su parte superior una “membrana” (M) fabricada en látex, la cual es estanca al paso de los gases con la ayuda de la “tapa del carburador” (T). Entre la membrana y la tapa se forma una “cámara de vacío” (V), la cual se comunica con el conducto de admisión del carburador mediante el “canal” (F). El agujero de dicho canal se encuentra en el tramo comprendido entre la “válvula de mariposa” (G) y el motor. Por ese pequeño canal llega la depresión del motor a la cámara de vacío. De igual forma se dispone de otra cámara por debajo de la membrana, la cual se comunica con el exterior y por ende se encuentra sometida a la presión atmosférica. Así se tiene dos tipos de presiones en el carburador, la primera que es la “presión atmosférica” (flechas de color azul) y la segunda una “presión de vacío” (flechas de color blanco), lo que da lugar a una “diferencia de presión” que consigue automatizar el método de elevación de la campana.

2.3.1.2 SISTEMA DE ESCAPE

Es el conjunto de elementos mecánicos que tiene como objetivo:

- Transportar:** Desde el interior de los cilindros hasta la atmósfera los gases expulsados durante el último proceso del ciclo termodinámico.
- Enfriar:** Los gases transportados.
- Reducir la contaminación:** Del ruido generado por el funcionamiento del motor y de los gases tóxicos.

En la figura 11 podemos observar el sistema de escape típico de una motocicleta con MEP 4T y sus elementos principales.

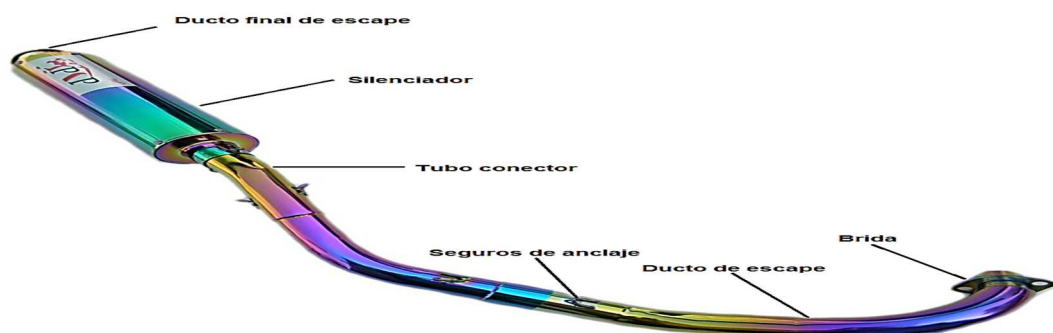


Figura 11: Sistema de escape típico de una motocicleta con MEP 4T.

El correcto funcionamiento de este sistema es importante ya que interviene indirectamente en la eficiencia volumétrica¹ y térmica² del motor.

2.3.1.3 SISTEMA DE LUBRICACIÓN

Los MEP 4T cuentan con un sistema de lubricación que se encarga de hacer llegar a cada elemento la cantidad correcta de aceite para su correcta lubricación y también para producir un efecto refrigerante en el motor.

Existen dos tipos básicos de sistemas de lubricación para las motocicletas: por barboteo y a presión; siendo el común en el vehículo categoría L3 el de presión con cárter húmedo (ver figura 12).

¹Eficiencia volumétrica: Es un parámetro expresado en porcentaje que sirve para medir la efectividad en el proceso de suministro de aire de un motor, pues intervienen elementos como: filtro de aire, carburador, válvula mariposa, campana, ducto de admisión, válvula de admisión, etc. Dichos elementos dificultan el ingreso de la cantidad de aire en cada ciclo.

$$\eta_{volumétrica} = \frac{\dot{m}_{aire\ real}}{\dot{m}_{aire\ teórico}} \quad [\%] \quad Ec. 8$$

Dónde: $\dot{m}_{aire\ real}$ en $[\frac{Kg}{s}]$ es la cantidad real de masa de aire que ingresa a los cilindros en un tiempo determinado para poder realizar un ciclo termodinámico, por los efectos restrictivos de los elementos anteriormente vistos, y que además es menor a $\dot{m}_{aire\ teórico}$.

$$\dot{m}_{aire\ teórico} = \frac{Vdt \cdot N \cdot \rho_{aire}}{k} \quad [\frac{Kg}{s}] \quad Ec. 9$$

Dónde: (Vdt) en $[m^3]$ es el volumen desplazado total, conocido también como “cilindrada”, (N) es la velocidad rotacional del cigüeñal en [rev/s], (ρ_{aire}) es la densidad del aire al ingreso en $[\frac{Kg}{m^3}]$, (k) en [rev] es el número de vueltas del cigüeñal para realizar un ciclo termodinámico, k=1 [rev] (para motores 2t) y k=2 [rev] (para motores 4t).

$$Vdt = \frac{n \cdot L \cdot \pi \cdot D^2}{4} \quad [m^3] \quad Ec. 10$$

Dónde: (n) es el número de cilindros, (L) es la carrera del pistón, (D) es el diámetro del cilindro.

²Eficiencia Térmica: Es un parámetro expresado en porcentaje que sirve para medir la efectividad en el proceso de “conversión de la energía”, por ello muchos autores la identifican como la “eficiencia de conversión del combustible”, que no es más que la relación entre la energía producida por el motor y la energía suministrada al motor. Dicha de otra forma, es la fracción de calor que suministrada a un ciclo termodinámico es convertida en trabajo.

$$\eta_{térmica} = \frac{E_{producida}}{E_{suministrada}} = \frac{E_{salida}}{E_{entrada}} = \frac{Pf}{\dot{m}_{combustible} \cdot \dot{Q}_{neto}} \quad [\%] \quad Ec. 11$$

Dónde: (Pf) es la potencia al freno expresada en [w], ($\dot{m}_{combustible}$) en $[\frac{Kg}{s}]$ es la cantidad de combustible que se suministra al motor en un cierto tiempo para que logre completar el ciclo termodinámico, (\dot{Q}_{neto}) en $[\frac{J}{Kg}]$ es el poder calorífico inferior del combustible.

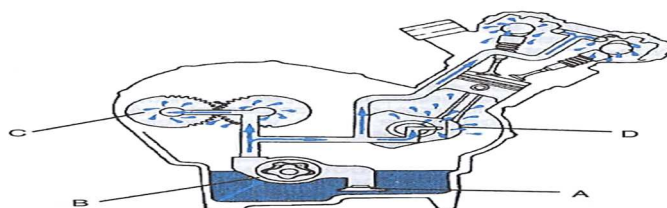


Figura 12: Sistema de lubricación a presión con cárter húmedo.
Fuente: Motocicletas, M. Arias-Paz, Edición 32, CIE DOSSAT 2000

El aceite se encuentra en el propio cárter y es aspirado por la “bomba” (B) a través del “filtro” (A) y viaja a través de unos conductos hacia el “conjunto de cambios” (C), el “cigüeñal” (D) y al sistema de distribución de gases.

2.3.1.4 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

El sistema de refrigeración tiene por finalidad regular la temperatura del motor, para garantizar el buen funcionamiento de este y la integridad de los elementos que lo componen.

En los vehículos categoría L3 se utiliza frecuentemente el sistema de refrigeración por aire, en donde el principio de funcionamiento es por transferencia de calor en superficies extendidas “aletas”, para aumentar la rapidez de transferencia de calor entre un sólido y un fluido contiguo (bloque – aire). En la figura 13 podemos observar el motor de una motocicleta con el sistema de refrigeración por aire, en donde las “aletas” (L) se disponen de tal manera que la corriente de aire pueda atravesar con facilidad el motor, conservando así la mayor “velocidad” del flujo posible.

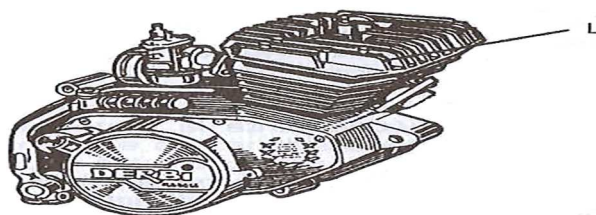


Figura 13: Motor de motocicleta Derbi refrigerada por aire.
Fuente: Motocicletas, M. Arias-Paz, Edición 32, CIE DOSSAT 2000

2.4 EL AIRE

El aire es una mezcla de gases que constituyen la atmósfera terrestre y que permanecen alrededor de la tierra por efectos de la gravedad, cuya composición la podemos apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 8

Composición del aire a nivel del mar.

COMPOSICIÓN DEL AIRE							
Componente del aire	Símbolo	Masa atómica [g/mol]	N: Masa molecular [g/mol]	n: Porcentaje volumétrico [%] o [moles]	m: Masa [g/ 2896.7 g de aire seco]	Masa [g / 1 g de aire seco]	Porcentaje en masa o porcentaje gravimétrico [%]
Oxígeno diatómico	O ₂	O=16	O ₂ =32	20.99	671.7	0.2319	23.19
Nitrógeno diatómico	N ₂	N=14.008	N ₂ =28.016	78.03	2186.1	0.7547	75.47
Argón	Ar	Ar=39.994	Ar=39.994	0.94	37.6	0.013	1.3
Dióxido de carbono	CO ₂	C=12.003 O=16	CO ₂ =44.003	0.03	1.3	0.0004	0.04
Hidrógeno diatómico	H ₂	H=1.008	H ₂ =2.016	0.01	0	0	0
AIRE SECO			28.967	100	2896.7	1	100

La tabla 9 se basa en el anuario meteorológico del año 2015 del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). Dicha institución posee una red de estaciones meteorológicas con el fin de obtener conocimiento de la situación climática del país. Entonces se procedió a enlistar las 24 provincias del Ecuador con las respectivas estaciones meteorológicas más cercanas a cada capital, y escogiendo los datos de nuestro interés como: altitud, temperatura media anual, humedad relativa media anual; se calculó la densidad del aire.

2.5 COMBUSTIÓN EN UN MEP 4T A GASOLINA

La combustión es una reacción química de oxidación fuertemente exotérmica, la cual debe cumplir con ciertas condiciones para que pueda iniciar y para que pueda mantenerse como una reacción auto-sostenible, dichas condiciones son:

- Presencia de un combustible (C₈H₁₈), que es el elemento que se oxida.
- Presencia de un comburente (aire) que es el elemento oxidante.
- Un aporte energético inicial (arco eléctrico).
- El recinto donde se lleva a cabo la combustión debe mantenerse a una presión y temperatura apropiada durante todo el proceso.
- Las partículas de combustible deben mantenerse dentro del recinto de combustión el tiempo suficiente para que se produzca una reacción en cadena total.

Tabla 9
Características ambientales de sitios específicos del Ecuador.

CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DE SITIOS ESPECÍFICOS DEL ECUADOR											
Código de provincia	Provincia	Capital	Estación meteorológica	Altitud [m]	Presión atmosférica			Temperatura media anual [°C]	Humedad relativa media anual [%]	Densidad	
					[KPa]	[PSI]	[Atm]			Aire seco [Kg/m ³]	Aire húmedo [Kg/m ³]
1	Azuay	Cuenca	Palmas-Azuay	2400	76.2645705	11.0613	0.7527	14.7	89	0.9231	0.9164
2	Bolívar	Guaranda	Instituto 3 de Marzo	2504	75.3304538	10.9258	0.7435	13.8	82	0.9147	0.9089
3	Cañar	Azogues	Biblian	2640	74.1261585	10.7511	0.7316	14.4	77	0.8982	0.8925
4	Carchi	Tulcán	El Ángel	3000	71.0304378	10.3021	0.7010	11.8	90	0.8685	0.8629
5	Cotopaxi	Latacunga	UTC	2725	73.3832704	10.6434	0.7242	13.8	83	0.8910	0.8851
6	Chimborazo	Riobamba	Riobamba Politécnica	2740	73.2529475	10.6245	0.7229	13.7	74	0.8897	0.8845
7	El Oro	Machala	Machala - UTM - Pagua	13	101.1968860	14.6774	0.9987	24.4	93	1.1850	1.1726
8	Esmeraldas	Esmeraldas	Cayapas	55	100.6944804	14.6045	0.9938	26.5	85	1.1708	1.1580
9	Guayas	Guayaquil	Guayaquil U. Estatal	6	101.2808637	14.6896	0.9996	26.5	77	1.1776	1.1661
10	Imbabura	Ibarra	Otavalo	2550	74.9209446	10.8664	0.7394	14.5	79	0.9075	0.9016
11	Loja	Loja	La Argelia - Loja	2160	78.4646720	11.3804	0.7744	16.4	75	0.9442	0.9370
12	Los Ríos	Babahoyo	Vinces - INAMHI	14	101.1848949	14.6757	0.9986	26	81	1.1785	1.1667
13	Manabí	Portoviejo	Portoviejo - UTM	46	100.8019283	14.6201	0.9948	25.4	80	1.1764	1.1651
14	Morona Santiago	Macas	Macas - San Isidro - PNS	1110	88.8610120	12.8882	0.8770	20.7	82	1.0536	1.0448
15	Napo	Tena	Tena - Hda. Chaupi Shungo	665	93.6726245	13.5861	0.9245	23.8	87	1.0991	1.0878
16	Pastaza	Puyo	Puyo	960	90.4546378	13.1194	0.8927	21.2	88	1.0707	1.0609
17	Pichincha	Quito	Quito - INAMHI - Iñaquito	2789	72.8288367	10.5629	0.7188	15.3	74	0.8797	0.8739
18	Tungurahua	Ambato	Patate	2220	77.9087668	11.2997	0.7689	16.4	85	0.9375	0.9304
19	Zamora Chinchipe	Zamora	El Pangui	820	91.9677972	13.3388	0.9076	22	90	1.0856	1.0752
20	Galápagos	Pto. Baquerizo	San Cristóbal - Galápagos	6	101.2808637	14.6896	0.9996	25.1	80	1.1832	1.1721
21	Sucumbíos	Nueva Loja	Lumbaqui	580	94.6209098	13.7236	0.9338	23.7	87	1.1106	1.0994
22	Orellana	Francisco de Orellana	San José de Payamino	345	97.2928970	14.1112	0.9602	25.1	94	1.1366	1.1235
23	Sto Dgo. Tsáchilas	Santo Domingo	Puerto Ila	319	97.5931187	14.1547	0.9632	24.6	87	1.1420	1.1303
24	Santa Elena	Santa Elena	Santa Elena - Universidad	13	101.1968860	14.6774	0.9987	24.3	80	1.1854	1.1748

2.5.1 CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE (C.E.C)

Es un índice que representa el rendimiento global de un motor ya que se define como la cantidad de combustible consumida por unidad de tiempo para producir una unidad de potencia. Así cuanto más bajo es el C.E.C, mejor es el rendimiento del motor y viceversa. Se define por la siguiente ecuación:

$$C.E.C = \frac{\dot{m}_{combustible}}{P_f} \quad \left[\frac{Kg}{Kw.h} \right] \quad Ec. 12$$

2.5.2 RELACIÓN LAMBDA (λ)

También conocido como “coeficiente de aire”, es la proporción que existe entre la masa de aire real aportada para la combustión y la masa de aire necesaria para la combustión estequiométrica.

$$\lambda = \frac{\text{Masa de aire real aportada para la combustión}}{\text{Masa de aire necesaria para la combustión estequiométrica}} \quad Ec. 13$$

Sus valores representan:

- $\lambda=1$: Mezcla estequiométrica (cantidad exacta de aire).
- $\lambda>1$: Mezcla pobre (exceso de aire).
- $\lambda<1$: Mezcla rica (deficiencia de aire).

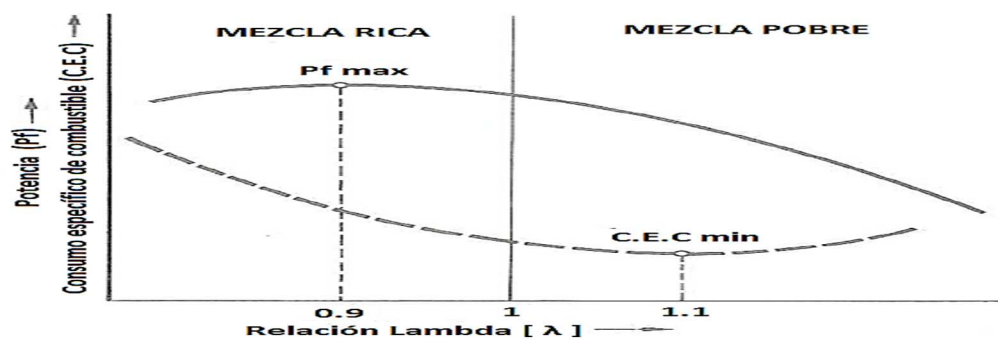


Figura 14: Potencia al freno y consumo específico de combustible en función de la relación λ .
Recuperado y modificado de: Morales Michael, Relación aire- combustible, ESPE, 2006

Se puede observar en la figura 14 y 15, que la potencia al freno, el consumo específico de combustible y la emisión de gases contaminantes de un MEP también están en función de la relación lambda.

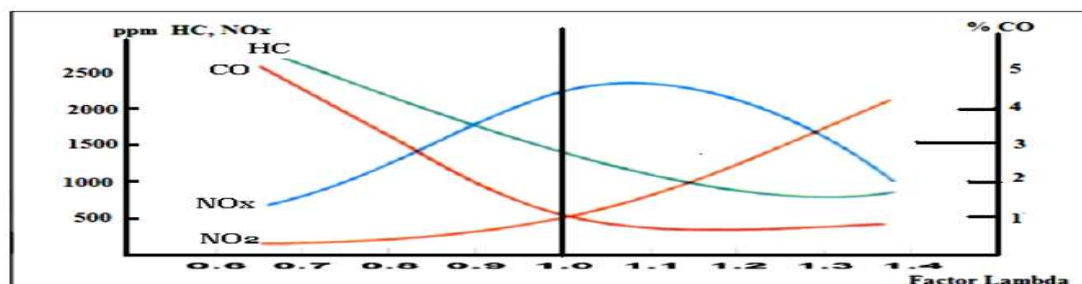


Figura 15: Concentración de contaminantes en un motor a gasolina en función de la relación λ .

Fuente: Guevara María, Gases producto de la combustión, EPN, 2010.

2.6 SOBREALIMENTACIÓN

La sobrealimentación es un tipo de suministro de aire conocida como “aspiración forzada” ya que utiliza dispositivos que varían las condiciones iniciales del aire en el proceso de admisión, esto porque la máxima potencia y torque de un MEP 4T pueden estar limitadas por la cantidad de combustible que puede ser quemado eficientemente dentro de la cámara de combustión (ver figuras comparativas 16 y 17). Así, en un MEP 4T con las mismas dimensiones (sin variar la cilindrada ni régimen del motor), podremos mejorar su eficiencia si aumentamos únicamente la densidad del aire inducido, lo que es posible si aumentamos la presión absoluta¹ del aire y/o si disminuimos su temperatura absoluta.

Un MEP 4T sobrealimentado puede conseguir aproximadamente un 40% más de potencia y torque. Así mismo aumenta la eficiencia volumétrica hasta un 200% y se reduce la emisión de contaminantes.

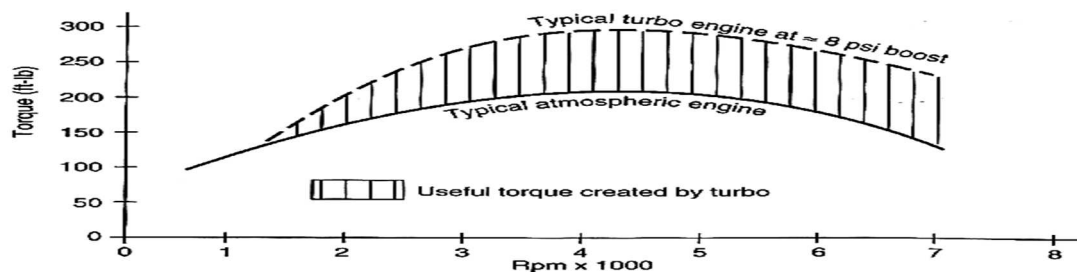


Figura 16: Diferencia típica entre las curvas de torque al freno (T_f) de un motor atmosférico y un turbocargado.

Fuente: Corky Bell, Maximum Boost, figura 1-8, 1997.

¹**Presión absoluta:** Es la sumatoria de la presión atmosférica y la presión manométrica.

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{mano} \quad [KPa] \quad Ec. 14$$

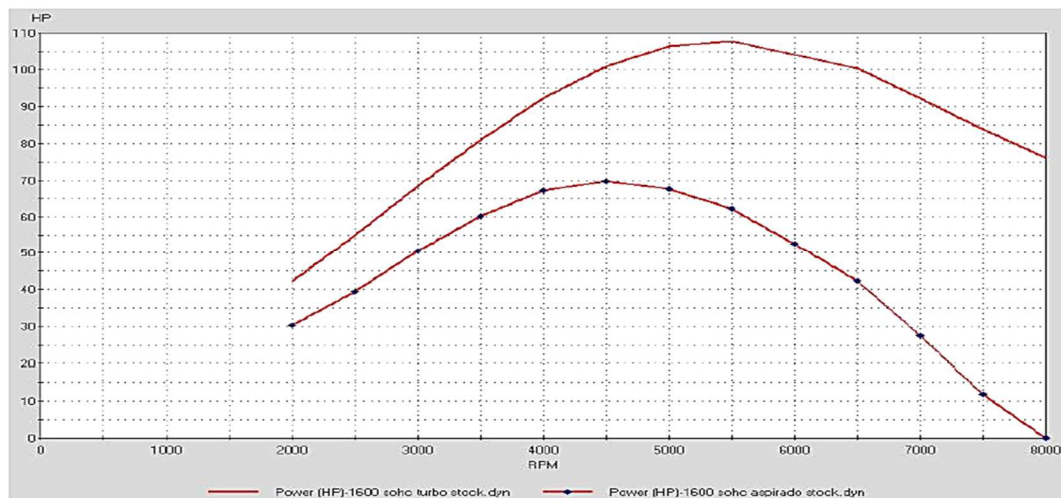


Figura 17: Potencia al freno (Pf) de un MEP 4T de 1600 cc con y sin turbocompresor.
Fuente: Morales Michael, Parámetros de funcionamiento de un motor atmosférico en comparación con un motor sobrealimentado, ESPE, 2006.

2.6.1 MÉTODOS DE SOBREALIMENTACIÓN

Existen dos métodos básicos para llevar a cabo la sobrealimentación de un MCI: métodos mecánicos y métodos químicos.

2.6.1.1 MÉTODOS MECÁNICOS DE SOBREALIMENTACIÓN

Para realizar una sobrealimentación mecánica, se necesita de un dispositivo capaz de tomar el aire a la presión atmosférica y comprimirlo para conseguir una sobrepresión, dicho dispositivo es conocido como: supercargador, compresor o soplador. Estos métodos se clasifican según su accionamiento en:

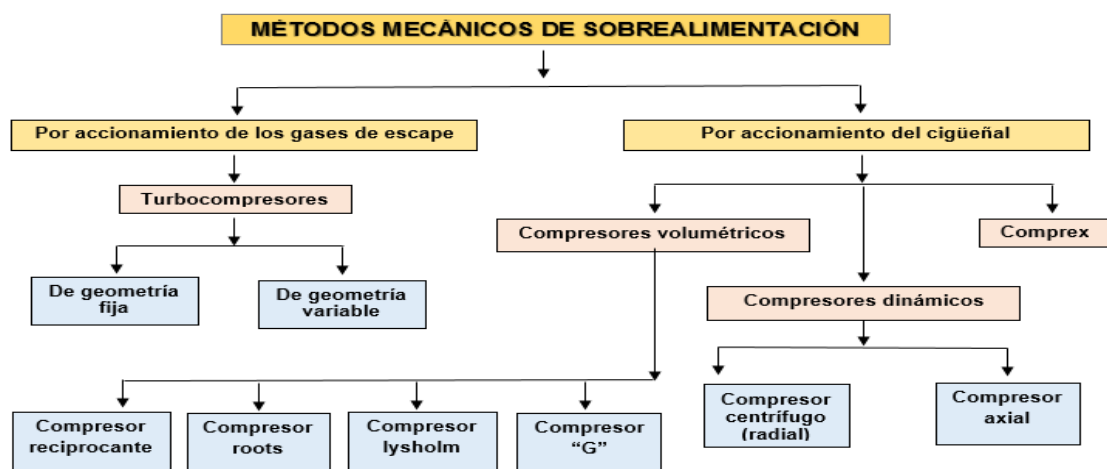


Figura 18: Clasificación de los métodos mecánicos de sobrealimentación.

La utilización de uno u otro método depende de muchos factores como: económico, peso, tamaño, presión de sobrealimentación¹, preferencias, etc.

2.6.1.1.1 TURBOCOMPRESOR

También conocido como “Turbo”, es una bomba de aire diseñada para aportar un gran volumen de aire a presión, aumentando así la densidad del aire. Es el método más utilizado en la actualidad, ya que opera con los gases de escape de un motor (ver figura 19), es decir que para su funcionamiento no utiliza energía del cigüeñal, sino que aprovecha una cantidad de energía que iba a ser desperdiciada en el último proceso termodinámico del motor. Se clasifican en: turbocompresores de geometría fija y turbocompresores de geometría variable.

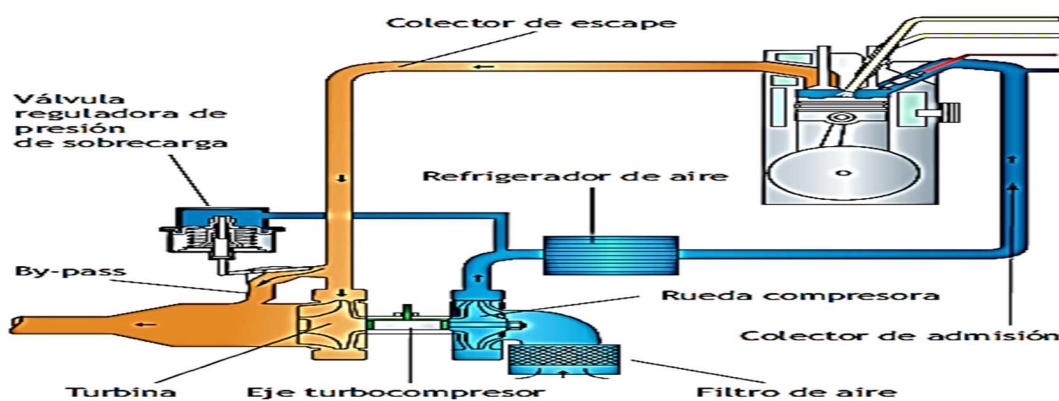


Figura 19: Funcionamiento básico del turbocompresor.

¹**Presión de sobrealimentación (PS):** También conocida como “Boost” (aumento), es una presión manométrica generada por un supercargador que se obtiene por la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica en el múltiple de admisión.

$$PS = P_{abs} - P_{atm} \quad [PSI] \quad Ec. 15$$

Los valores típicos de la presión de sobrealimentación (PS) están dados por rangos y dependen de la aplicación que se quiera dar al motor:

Tabla 10

Rangos de sobrealimentación

RANGO DE SOBREALIMENTACIÓN	PRESIÓN DE SOBREALIMENTACIÓN [PSI]
BAJO	PS < 7
MEDIO	7 ≤ PS ≤ 12
ALTO	PS > 12

Fuente: Corky Bell, Maximum Boost, Página 28, 1997.

2.6.1.1.1 TURBOCOMPRESOR DE GEOMETRÍA FIJA

Se denominan de “geometría fija” porque los álabes del impulsor de la turbina no cambian de “forma” durante su funcionamiento. Poseen una válvula de descarga “wastegate”.



Figura 20: Elementos que componen el turbocompresor de geometría fija.

Los elementos que lo componen varían según el diseño del fabricante, pero generalmente poseen las siguientes partes:

- **Turbina:** Es una turbomáquina centrífuga conectada al múltiple de escape en donde los gases productos de la combustión de un motor, con una cierta cantidad de movimiento y energía térmica, ingresan a la carcasa en forma de caracol o voluta, para llevar a cabo una expansión de los gases, provocando que se enfríen y aceleren. Posteriormente se aprovecha la energía cinética que han adquirido los gases para que la cedan sobre los alabes del impulsor de la turbina, provocando un momento de fuerza en el eje central.
- **Eje central:** Es el elemento que une la turbina y el compresor, se encuentra sometido a altas solicitaciones mecánicas debido al giro (a más de 150 000 rpm), además que debe soportar elevadas temperaturas. Este eje se apoya en el turbocompresor por medio de cojinetes en sus extremos y está en contacto directo con el circuito de lubricación para reducir la fricción y conseguir una buena refrigeración.
- **Compresor:** Es una turbomáquina centrífuga que consiste en un rotor (impulsor) que gira dentro de una carcasa (voluta) gracias al momento de fuerza del eje central. El impulsor del compresor convierte la energía mecánica del eje en energía cinética del fluido entrante (aire), el cual ingresa en dirección axial, y es acelerado por el impulsor hasta salir a la voluta del compresor, la cual aumenta su sección en la dirección en que el flujo la recorre a fin de disminuir su velocidad e incrementar su presión.

- **Carcasa de cojinetes:** Es un elemento que contiene: el eje central, la perforación por la cual pasa el eje, cojinetes, ranuras para la entrada y salida del lubricante.

- **Cojinetes:** Para la reducción de la fricción en el sistema rotatorio del turbocompresor, se utiliza cojinetes lisos de casquillos flotantes (journal bearing), los cuales son lubricados por el aceite del motor mediante unos conductos, provocando así una “capa de lubricante” entre el eje y los cojinetes. También son utilizados los cojinetes de bolas (ball bearing), los cuales reducen la cantidad de aceite requerida para una lubricación adecuada y permiten un mejor control de las vibraciones del eje central.

- **Válvula de descarga (Wastegate):** Se encarga de limitar la presión de sobrealimentación del turbocompresor desviando una cantidad de gases de escape directamente al tubo de escape sin pasar por la turbina, gracias a la derivación (bypass). El accionamiento de esta válvula puede ser del tipo neumático o eléctrico.

- **Accionamiento neumático de la válvula wastegate:** Está constituida por una cápsula sometida a la presión de sobrealimentación, una membrana (2), un muelle (3) y una válvula (4) (ver figura 21). Durante el funcionamiento del motor a ralentí, la velocidad de los gases de escape es moderada, creando una presión de sobrealimentación en el conducto (1) que es incapaz de abrir la válvula (4).

Si el motor girara a elevadas revoluciones, y la presión en el conducto (1) superara unos valores preestablecidos, entonces esta presión de sobrealimentación haría desplazar la membrana (2), y esta a su vez comprimiría el muelle (3), desplazando la válvula (4) de su asiento, lo que haría que parte de los gases de escape dejen de fluir directamente hacia el impulsor de la turbina, reduciéndose el efecto del compresor.

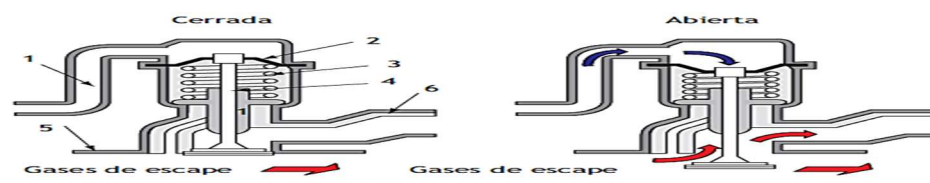


Figura 21: Accionamiento neumático de la válvula wastegate.

- **Accionamiento eléctrico de la válvula wastegate:** Este sistema posee una

electroválvula de regulación de presión, la cual es excitada por una unidad de control del motor. La señal que recibe esta electroválvula varía en función de: revoluciones del motor, temperatura de aire aspirado, presión en el colector de admisión, posición de la válvula mariposa, etc.

La electroválvula está compuesta por un bobinado eléctrico que controla la posición de un embolo al ser inducido, el cual al desplazarse puede cerrar el paso existente un ducto que va al colector de admisión y un conducto hacia el wastegate.

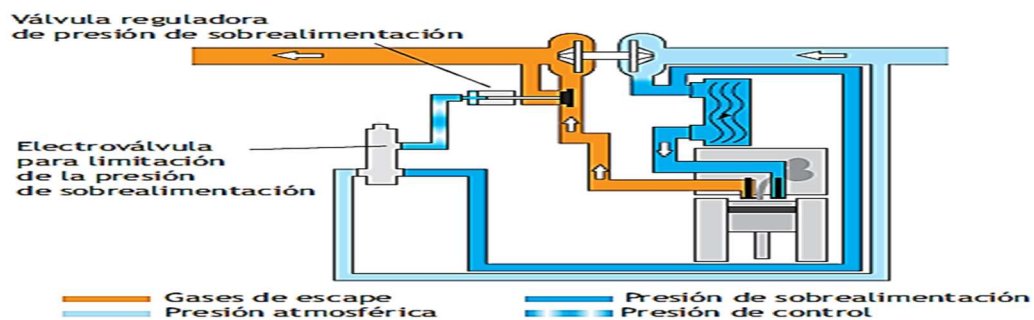


Figura 22: Accionamiento eléctrico de la válvula wastegate.

2.6.1.1.1.1 VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL TURBOCOMPRESOR DE GEOMETRÍA FIJA

A continuación se resumirá las ventajas e inconvenientes que presenta la utilización de un turbocompresor de geometría fija:

- **VENTAJAS:**
 - No consume energía útil del motor para su accionamiento.
 - Dimensiones pequeñas en relación a su caudal proporcionado.
 - Fácil montaje ya que no tiene accionamiento directo con el eje del motor.
 - Gran capacidad de comprimir a altos regímenes de velocidad.
 - El motor puede conseguir aproximadamente hasta un 40% más de potencia y torque.
 - Mejora la eficiencia volumétrica del motor.
 - Reducción de la emisión de gases contaminantes.
 - La expansión de los gases en la turbina, reduce el nivel de decibelios con que estos llegarían a la salida del escape, reduciendo así el nivel de contaminación sonora hacia el medio ambiente.

- **INCONVENIENTES:**

- Mala capacidad de respuesta en bajos regímenes del motor por la baja energía cinética de los gases de escape.
- Retraso en su actuación por la inercia de los elementos de la turbina (turbolag).
- La presencia de la turbina en el ducto de escape crea una cierta contrapresión, la cual resta potencia al motor.
- La elevación de la presión en el compresor produce un aumento de la temperatura del aire, la cual al mezclarse con el combustible entran a la cámara de combustión favoreciendo el autoencendido y la detonación.

2.6.1.1.1.2 TURBOCOMPRESOR DE GEOMETRÍA VARIABLE

Su funcionamiento es similar a los turbocompresores de geometría fija, pero con la diferencia en que estos no necesitan de una válvula de descarga (wastegate), puesto que el sistema puede aumentar o disminuir el giro del impulsor de la turbina según la orientación que tomen los álabes móviles que se encuentran dentro de la voluta (ver figura 23).



Figura 23: Turbocompresor de geometría variable.

Dónde: (1) impulsor de la turbina, (2) álabes móviles, (3) corona, (4) leva, (5) impulsor del compresor, (6) varilla roscada, (7) tuerca, (8) cápsula neumática o depresor.

2.6.1.1.1.2.1 VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL TURBOCOMPRESOR DE GEOMETRÍA VARIABLE

A continuación se dará a conocer las ventajas e inconvenientes que posee un turbocompresor de geometría variable frente a un turbocompresor de geometría fija:

- **VENTAJAS:**

- Buena capacidad de respuesta en bajos regímenes del motor.
- Disminución de la emisión de gases contaminantes en todos los regímenes de funcionamiento del motor.

- Menor retraso en su actuación (turbolag).
- **INCONVENIENTES:**
- Mayores cuidados de uso y mantenimiento.
- Mayor precio.

2.6.1.1.1.3 DIMENSIONAMIENTO DEL TURBOCOMPRESOR

Para la correcta selección de un turbocompresor se debe tener claro la aplicación que se quiere dar a un determinado motor, y así escoger el rango de sobrealimentación deseado (PS). Dicha presión de sobrealimentación entregada por el turbocompresor depende de las dimensiones de sus elementos como lo veremos a continuación.

2.6.1.1.1.3.1 DIMENSIONES DE LOS IMPULSORES Y LA RELACIÓN “TRIM”

Los impulsores del turbocompresor poseen dos diámetros fundamentales para su funcionamiento: inductor y exductor.

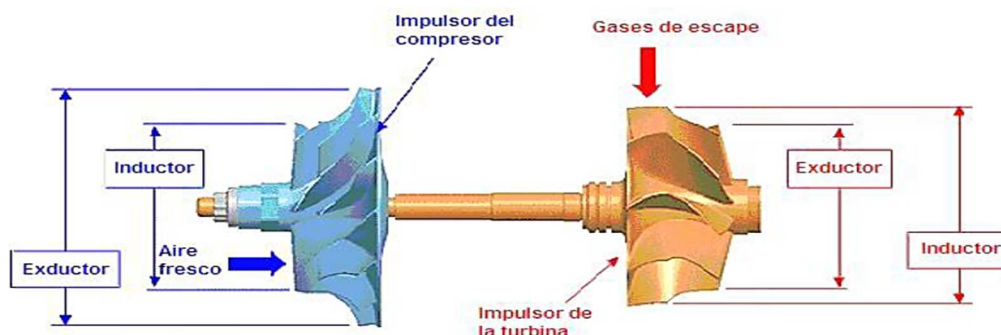


Figura 24: Diámetros fundamentales de los impulsores del turbocompresor.

Se define al inductor como el diámetro del impulsor por donde el fluido “entra”, mientras que el exductor es el diámetro por donde el fluido “sale”.

Existe una relación adimensional que nos ayuda a tener una idea más clara acerca de las capacidades del turbocompresor (dado sus dimensiones), dicha relación es conocida como “Trim” y se define por las siguientes ecuaciones:

$$Trim_{compresor} = \left(\frac{\Phi_{Inductor}_{compresor}}{\Phi_{Exductor}_{compresor}} \right)^2 * 100 \quad Ec. 16$$

$$Trim_{turbina} = \left(\frac{\Phi_{Exductor}_{turbina}}{\Phi_{Inductor}_{turbina}} \right)^2 * 100 \quad Ec. 17$$

Así, un mayor “trim” indica un mayor diámetro, por ello más inercia pero permitirá un mayor caudal.

A la figura 25 se la puede tomar como un indicador de tamaño “aproximado” que debería tener el exductor de la turbina para que pueda funcionar a un determinado flujo de aire en el compresor. Las líneas verticales representan el rango de medidas posibles.

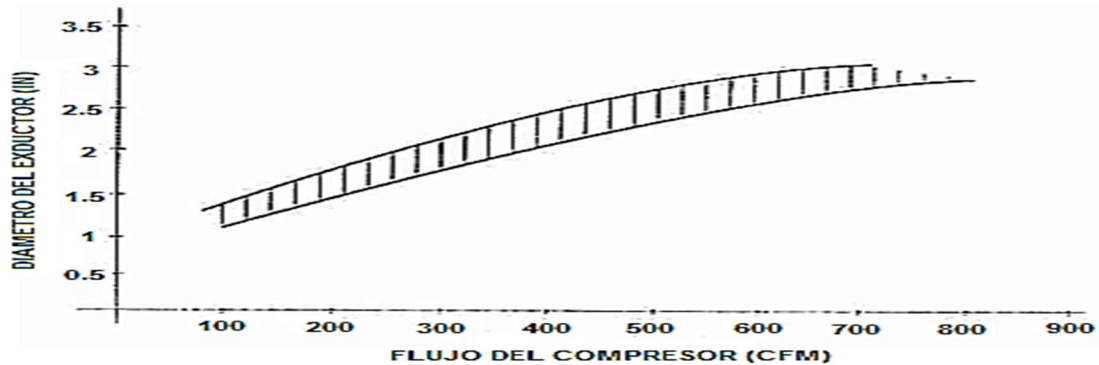


Figura 25: Diámetro del exductor de la turbina vs el flujo del compresor
Fuente: Corky Bell, Maximum Boost, figura 3-10, 1997

2.6.1.1.3.2 DIMENSIONES DE LAS CARCASAS Y LA RELACIÓN “A/R”

Las carcasas en forma de voluta responden a una relación constante (Ec.18) “A/R” que se obtiene al dividir un área transversal de la voluta (A_n) para la distancia entre el centro de la caracola y el centro de dicha área (radio) (R_n). (Ver figura 26).

$$\frac{A_1}{R_1} = \frac{A_2}{R_2} = \frac{A_3}{R_3} = \frac{A_n}{R_n} = \text{constante} \left[\frac{\text{in}^2}{\text{in}} \right] \quad \text{Ec. 18}$$

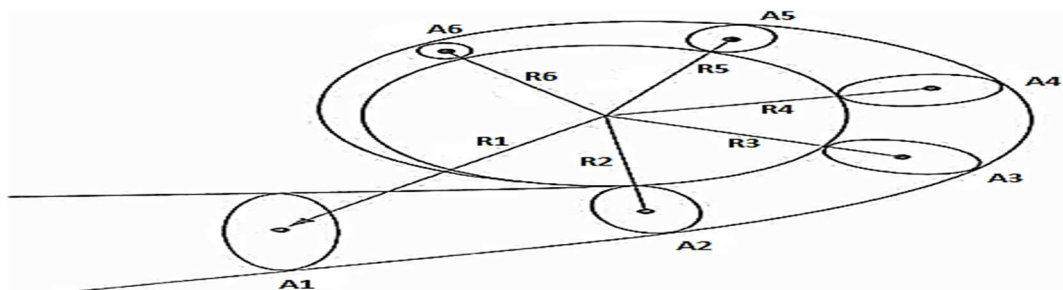


Figura 26: Relación “A/R” en las carcasas del turbocompresor.
Fuente: Corky Bell, Maximum Boost, figura 3-11, 1997

La relación “A/R” del compresor tiene una influencia mínima en el rendimiento general del turbocompresor dado que no es aquí donde se genera el momento de fuerza del eje central.

Pero a menor relación “A/R” en la turbina, la respuesta del turbocompresor se consigue a más bajos regímenes de giro del motor, sin embargo a altas revoluciones (a partir de los 4500 rpm) se reduce la capacidad máxima de flujo de la turbina, dificultando la salida de los gases de escape, lo que podría provocar: calor excesivo en la cámara de combustión, alta contrapresión, autoencendido, detonación, pérdida de potencia, aumento en el consumo de combustible y reducción de la vida útil del turbocompresor y del motor.

2.6.1.1.1.4 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL TURBOCOMPRESOR

El funcionamiento de un turbocompresor presenta parámetros que lo caracterizan, los cuales veremos a continuación.

2.6.1.1.1.4.1 ETAPAS DE FUNCIONAMIENTO DEL TURBOCOMPRESOR

Existen 3 etapas de funcionamiento a las que puede estar sometido un turbocompresor, y estos dependen del régimen de giro del motor y de las dimensiones de la turbina, ya que definen la cantidad de energía cinética de los gases de escape que se transformarán en un momento de fuerza en el impulsor y por ende del eje central para posteriormente provocar una presión de sobrealimentación (PS) en el compresor. Estas etapas son:

- Etapa a ralentí y carga inferior (E1) ($1200 \text{ rpm} \leq E1 \leq 3000 \text{ rpm}$):

En esta etapa (primer tercio de régimen del motor), el impulsor de la turbina podría girar por efecto de la baja energía cinética de los gases de escape, y dependiendo de las dimensiones del turbocompresor, este podría o no provocar una presión de sobrealimentación (PS).

- Etapa a carga media (E2) ($3000 \text{ rpm} < E2 \leq 5000 \text{ rpm}$): También conocido como “segundo tercio de régimen del motor”. Cuando la presión absoluta del compresor logra ser mayor que la presión atmosférica, se producirá una presión mínima de sobrealimentación (PS) conocida como “punto mínimo de sobrealimentación” (régimen de enganche), lo que provocará que el aire aspirado sea comprimido y conducido hacia los cilindros. En esta etapa el motor ya funciona como sobrealimentado.

- **Etapa a carga superior y plena carga (E3) ($E3 > 5000$ rpm):** En esta etapa (tercer tercio de régimen del motor), continúa aumentando la energía cinética de los gases de escape para provocar mayores presiones de sobrealimentación (PS), la cual debe ser limitada por un sistema regulador de presión de sobrealimentación.

2.6.1.1.4.2 TIEMPO DE RETARDO DEL TURBOCOMPRESOR (TURBOLAG)

Es el tiempo de retardo entre el momento de aplicar un régimen de giro al motor y la obtención de sobrealimentación (PS), dicha sensación de “vacío”, se debe a que a los gases de escape les toma un cierto tiempo vencer la inercia del impulsor de la turbina y además que la presión absoluta debe superar a la presión atmosférica.

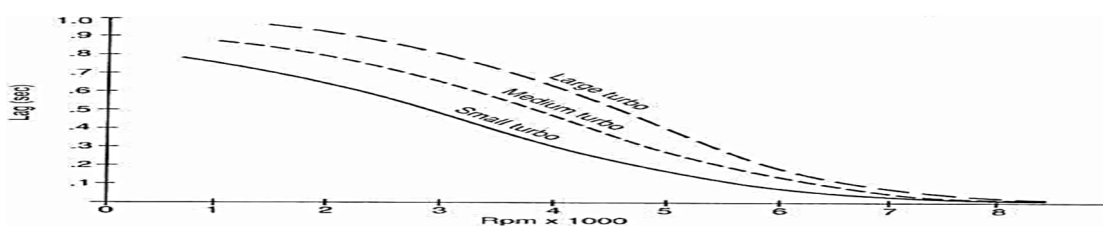


Figura 27: Tiempo de retardo del turbocompresor de geometría variable según su dimensión.

Fuente: Corky Bell, Maximum Boost, pág. 11, 1997.

2.6.1.1.4.3 TEMPERATURAS DE OPERACIÓN DEL TURBOCOMPRESOR

Existe una gran variedad de temperaturas que se desarrollan por la operación del turbocompresor, siendo evidente que los componentes más cercanos a los gases de escape alcanzan las mayores temperaturas (650°C aproximadamente) (ver figura 28).

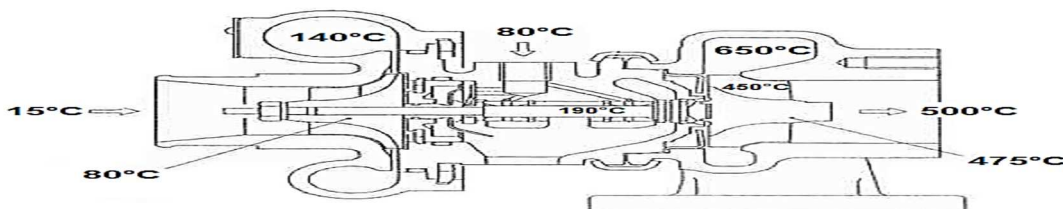


Figura 28: Temperaturas de operación del turbocompresor.

2.6.1.1.4.4 CONTRAPRESIÓN DEL TURBOCOMPRESOR

El sistema de escape produce una cierta resistencia al paso de los gases de escape, lo que provoca una contrapresión o presión de retorno. En los

motores con turbocompresor los gases de escape viajan a través de la carcasa de la turbina que reduce el área del flujo en la dirección en la que la recorre, dificultando la salida de los gases, provocando una mayor contrapresión. Dicha contrapresión puede ser la causante de: calor excesivo en la cámara de combustión, autoencendido, detonación, pérdida de potencia, aumento en el consumo de combustible y reducción de la vida útil del turbocompresor y el motor (válvulas). Así un turbocompresor pequeño presenta la mejor respuesta a bajos regímenes del motor, pero una contrapresión más elevada (ver figura 29).

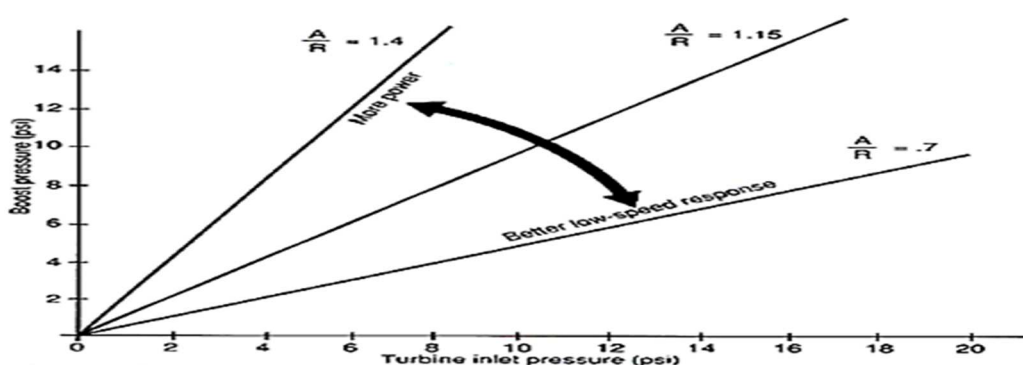


Figura 29: Presión de sobrealimentación (PS) vs presión en la entrada de la turbina.
Fuente: Corky Bell, Maximum Boost, figura 3-13, 1997.

2.6.1.1.1.4.5 EFICIENCIA DEL TURBOCOMPRESOR

La eficiencia del turbocompresor depende de la eficiencia del compresor y de la turbina como lo veremos a continuación.

2.6.1.1.1.4.5.1 EFICIENCIA DEL COMPRESOR (η_c)

La eficiencia del compresor es una medida de “que tan bien puede el impulsor del compresor bombear aire sin calentarlo”; es decir que esta eficiencia decrece a medida que aumenta la temperatura del aire atmosférico succionado al pasar por el compresor.

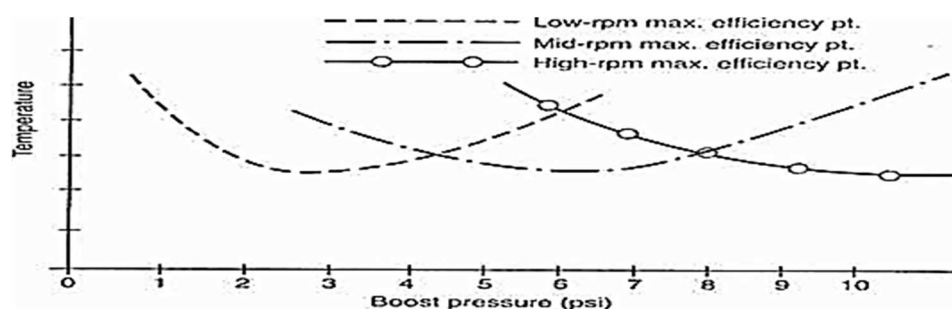


Figura 30: Puntos de máxima eficiencia (temperatura vs presión de sobrealimentación).
Fuente: Corky Bell, Maximum Boost, figura 3-2, 1997.

Como lo podemos ver en la figura 30 (línea – punto - línea), si el compresor fue seleccionado para que la máxima eficiencia se logre en el segundo tercio de régimen del motor ($3000 \text{ rpm} < E2 \leq 5000 \text{ rpm}$), esta eficiencia disminuirá en bajos y altos regímenes.

2.6.1.1.4.5.1.1 RELACIÓN DE PRESIÓN (RP)

Es la relación adimensional que se obtiene al dividir la presión absoluta medida después de pasar por el compresor ($P_{abs 2}$) entre la presión absoluta medida antes de pasar por dicho compresor ($P_{abs 1}$). Si por ejemplo el valor de “RP” es 2, eso quiere decir que el compresor aumento 2 veces la presión absoluta de entrada. Se define por la siguiente ecuación:

$$RP = \frac{P_{abs 2}}{P_{abs 1}} = \frac{P_{atm} + Boost}{P_{atm} - \nabla P} \quad Ec. 19$$

Dónde: (P_{atm}) es la presión atmosférica del lugar en donde funciona el motor, (boost) es la presión de sobrealimentación máxima deseada (PS), y (∇P) es la caída de presión en la entrada del compresor por efectos de los elementos restrictivos en el sistema de alimentación del motor.

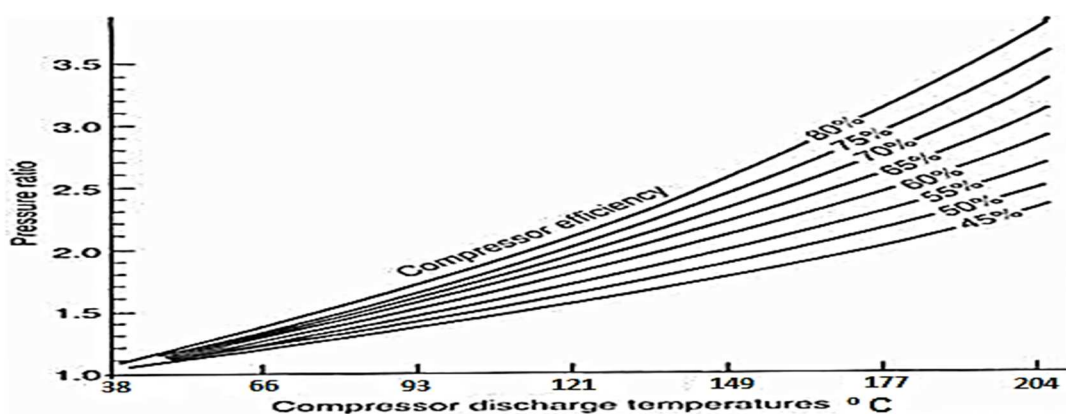


Figura 31: Eficiencia del compresor (relación de presión vs temperatura de descarga del compresor).

Fuente: Corky Bell, Maximum Boost, figura 3-6, 1997.

Como podemos ver en la figura 31, esta relación es importante a la hora de determinar la eficiencia del compresor. En el eje de las abscisas se tiene la temperatura de descarga del compresor (T_c), la cual podemos calcularla con la siguiente ecuación:

$$T_c = T_1 \cdot \left[\frac{(RP)^{\frac{K-1}{K}} - 1 + \eta_c}{\eta_c} \right] \quad [^\circ K] \quad \text{Ec. 20}$$

Dónde: ($T_1=T_{amb}$) en $[^\circ K]$ es la temperatura ambiente del lugar en donde funciona el motor, ($K=1.395$) es la relación de calores específicos del aire a presión y volumen constantes, (η_c) es la eficiencia del compresor.

2.6.1.1.1.4.5.1.2 RELACIÓN DE DENSIDAD ($R\rho$)

Es la relación adimensional que se obtiene al dividir la densidad del aire medida después de pasar por el compresor (ρ_2) entre la densidad del aire medida antes de pasar por dicho compresor (ρ_1). Si por ejemplo el valor de “ $R\rho$ ” es 2, eso quiere decir que el compresor aumento 2 veces la densidad del aire. Se define por la siguiente ecuación:

$$R\rho = \frac{\rho_2}{\rho_1} \quad \text{Ec. 21}$$

El valor de la relación de densidad también puede ser encontrado si aplicamos la siguiente ecuación:

$$R\rho = RP \cdot \frac{T_{amb}}{T_c} \quad \text{Ec. 22}$$

2.6.1.1.1.4.5.1.3 FLUJO VOLUMÉTRICO DE AIRE AL MOTOR (\dot{V}_{aire})

Se define al flujo volumétrico de aire que ingresa al motor como el volumen de aire que ingresa a los cilindros en un tiempo determinado para poder realizar un ciclo termodinámico. Su ecuación está dada por:

$$\dot{V}_{aire\ real} = \frac{\dot{m}_{aire\ real}}{\rho_{aire}} \quad \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad \text{Ec. 23}$$

Y si la relacionamos con la ecuación 9 tendremos:

$$\dot{V}_{aire\ real} = \frac{V dt \cdot N \cdot \eta_v}{k} \quad \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad \text{Ec. 24}$$

Entonces el flujo volumétrico bajo impulso (sobrealimentado) será:

$$\dot{V}_{\text{aire sobrealimentado}} = RP * \dot{V}_{\text{aire real}} \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad \text{Ec. 25}$$

Posiblemente nos encontremos con las unidades de flujo volumétrico [cfm] lo que significa “pie cubico por minuto”, cuyo factor de conversión es $1 \left[\frac{m^3}{s} \right] = 2118.882 [cfm]$.

2.6.1.1.4.5.1.4 FLUJO MÁSICO DE AIRE AL MOTOR (\dot{m}_{aire})

Se define al flujo másico de aire que ingresa al motor como la cantidad de masa de aire que ingresa a los cilindros en un tiempo determinado para poder realizar un ciclo termodinámico. (Ver ecuaciones 8 y 9).

El flujo tendrá un valor distinto por efectos del compresor (flujo másico bajo impulso) y está definida por la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{\text{aire sobrealimentado}} = \rho_2 * \dot{V}_{\text{aire sobrealimentado}} \left[\frac{Kg}{s} \right] \quad \text{Ec. 26}$$

Este último valor representa la cantidad de aire que ingresa en un motor sobrealimentado e iría ubicado en el eje de las abscisas del mapa de flujo del compresor (el cual estudiaremos posteriormente), sin embargo estos mapas son realizados a condiciones específicas, por lo cual hay que realizar una corrección ya que difieren de nuestras condiciones de operación. Por todo lo dicho, la ecuación que nos permite corregir el flujo es la siguiente:

$$\dot{m}_{\text{aire corregido}} = \frac{(\dot{m}_{\text{aire sobrealimentado}}) * \left(\frac{T_{\text{amb}}}{T_{\text{prueba}}} \right)^{0.5}}{\left(\frac{P_{\text{atm}} - VP}{P_{\text{prueba}}} \right)} \left[\frac{lb}{min} \right] \quad \text{Ec. 27}$$

Dónde: ($\dot{m}_{\text{aire sobrealimentado}}$) en [lb/min], (T_{amb}) en [°K] es la temperatura ambiente del lugar en donde funciona el motor, (T_{prueba}) en [°K] es la temperatura a la que se realizó el mapa de flujo del compresor, (P_{prueba}) en [psi] es la presión a la que se realizó dicho mapa de flujo.

($\dot{m}_{\text{aire corregido}}$) es el valor que debemos ubicar en el eje de las abscisas de los mapas de flujo de los compresores.

2.6.1.1.4.5.1.5 MAPA DE FLUJO DEL COMPRESOR

Se encarga de describir las características particulares del compresor como: rango de flujo de aire, relación de presión, eficiencia del compresor, velocidad del turbo y los límites de operación permisibles.

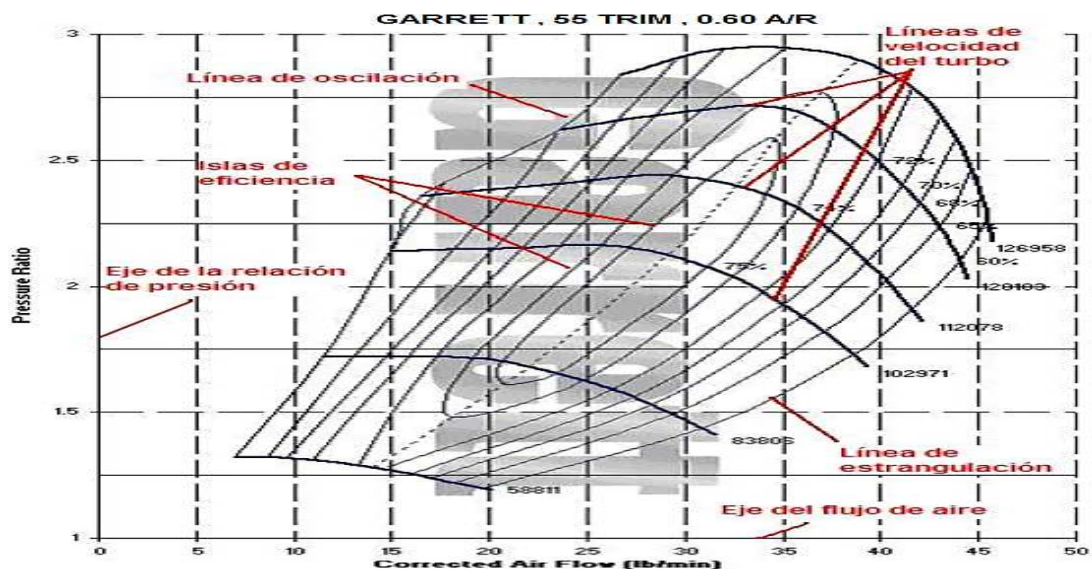


Figura 32: Mapa de flujo del compresor de un turbocompresor.

Fuente: Michael Morales, Turbocompresor, ESPE.

- **Eje del flujo de aire:** Se encuentra en el eje de las abscisas. Este indica la cantidad de aire que pasa a través del compresor y posteriormente al motor en un determinado tiempo, generalmente es expresado en: [Kg/s], [lb/min], [cfm].
- **Eje de la relación de presión:** Se encuentra en el eje de las ordenadas. Indica el rango de relaciones de presión en las que puede trabajar el compresor.
- **Islas de eficiencia:** Son regiones concéntricas que representan la eficiencia del compresor en cualquier punto del mapa. La isla con menor área se encuentra en el centro del mapa, y es el sector de máxima eficiencia del compresor. A medida que las islas se alejan del centro del mapa la eficiencia disminuye hasta llegar a las líneas de oscilación o estrangulación.
- **Línea de oscilación:** Es el límite izquierdo del mapa, y establece cual es el flujo de aire mínimo de operación. Un funcionamiento a la izquierda de esta línea representa una zona de inestabilidad, provocando presiones de sobrealimentación desconocidas que

conllevarían a oscilaciones de presión y posteriormente a la falla prematura del turbocompresor.

- **Línea de estrangulación:** Es el límite derecho del mapa, y establece cual es el flujo de aire máximo de operación. Un funcionamiento a la derecha de esta línea provocaría rápidamente la caída de la eficiencia del compresor y con ello aumentaría la velocidad del turbo a niveles críticos comprometiendo la integridad de todo el sistema.
- **Líneas de velocidad del eje del turbocompresor:** Representan velocidades constantes del eje del turbocompresor,

2.6.1.1.4.5.2 EFICIENCIA DE LA TURBINA

La eficiencia de la turbina es un parámetro que incrementa cuando su relación de presión aumenta (presión de entrada a la turbina dividida para la presión de salida de la turbina) entre un determinado flujo de gases de escape.

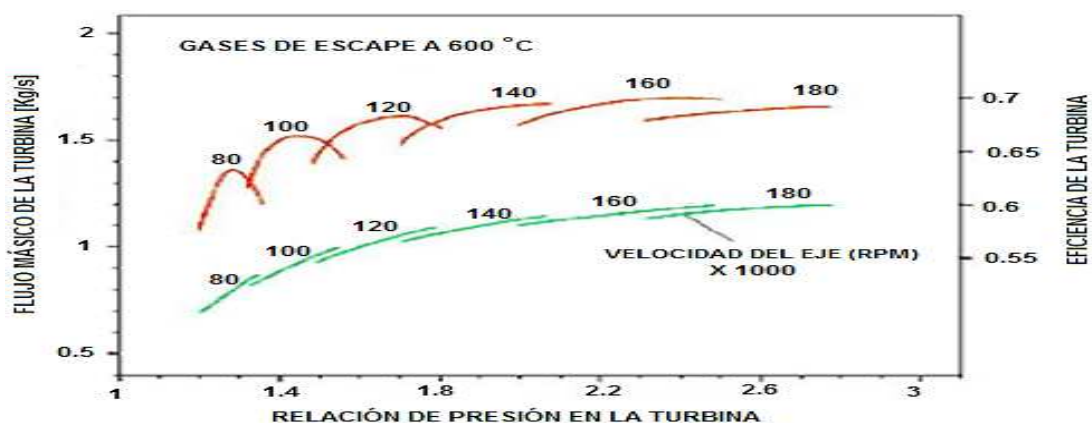


Figura 33: Mapa de flujo de la turbina de un turbocompresor.

2.6.1.1.4.6 LUBRICACIÓN DEL TURBOCOMPRESOR

En la actualidad, prácticamente todos los motores poseen una presión suficiente en el sistema de lubricación para cumplir los requerimientos de lubricación del turbocompresor. Sin embargo, una presión demasiado elevada (65 psi – 70 psi), puede causar problemas al llegar al turbo, ya que las fuerzas generadas dentro de la carcasa de los cojinetes provocarían daños en los sellos. Para estos casos se tendría que ubicar elementos restrictivos en el ducto de lubricante antes del ingreso al turbocompresor (figura 34).

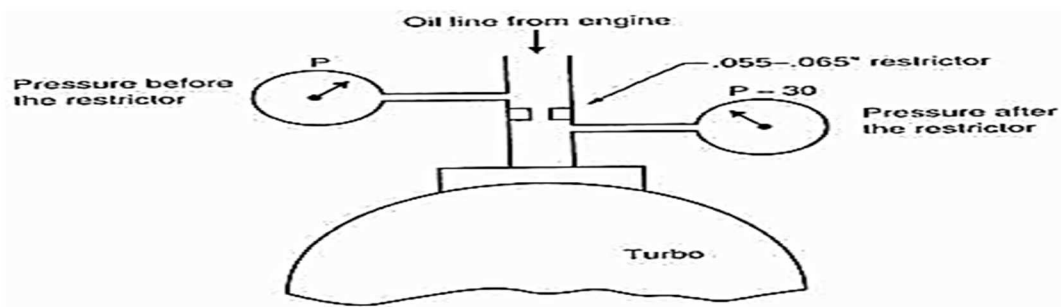


Figura 34: Reducción de la presión de aceite mediante un restrictor.
Fuente: Corky Bell, Maximum Boost, figura 4-4, 1997.

La siguiente tabla nos brinda unas buenas directrices a la hora de definir la presión y el flujo volumétrico del lubricante requeridos en el turbocompresor.

Tabla 11

Presión y flujo mínimo del lubricante del turbocompresor.

CARGA DEL TURBOCOMPRESOR	PRESIÓN MÍNIMA [PSI]	FLUJO VOLUMÉTRICO MÍNIMO [GAL/MIN]
Inactivo (PS=0)	5	0.1
Máxima carga (PS max)	25	0.5

Fuente: Corky Bell, Maximum Boost, página 42, 1997.

El diseño del sistema de lubricación del turbocompresor debe cumplir 3 parámetros para garantizar su correcto funcionamiento:

- La línea de descarga debe ser de mayor diámetro que la línea de aspiración, debido a la pérdida de presión, se requiere una mayor área de flujo.
- Las líneas de lubricante deben mantener el “radio de curvatura” más grande posible (ver figura 35) para que el lubricante pueda fluir sin dificultad (evitar caídas de presión).

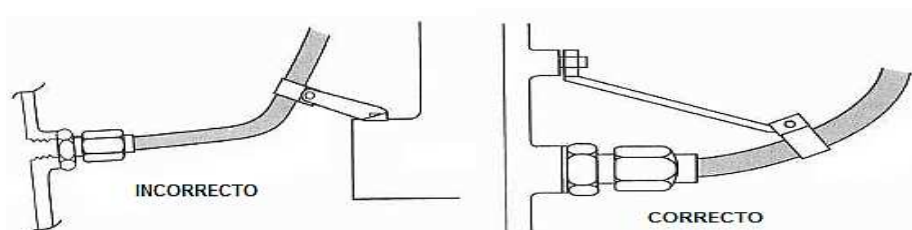


Figura 35: Líneas de lubricación – disposición.
Recuperado y corregido de: Corky Bell, Maximum Boost, página 44, 1997.

- La línea de descarga deberá descargar el lubricante por encima del nivel de aceite del depósito (ver figura 36), a fin de evitar que el aceite a mayor presión en el depósito “suba” por la línea de descarga y provoque una contrapresión, poniendo en riesgo los elementos de la carcasa del turbocompresor.

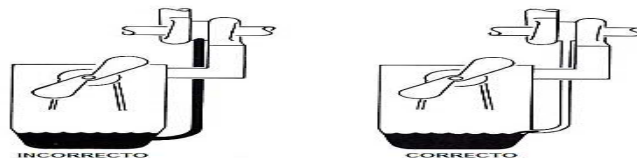


Figura 36: Descarga del lubricante hacia el depósito.
Fuente: Michael Morales, Turbocompresores, ESPE

Al momento de “apagar” el motor, la circulación del lubricante es suspendida, sin embargo, el eje del turbocompresor aún sigue girando (aproximadamente a los 100 000 rpm), y esto sin duda puede comprometer su integridad, es por ello que el motor no debe pararse inmediatamente después de haber efectuado recorridos a alta velocidad, recomendando así mantener el motor a ralentí durante 5 minutos.

2.6.1.1.1.5 ELEMENTOS Y ACCESORIOS PARA EL TURBOCARGADO

A continuación, detallaremos aquellos elementos que son comunes en un motor turbocargado, y su uso dependerá de la aplicación que va a darse al motor.

2.6.1.1.1.5.1 INTERENFRIADOR

El interenfriador es un intercambiador de calor que se lo ubica entre la descarga del compresor y el múltiple de admisión. Su objetivo es el de retirar calor del aire comprimido, pues dependiendo de la eficiencia del compresor y de “la aplicación del motor”, este tiende a aumentar de temperatura del aire, lo que provocaría una disminución importante de su densidad y posteriormente una pérdida de potencia.

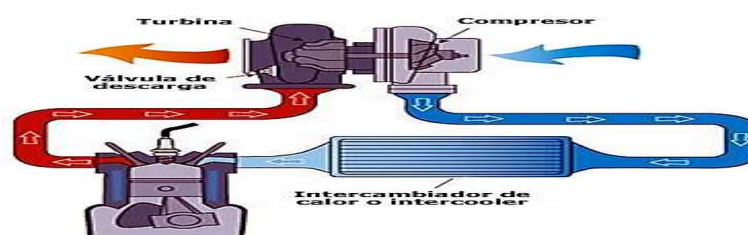


Figura 37: Sistema turbocargado con interenfriador.

2.6.1.1.1.5.2 SISTEMAS DE CONTROL

Para evitar daños en el motor y en el turbocompresor por el aumento excesivo de la presión de sobrealimentación (por altas revoluciones del eje central), existen distintos tipos de mecanismos que nos ayudan a mantener una sobrealimentación controlada.

2.6.1.1.1.5.2.1 VÁLVULA DE DESCARGA (WASTEGATE)

Como ya se estudió anteriormente, este sistema de control (que puede ser accionado de forma neumática o eléctrica), se encarga de limitar la presión de sobrealimentación del turbocompresor desviando una cantidad de gases de escape directamente al tubo de escape sin pasar por la turbina, gracias a la derivación (bypass).

2.6.1.1.1.5.2.2 VÁLVULA DE ALIVIO (BLOW-OFF)

Como se puede ver en la figura 38, esta válvula de alivio también conocida como válvula “blow-off” (sople - apagado), es un sistema bypass accionado por vacío que se instala entre la descarga del compresor y el cuerpo de aceleración.

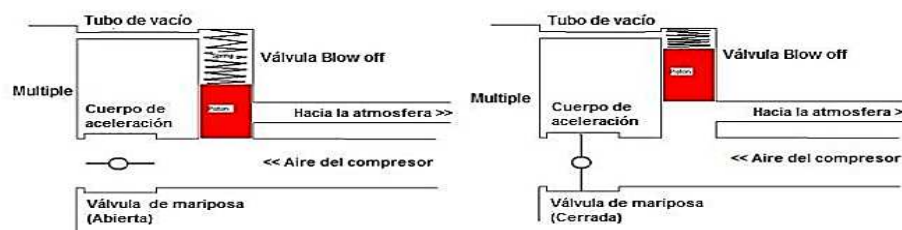


Figura 38: Válvula blow-off, abierta y cerrada.

Cuando la “válvula mariposa” es cerrada rápidamente (por efectos de manejo), el compresor continúa presurizando aire debido a su inercia, lo que provoca un “rebote” de ondas de presión e inestabilidad en el compresor, entrando de esta forma en “la zona de izquierda de oscilación del mapa de flujo del compresor”, lo que no es nada deseable ya que la eficiencia disminuye (zona de inestabilidad).

2.6.1.1.1.5.3 TUBERIAS Y ACCESORIOS

Las tuberías y sus accesorios son un factor determinante a la hora de diseñar el sistema de turbocargado, ya que el aire recorrerá estos “camino” antes de ingresar al cilindro del motor.

Cuando un fluido recorre un “circuito”, experimenta una pérdida de presión y esto se debe a las pérdidas por fricción que ocurren por dos aspectos

fundamentales: pérdidas por longitud de la tubería (HL) (ecuación 28) y pérdidas por geometría de los accesorios (Hac) (ecuación 29).

$$HL = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad [m] \quad \text{Ec. 28}$$

$$Hac = \frac{K \cdot V^2}{2 \cdot g} \quad [m] \quad \text{Ec. 29}$$

Dónde: (f) es el factor de fricción de Darcy (relacionado con la rugosidad del material), (L) longitud del conducto, (D) diámetro del conducto, (V) velocidad del fluido, (g) gravedad, (K) coeficiente de resistencia debido a la geometría del accesorio.

Entonces al momento de seleccionar las tuberías y los accesorios, se debe establecer los parámetros adecuados con el fin de reducir estas pérdidas por fricción.

2.6.1.1.1.6 TURBOALIMENTACIÓN EN MOTORES A GASOLINA

La turboalimentación en motores a gasolina, presenta problemas previos que deben ser considerados antes de iniciar el diseño, sin embargo, este proyecto lo que pretende es compensar la caída de potencia (y torque) por efectos de la altitud, por ello el rango de sobrealimentación será bajo, lo que significa que el motor sufrirá casi los mismos esfuerzos mecánicos que un motor atmosférico a nivel mar, pero mayores esfuerzos térmicos.

La relación de compresión del motor (r) definida por la ecuación (30), es un factor que se debe considerar a la hora de sobrealimentar un MEP.

$$r = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{VP_{MI}}{VP_{MS}} = \frac{V_{tu}}{V_{ccu}} = \frac{V_{du} + V_{ccu}}{V_{ccu}} = \frac{V_1}{V_2} \quad \text{Ec. 30}$$

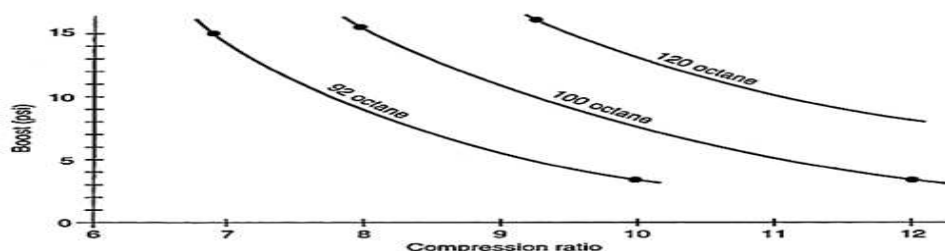


Figura 39: Octanaje necesario en función de la presión de sobrealimentación y la relación de compresión.

Fuente: Michael Morales, Relación de compresión, ESPE.

Las elevadas relaciones de compresión pueden favorecer la detonación y el autoencendido del fluido motriz, y más cuando un motor posee una presión de sobrealimentación (boost), por ello, la figura 39 es una buena directriz a la hora de determinar si el motor turbocargado necesita cambios de la relación de compresión u octanaje del combustible con el fin de evitar fallos por altas temperaturas.

Por otro lado, al momento de turbocargar un MEP, lo que se aconseja es enriquecer la mezcla ($\lambda < 1$) a “bajas revoluciones” con el fin de elevar la temperatura de los gases de escape, para favorecer el inicio del funcionamiento de la turbina. Así mismo, a elevados regímenes del motor, lo que se aconseja es empobrecer la mezcla ($\lambda > 1$) con el fin de disminuir la temperatura de los gases de escape para garantizar la integridad del turbocompresor.

2.6.1.1.2 COMPRESORES ACCIONADOS POR EL CIGÜEÑAL

Para su funcionamiento aprovechan una cantidad de energía del motor a sobrealimentar. Son accionados mediante el cigüeñal por: correas dentadas, cadenas o engranajes. Se clasifican en: volumétricos, dinámicos y compres.

2.6.1.1.2.1 COMPRESORES VOLUMÉTRICOS

También conocidos como compresores de desplazamiento positivo. El aire aumenta su presión mediante su reducción de volumen. Pueden ser de 4 tipos: reciprocante, roots, lysholm y “g”.

2.6.1.1.2.1.1 COMPRESOR RECIPROCANTE (ALTERNATIVO)

El compresor reciprocante posee uno o más cilindros en los cuales hay un émbolo de movimiento alternativo que provoca la apertura y el cierre de válvulas para aspirar y comprimir el aire atmosférico.

El flujo del fluido es intermitente, es decir que presenta pulsaciones (ondas de presión), provocando dificultades a la hora de mantener una presión de sobrealimentación estable.

Su coste de mantenimiento es el más alto de todos, y su uso automotriz es casi nulo.



Figura 40: Compresor reciprocante.

2.6.1.1.2.1.2 COMPRESOR ROOTS

El compresor roots, también conocido como “compresor de lóbulos”, es el compresor volumétrico más utilizado en los automóviles.

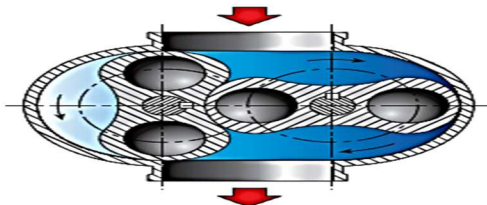


Figura 41: Estructura de un compresor Roots.

Está compuesto por dos rotosres “lóbulos”, cuya sección transversal es en forma de “ocho”. Los rotosres giran entre 10000 rpm a 15000 rpm en sentido contrario, provocando un efecto de succión y de compresión del aire atmosférico.

Los rotosres no se encuentran en contacto entre ellos ni con las paredes de la carcasa, lo que provoca una baja estanqueidad del sistema, resumiéndose en fugas de aire y de presión.

2.6.1.1.2.1.3 COMPRESOR LYSHOLM

Este compresor fue creado con el fin de reducir los problemas de estanqueidad del compresor roots.

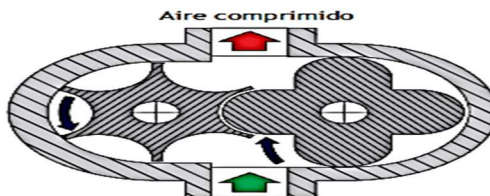


Figura 42: Estructura de un compresor Lysholm.

Está conformado por dos piezas helicoidales ligeras que giran engranadas entre sí.

2.6.1.1.2.1.4 COMPRESOR “G”

Este tipo de compresor creado por la marca Volkswagen está prácticamente en desuso.

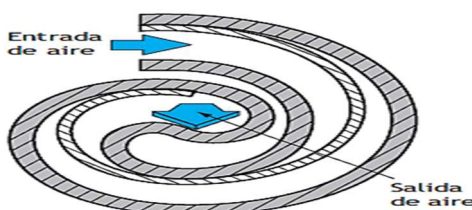


Figura 43: Estructura de un compresor tipo “G”.

Se caracteriza por disponer de un conducto en forma de caracol, el cual posee en su interior una pieza que describe un movimiento no rotativo (mediante una excéntrica). Esta pieza excéntrica, reduce el volumen del canal espiral provocando que el aire salga por un extremo a mayor presión.

Son de gran tamaño, su sistema de lubricación es complejo, presentan problemas de estanqueidad y su costo de mantenimiento es alto ya que sus elementos presentan mayor desgaste por el contacto entre los elementos.

2.6.1.1.2.2 COMPRESORES DINÁMICOS

En estos tipos de compresores, se incrementa la energía cinética del aire para después convertirla en presión. Pueden ser de 2 tipos: centrífugo y axial.

2.6.1.1.2.2.1 COMPRESOR CENTRÍFUGO

También conocido como compresor "radial", está conectado al cigüeñal ya sea por engranes o poleas. Posee un impulsor y una carcasa en forma de caracol (voluta). El aire es inducido por el rodete en dirección axial al eje, para aumentar su velocidad cinética, la cual se transformará posteriormente en energía de presión por efectos de la carcasa (difusor).

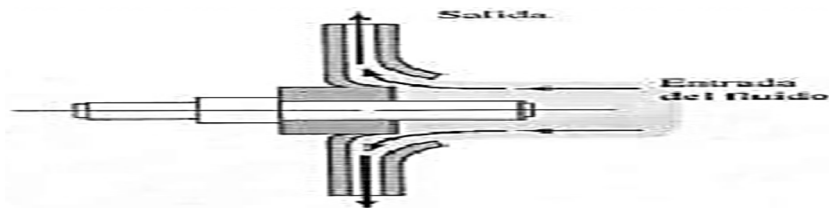


Figura 44: Dinámica del aire en un compresor centrífugo.

2.6.1.1.2.2.2 COMPRESOR AXIAL

Este compresor consta de un eje con alabes rotativos (rotor) y una carcasa cónica con álabes fijos (estator). El aire ingresa por una tobera en dirección axial, para aumentar su velocidad cinética, la que también aumenta gracias a los alabes fijos. Por su parte, los alabes del rotor actúan como difusores, transformando la energía cinética del aire en energía de presión.

Estos tipos de compresores no son comunes en los automóviles.

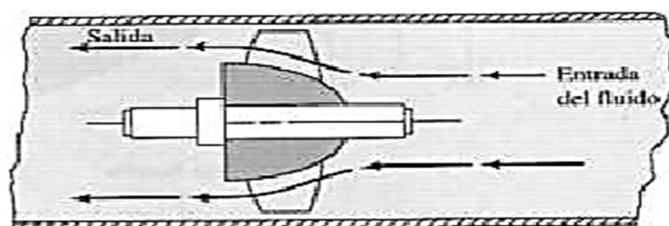


Figura 45: Dinámica del aire en un compresor axial.

El compresor axial presenta las siguientes ventajas frente al compresor centrífugo: mejor rendimiento a altos regímenes de giro y menor volumen por ende menor peso.

2.6.1.1.2.3 COMPREX

Este tipo de compresor recibe su nombre por la forma en que realiza su funcionamiento, ya que sede las “ondas de presión” de los gases de escape al aire succionado.



Figura 46: Compresor compresor.

Este intercambio de las ondas de presión se efectúa por medio de unas finas paredes radiales de un tambor que recibe el movimiento del cigüeñal del motor, pero prácticamente no consume energía para su funcionamiento.

Su régimen de funcionamiento máximo está entre los 15 000 rpm a 20 000 rpm, y valores superiores a estos disminuyen su eficiencia.

El equipo es de gran tamaño, produce ruido excesivo y un aumento considerable de la temperatura del aire, debido a la cercanía con los gases de escape.

2.6.1.2 MÉTODOS QUÍMICOS DE SOBREALIMENTACIÓN

Para realizar una sobrealimentación química se necesita de la presencia de una sustancia que contenga oxígeno, con el fin de aumentar la cantidad de comburente.

Existen muchas sustancias químicas (líquidas o gaseosas), que contienen cantidades considerables de oxígeno como componente, algunas de estas son:

- **Nitro metano:** Es un líquido ligeramente viscoso, cuya fórmula química es (CH_4NO_2) . Contiene el 53% de oxígeno en masa. Su costo es elevado.

- **Nitro propano:** Esta sustancia en estado líquido, posee una fórmula química ($C_3H_8NO_2$). Su uso es limitado ya que presenta un elevado costo además de ser difícil de obtener.
- **Peróxido de hidrógeno:** También conocido como “agua oxigenada”, su fórmula química es (H_2O_2). Se lo considera una buena opción para la sobrealimentación, sin embargo presenta problemas cuando se forma el fluido motriz, ya que posee un alto calor latente de evaporización.
- **Óxido nitroso:** Es un gas incoloro, también conocido como “monóxido de di nitrógeno” (nitro), cuya fórmula química es (N_2O). Es la alternativa de sobrealimentación química más viable dado su precio y seguridad. Son comercializados por “kits”, los cuales deben ser recargados una vez agotada la cantidad de sustancia.

La desventaja principal que poseen los métodos químicos de sobrealimentación es la “autonomía” en la sobrealimentación, que como se dijo en el caso del óxido nitroso, estos kits deben ser recargados una vez consumida toda la sustancia, lo que presenta problemas e incomodidades para el usuario.

CAPÍTULO III

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE SOBREALIMENTACIÓN

3.1 DISEÑO DEL SISTEMA

3.1.1 ESPECIFICACIONES DE LA MOTOCICLETA ATMOSFÉRICA

Las especificaciones generales de la motocicleta atmosférica están detalladas en la siguiente tabla:

Tabla 12

Especificaciones de la motocicleta a sobrealimentar.

	MOTOACCESORIOS tiene lo que tu buscas !					
	FICHA TÉCNICA					
	Código de la Motocicleta:	LON-01	Marca:	Loncin	Modelo:	LX 250PY
Año de fabricación:	2008	Número del motor :	LC166FMMVC041561			
Marca:	LONCIN	Número del chasis:	LLCLYM1038F001172			
Color:	Azul	Tipo de motor:	4t , enfriamiento por aire			
Número de cilindros:	1	Diámetro del cilindro:	67 mm			
Carrera:	65 mm	Cilindrada:	230 cc			
Relación de compresión:	9.2 : 1	Potencia máxima:	11.5 Kw (15.42hp) @ 6500 rpm			
Sistema de arranque:	Eléctrico	Torque máximo:	17.5 N.m (12.54 lb. ft) @ 5500 rpm			
Sistema de lubricación:	A presión - carter húmedo	Sistema de encendido:	CDI (capacitive discharge ignition)			
Transmisión :	Manual, 5 velocidades	Sistema de suministro de aire :	Aspiración natural			
Peso nominal:	118 Kg	Sistema de suministro de combustible:	Carburador - depresión			
Tánque de combustible:	8.8 litros máximo	Batería:	12 v	Normas de aplicación:	INEN 2656 , INEN 2204 , ISO 5130	

3.1.2 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR

- **Régimen de giro máximo del motor:** Dado que uno de los objetivos de este proyecto fue “compensar” la caída de potencia por efectos de la altitud, no se modificó las características originales del fabricante.
- **Régimen de giro del motor en el que se producirá el mayor torque:** El uso de un sistema de sobrealimentación aumenta la potencia máxima y torque máximo de un motor, los que se esperó obtener a las 5000 rpm.
- **Eficiencia volumétrica (η_v):** “Valores típicos máximos de eficiencia volumétrica para motores atmosféricos están en el rango de 80% a 90 %” (Internal Combustion Engine Fundamentals, John B. Heywood, MIT). Por lo que para efectos de cálculos se tomó un valor intermedio de 85%.

3.1.3 CONDICIONES AMBIENTALES DE OPERACIÓN

La motocicleta sobrealimentada fue construida para utilizarla en lugares de altitud, por ende según el estudio de “la densidad del aire en sitios específicos del Ecuador” (ver sección 2.4), se diseñó el sistema para que pueda trabajar sin problemas hasta la ciudad más alta del Ecuador, Tulcán, la cual presenta las siguientes condiciones ambientales:

- **Altitud:** 3000 [m].
- **Presión atmosférica:** 10.3021 [psi] = 71.0304 [KPa] = 0.7010 [atm].
- **Temperatura media anual:** 11.8°C = 284.95°K.
- **Humedad relativa:** 90.
- **Densidad del aire seco:** 0.8685 [Kg/m³].
- **Densidad del aire húmedo:** 0.8629 [Kg/m³].

De acuerdo a las condiciones ambientales de operación y a la tabla 10, el rango de sobrealimentación fue bajo, con un máximo de hasta 5 [psi] de presión de sobrealimentación “boost”, por ello, también se mantuvo la relación de compresión del motor en 9.2:1, ya que según la figura 39, para un “boost” de 5 [psi] se debe utilizar únicamente un combustible de 92 octanos (súper) con el fin de evitar efectos de detonación y autoencendido.

3.1.4 MODELO MATEMÁTICO

3.1.4.1 FLUJO VOLUMÉTRICO DE ENTRADA DE AIRE AL MOTOR

Para calcular el flujo volumétrico se utilizó la ecuación 24:

$$\dot{V}_{aire\ real} = \frac{Vdt \cdot N \cdot \eta_v}{k} \quad \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Y para calcular el volumen desplazado total (Vdt) nos valemos de la ecuación 10:

$$Vdt = \frac{n \cdot L \cdot \pi \cdot D^2}{4} \quad [m^3]$$

$$Vdt = \frac{(1) \cdot (0.065) \cdot (\pi) \cdot (0.067)^2}{4} \quad [m^3]$$

$$Vdt = 2.2917 E - 4 \quad [m^3]$$

Si además: $\eta_v = 85\%$, $N = 5000 \text{ [rpm]} = 83.3333 \text{ [rev/s]}$, $k = 2 \text{ [rev]}$. Entonces:

$$\dot{V}_{aire\ real} = \frac{(2.2917E - 4) \cdot (83.3333) \cdot (0.85)}{2} \quad \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$\dot{V}_{aire\ real} = 0.0081 \quad \left[\frac{m^3}{s} \right] = 17.1978 \text{ [cfm]}$$

3.1.4.2 RELACIÓN DE PRESIÓN (RP) DEL COMPRESOR

Para determinar esta relación se utilizó la ecuación 19:

$$RP = \frac{P_{abs\ 2}}{P_{abs\ 1}} = \frac{P_{atm} + Boost}{P_{atm} - \nabla P}$$

En donde la presión atmosférica, $P_{atm} = 10.3021 \text{ [psi]}$, corresponde a la presión atmosférica de Tulcán. El Boost que deberá entregar el sobrealimentador es de 4.3979 [psi] con la finalidad de tener una misma presión de trabajo que la del nivel del mar. La caída de presión (∇P) se calculó considerando un sistema neumático de la siguiente forma:

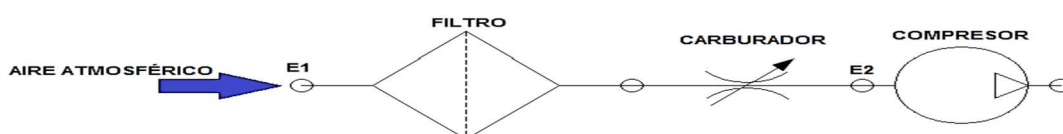


Figura 47: Elementos anteriores al compresor.

La pérdida de carga por la longitud (HL), el filtro (H filtro) y el carburador (H carburador) se obtienen mediante la ecuación 28 y 29:

$$HL = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} = (0.028) \cdot \frac{(0.095)}{(0.030)} \cdot \frac{(11.4591)^2}{2(9.81)} = 0.5934 [m]$$

$$H_{\text{filtro}} = \frac{K \cdot V^2}{2 \cdot g} = \frac{3.2 (11.4591)^2}{2 (9.81)} = 21.4167 [m]$$

$$H_{\text{carburador}} = \frac{K \cdot V^2}{2 \cdot g} = \frac{5.6 (11.4591)^2}{2 (9.81)} = 37.4792 [m]$$

En donde el factor de fricción de Darcy (f) se obtuvo con la ayuda del diagrama de Moody (anexo 1), calculando previamente el número de Reynolds (Ec.31) y la relación (ε/d) (coeficiente de rugosidad / diámetro del ducto):

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad \text{Ec. 31}$$

$$Re = \frac{(0.8629)(11.4591)(0.03)}{(2.37E - 5)} = 12516.5283 = 1.2516 E4$$

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.0015}{30} = 0.00005$$

La velocidad del fluido (V) se calculó a partir del flujo volumétrico de entrada de aire al motor (sección 3.1.4.1) para una sección circular de diámetro 30 mm, la cual corresponde a la entrada del carburador.

$$Q = A \cdot V \quad \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad \text{Ec. 32}$$

$$0.0081 = \frac{\pi(0.03)^2}{4} V$$

$$V = 11.4591 \quad \left[\frac{m}{s} \right]$$

La viscosidad dinámica del aire (μ) así como los coeficientes de resistencia (K) se obtuvieron del anexo 2 y anexo 3 respectivamente. Y (L) corresponde a la suma de las longitudes de los ductos anteriores al compresor.

Por ultimo usamos la ecuación de conservación de la energía (Ec.33):

$$E1 - H \text{ filtro} - H \text{ carburador} - HL = E2 \quad \text{Ec. 33}$$

$$Z1 + \frac{V1^2}{2g} + \frac{P1}{\gamma} - H \text{ filtro} - H \text{ carburador} - HL = Z2 + \frac{V2^2}{2g} + \frac{P2}{\gamma}$$

$$\nabla P = P1 - P2 = \rho g (H \text{ filtro} + H \text{ carburador} + HL) = (0.8629)(9.81)(21.4167 + 37.4792 + 0.5934)$$

$$\nabla P = 503.5798 \text{ [Pa]} = 0.0730 \text{ [psi]}$$

Entonces la relación de presión quedó:

$$RP = \frac{10.3021 + 4.3979}{10.3021 - 0.0730}$$

$$RP = 1.4371$$

3.1.4.3 FLUJO VOLUMÉTRICO BAJO IMPULSO

El flujo volumétrico bajo impulso se calculó mediante la ecuación 25:

$$\dot{V}_{\text{aire sobrealimentado}} = RP * \dot{V}_{\text{aire real}} \quad \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$\dot{V}_{\text{aire sobrealimentado}} = (1.4371)(0.0081) \quad \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$\dot{V}_{\text{aire sobrealimentado}} = 0.0116 \quad \left[\frac{m^3}{s} \right] = 24.579 \text{ [cfm]}$$

3.1.4.4 TEMPERATURA DEL AIRE DESPUÉS DE PASAR POR EL COMPRESOR

Para hallar dicha temperatura utilizamos la ecuación 20:

$$Tc = T1 \cdot \left[\frac{(RP)^{\frac{K-1}{K}} - 1 + \eta_c}{\eta_c} \right] \quad [^{\circ}K]$$

Dónde: K=1.395 (relación de calores específicos del aire a presión y volumen constantes), $\eta_c = 60\%$, $T1 = 11.8^{\circ}C = 284.95^{\circ}K = Tamb$. Entonces:

$$Tc = 284.95 \left[\frac{(1.4371)^{\frac{1.395-1}{1.395}} - 1 + 0.60}{0.60} \right] \quad [^{\circ}K]$$

$$Tc = 336.3056 \text{ [}^{\circ}K\text{]} = 63.1556 \text{ [}^{\circ}C\text{]} = T2$$

3.1.4.5 RELACIÓN DE LA DENSIDAD EN EL COMPRESOR

Esta relación se calculó mediante la ecuación 22:

$$R \rho = RP \cdot \frac{T_{amb}}{T_c}$$

$$R \rho = (1.4371) \cdot \frac{284.95}{336.3056}$$

$$R \rho = 1.2176$$

Entonces, según la ecuación 21, la densidad del aire al salir del compresor quedó:

$$R \rho = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

$$\rho_2 = R \rho \cdot \rho_1$$

$$\rho_2 = 1.2176 (0.8629)$$

$$\rho_2 = 1.0507 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

3.1.4.6 FLUJO MÁSIKO DE ENTRADA DE AIRE AL MOTOR

Para encontrar el flujo másico de aire teórico del motor atmosférico, usamos la ecuación 9:

$$\dot{m}_{aire\ te\acute{o}rico} = \frac{V dt \cdot N \cdot \rho_{aire}}{k} \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$\dot{m}_{aire\ te\acute{o}rico} = \frac{(2.2917E - 4) \cdot (83.3333) \cdot (0.8629)}{2} \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$\dot{m}_{aire\ te\acute{o}rico} = 0.0082 \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

Para calcular el flujo másico real usamos la ecuación 8:

$$\eta_{volum\acute{e}trica} = \frac{\dot{m}_{aire\ real}}{\dot{m}_{aire\ te\acute{o}rico}} \quad [\%]$$

$$\dot{m}_{aire\ real} = \eta_{volum\acute{e}trica} * \dot{m}_{aire\ te\acute{o}rico} \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$\dot{m}_{aire\ real} = 0.85 (0.0082) \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$\dot{m}_{aire\ real} = 0.007 \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

3.1.4.7 FLUJO MÁSIICO BAJO IMPULSO

Para calcular el flujo másico bajo impulso nos valemos de la ecuación 26:

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{aire sobrealimentado}} &= \rho_2 * \dot{V}_{\text{aire sobrealimentado}} \left[\frac{Kg}{s} \right] \\ \dot{m}_{\text{aire sobrealimentado}} &= (1.0507) * (0.0116) \left[\frac{Kg}{s} \right] \\ \dot{m}_{\text{aire sobrealimentado}} &= 0.0122 \left[\frac{Kg}{s} \right] = 1.6138 \left[\frac{lb}{min} \right]\end{aligned}$$

3.1.4.8 FLUJO MÁSIICO CORREGIDO DE ENTRADA DE AIRE AL MOTOR SOBREALIMENTADO

Las condiciones ambientales a las que los mapas del compresor son realizados son:

- P prueba = 14.696 [psi]
- T prueba = 20°C = 293.15 °K

Entonces utilizamos la ecuación 27 para calcular el flujo másico de aire corregido:

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{aire corregido}} &= \frac{(\dot{m}_{\text{aire sobrealimentado}}) * \left(\frac{T_{\text{amb}}}{T_{\text{prueba}}} \right)^{0.5}}{\left(\frac{P_{\text{atm}} - \nabla P}{P_{\text{prueba}}} \right)} \left[\frac{lb}{min} \right] \\ \dot{m}_{\text{aire corregido}} &= \frac{(1.6138) * \left(\frac{284.95}{293.15} \right)^{0.5}}{\left(\frac{10.3021 - 0.0730}{14.696} \right)} \left[\frac{lb}{min} \right] \\ \dot{m}_{\text{aire corregido}} &= 2.2859 \left[\frac{lb}{min} \right] = 0.0173 \left[\frac{Kg}{s} \right]\end{aligned}$$

También se puede expresar este flujo másico como flujo volumétrico, quedando:

$$\begin{aligned}\dot{V}_{\text{aire corregido}} &= \frac{\dot{m}_{\text{aire corregido}}}{\rho_2} \left[\frac{m^3}{s} \right] \\ \dot{V}_{\text{aire corregido}} &= \frac{0.0173}{1.0507} \left[\frac{m^3}{s} \right] \\ \dot{V}_{\text{aire corregido}} &= 0.0165 \left[\frac{m^3}{s} \right] = 0.99 \left[\frac{m^3}{min} \right] = 34.9616 [cfm]\end{aligned}$$

Estos valores corregidos son los que se deben localizar en el eje de las abscisas de los mapas de flujo del compresor.

3.1.5 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE SOBREALIMENTACIÓN

En base al estudio de la sección 2.6.1, el método de sobrealimentación idóneo para la motocicleta Loncin LX 250 PY, fue aquel que arrojó la matriz de decisión, a través del mayor puntaje de calificación.

Tabla 13

Combinex matrix para encontrar el factor de peso de cada parámetro de decisión

COMBINEX MATRIX											
ORD	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	1	2	3	4	5	6	7 (n+1)	Σ	INDICE	WF
1	Aprovechamiento de energía desperdiciada		1	1	1	1	1	1	6	0.2857	0.28
2	Ruido	0		1	1	1	1	1	5	0.2381	0.24
3	Precio	0	0		1	1	1	1	4	0.1905	0.19
4	Dimensiones	0	0	0		0.5	1	1	2.5	0.1190	0.12
5	Respuesta a régimen bajo y medio	0	0	0	0.5		1	1	2.5	0.1190	0.12
6	Facilidad de montaje	0	0	0	0	0		1	1	0.0476	0.05
Σ									21	1.0000	1

Tabla 14

Matriz de decisión para la selección del sistema de sobrealimentación

MATRIZ DE DECISIÓN										
ORD	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	WF	TURBO DE GEOMETRÍA FIJA		TURBO DE GEOMETRÍA VARIABLE		COMPRESOR ROOTS		COMPRESOR CENTRIFUGO	
			RF1	CALF 1	RF2	CALF 2	RF4	CALF 3	RF7	CALF 4
			1	Aprovechamiento de energía desperdiciada	0.28	9	2.52	10	2.8	0
2	Ruido	0.24	10	2.4	10	2.4	7	1.68	8	1.92
3	Precio	0.19	9	1.71	6	1.14	4	0.76	10	1.9
4	Dimensiones	0.12	9	1.08	7	0.84	5	0.6	10	1.2
5	Respuesta a régimen bajo y medio	0.12	8	0.96	9	1.08	10	1.2	10	1.2
6	Facilidad de montaje	0.05	10	0.5	10	0.5	5	0.25	6	0.3
Σ		1	59.5	9.17	58.6	8.76	45.5	4.49	52	6.52

El compresor roots y centrifugo tienen una calificación de cero porque no aprovechan ninguna energía desperdiciada del motor, ya que para su funcionamiento utilizan energía del cigüeñal. El compresor roots es el más ruidoso, voluminoso y costoso de todos. El compresor roots es el más difícil de montar al motor, dado su funcionamiento y dimensiones. Entonces de acuerdo a la tabla 14, el método de sobrealimentación seleccionado será un **turbocompresor de geometría fija**, el cual deberá cumplir con los siguientes parámetros de funcionamiento:

- **Rango de sobrealimentación:** De acuerdo a la tabla 10, el rango de sobrealimentación será bajo. La operación del turbocompresor será de máximo hasta 5 [psi] de sobrealimentación “boost”.
- **Turbina:** Según lo estudiado en la sección (2.6.1.1.1.3.1), utilizamos la figura 25 para obtener un rango del diámetro del exductor de la turbina considerando el flujo volumétrico del compresor (34.9616 cfm), se obtuvo:
Rango del diámetro del exductor - turbina: (20.32 - 28.575) mm o (0.8 – 1.125) in
 Como el motor de la motocicleta posee un cilindraje bajo, debemos utilizar una relación (A/R) de turbina pequeña (≤ 0.7) (ver figura 29) para garantizar sobrealimentación a bajas revoluciones.
- **Sistema de control:** El control de la presión de sobrealimentación se realizará con una válvula de descarga (wastegate), con accionamiento neumático.

La existencia de turbocompresores para MEP en nuestro medio es muy limitada, y más aún para motores de bajo cilindraje, lo que obligó a buscar turbos en mercados internacionales como: Estados Unidos, Japón, China, etc., obteniendo la siguiente tabla de preselección:

Tabla 15

Características técnicas de los turbocompresores preseleccionados.

TURBOCOMPRESOR		CARACTERÍSTICAS									
MARCA	SERIE	A/R (C)	A/R (T)	TRIM (C)	TRIM (T)	ΦINDUC (C) (mm)	ΦEXDUC (T) (mm)	VÁLVULA DESCARGA (accionamiento)	UBICACIÓN	DISPONIBILIDAD (días)	PRECIO (dólares)
IHI	RHB31	0.7	0.26	42.8	55.5	33.88	31	Neumático	Japón	60	500
ECOTRONS	VZ21	0.31	0.30	41.1	54.01	25	28	Neumático	E.U	30	350
CR CONCEPTS	TBC GT15	0.48	0.35	59.88	69.3	37.28	38.1	Neumático	China	60	180
CX RACING	GT15 T15	0.35	0.32	55.18	71.44	36.40	34.95	Neumático	E.U	30	210
GARRETT	GT0632SZ	0.32	0.18	50	72	22.63	30	Neumático	E.U	30	760

En la tabla 15 podemos observar 5 turbocompresores con sus respectivas características técnicas, de estos se despreciaron los turbos CR concepts y CX Racing, ya que no facilitaban al cliente los mapas de flujo del compresor.

Entonces con los 3 turbos restantes se procedió a ubicar los valores obtenidos de la sección 3.1.4 (punto de diseño) en sus mapas de flujo:

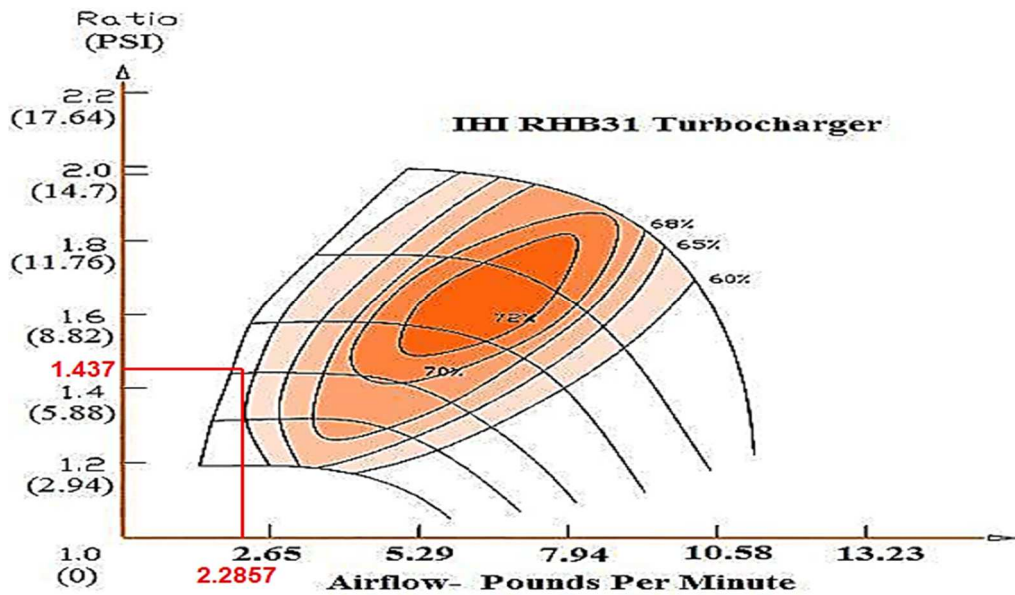


Figura 48: Ubicación del punto de diseño en el mapa de flujo del turbo IHI RHB31

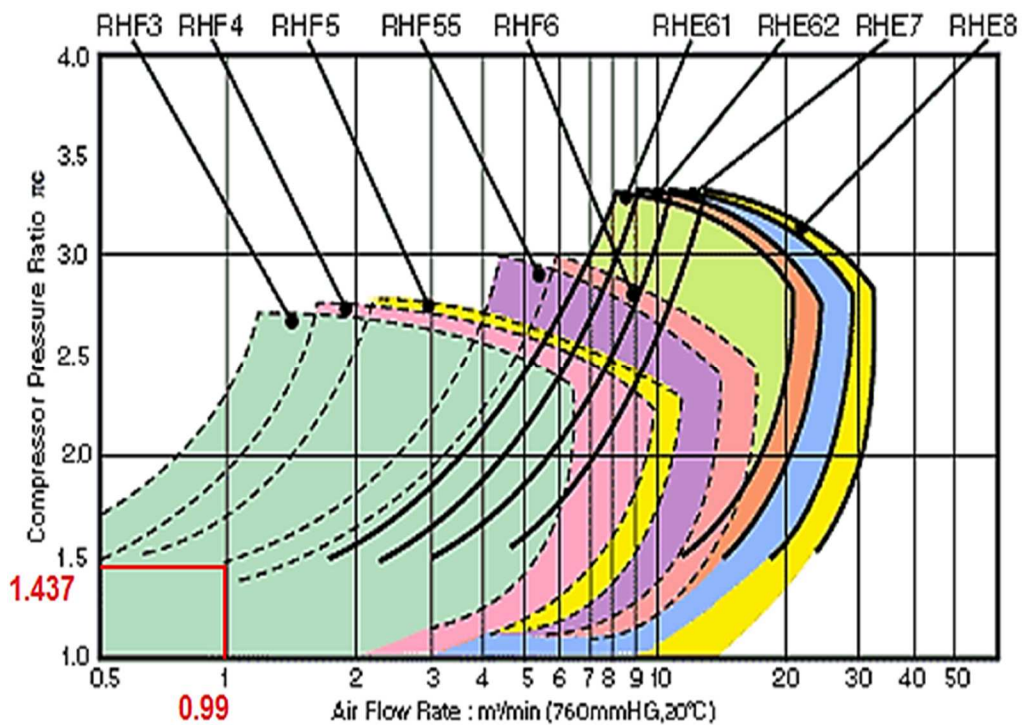


Figura 49: Ubicación del punto de diseño en el mapa de flujo del turbo Ecotrons VZ21.

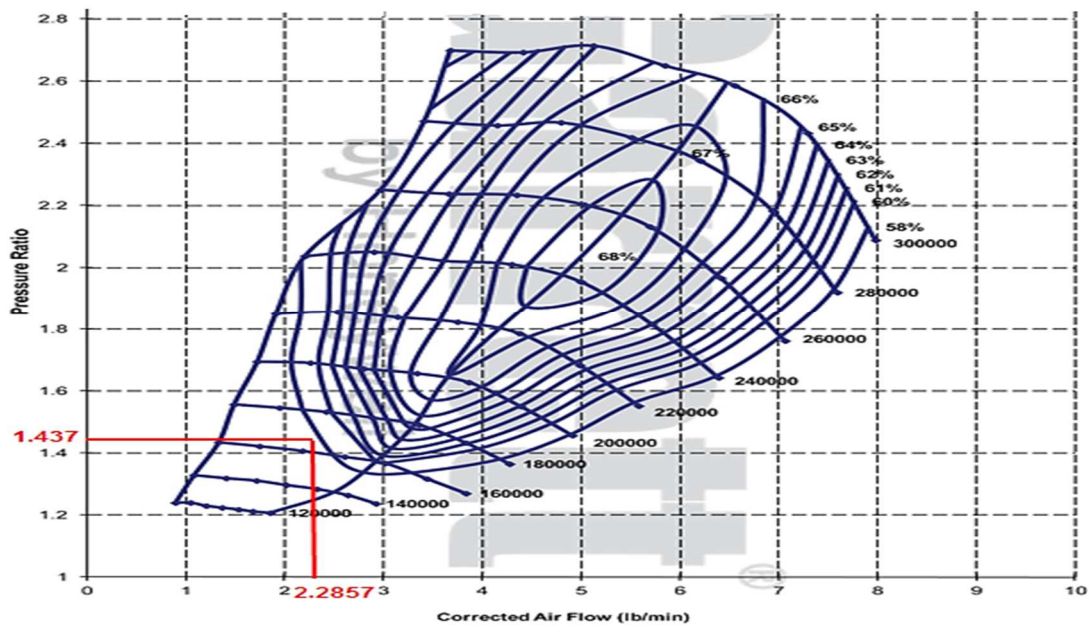


Figura 50: Ubicación del punto de diseño en el mapa de flujo del turbo Garrett GT0632SZ.

- **IHI RHB31:** Este turbocompresor se descartó, ya que como se puede observar en la figura 48, el punto de diseño cae en una zona cercana a la línea de oscilación, es decir en una zona de inestabilidad, lo que provocaría presiones de sobrealimentación desconocidas, produciendo oscilaciones de presión y finalmente la falla prematura del turbocompresor.
- **ECOTRONS VZ21:** En la figura 49 se puede observar que el fabricante no especifica las islas de eficiencia, sin embargo el punto de diseño es más centrado en este mapa de flujo que en el IHI RHB31, esto se debe a que la dimensión del exductor de la turbina es menor, permitiendo menores flujos de operación.
- **GARRETT GT0630SZ:** Este turbocompresor también se descartó, pues como se puede observar en la figura 50, el punto de diseño cae en una zona cercana a la línea de oscilación, lo que provocaría los mismos efectos del turbo IHI RHB31.

Por lo visto anteriormente, el turbocompresor seleccionado para la motocicleta Loncin LX 250 PY, fue el **Ecotrons VZ21** ya que cumple con todos los requerimientos preestablecidos. Las características técnicas detalladas de este turbo se encuentran en el anexo 4 del presente proyecto.

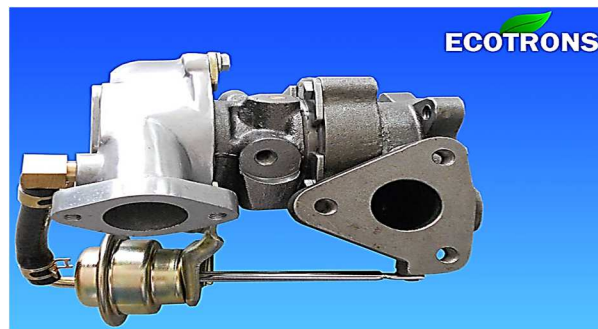


Figura 51: Turbocompresor Ecotrons VZ21.

3.1.6 COMPORTAMIENTO ESTIMADO DE LA MOTOCICLETA SOBREALIMENTADA

Con el sistema de sobrealimentación seleccionado se esperó un incremento de la potencia del 21.7854% aproximadamente, la cual se puede evidenciar en la siguiente figura:

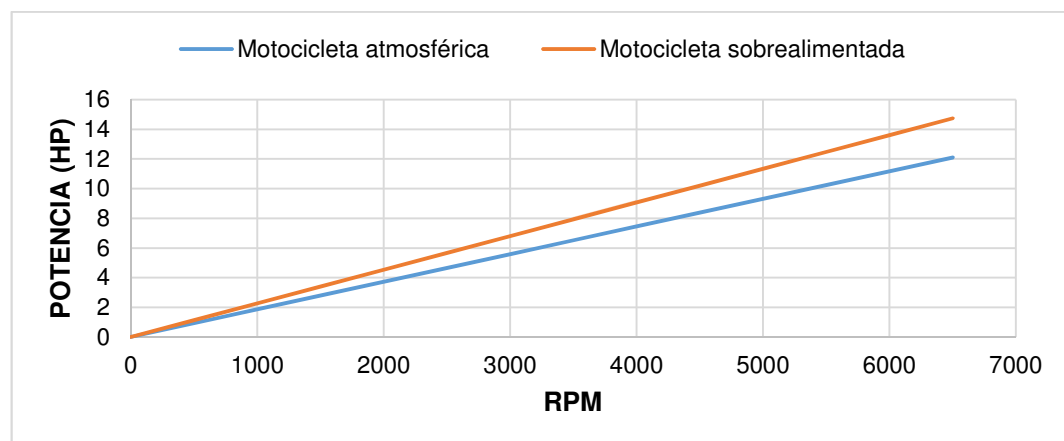


Figura 52: Comportamiento estimado de la potencia de la motocicleta sobrealimentada.

Esta simulación fue realizada en Excel estableciendo los siguientes parámetros:

- $Vdt = 2.2917 E - 4 [m^3]$
- $\dot{Q} \text{ neto gasolina} = 42.5 [MJ/Kg]$
- $\rho \text{ aire atmosférico} = 0.8629 [Kg/m^3]$
- $\rho \text{ aire sobrealimentado} = 1.0507 [Kg/m^3]$
- $\eta v = 85 \%$
- $\eta t = 35 \%$
- $A/C = 15 / 1$

Así por ejemplo, para un valor de $N=5000$ rpm:

El flujo másico de aire teórico (Ec.9) para la motocicleta atmosférica y sobrealimentada fue:

$$\dot{m}_{\text{aire teórico atmosférica}} = \frac{(2.2917E - 4) \cdot (5000) \cdot (0.8629)}{2} = 0.4944 \quad \left[\frac{Kg}{min} \right]$$

$$\dot{m}_{\text{aire teórico sobrealimentada}} = \frac{(2.2917E - 4) \cdot (5000) \cdot (1.0507)}{2} = 0.602 \quad \left[\frac{Kg}{min} \right]$$

El flujo másico de aire real (Ec.8) para la motocicleta atmosférica y sobrealimentada fue:

$$\dot{m}_{\text{aire real atmosférica}} = 0.85 * 0.4944 = 0.4202 \quad \left[\frac{Kg}{min} \right]$$

$$\dot{m}_{\text{aire real sobrealimentada}} = 0.85 * 0.602 = 0.5117 \quad \left[\frac{Kg}{min} \right]$$

El flujo másico de combustible de la motocicleta atmosférica y sobrealimentada se calculó mediante la ecuación 34:

$$\dot{m}_{\text{combustible}} = \frac{\dot{m}_{\text{aire real}}}{A/C} \quad \left[\frac{Kg}{min} \right] \quad \text{Ec. 34}$$

$$\dot{m}_{\text{combustible atmosférica}} = \frac{0.4202}{15} = 0.0280 \quad \left[\frac{Kg}{min} \right]$$

$$\dot{m}_{\text{combustible sobrealimentada}} = \frac{0.5117}{15} = 0.0341 \quad \left[\frac{Kg}{min} \right]$$

La potencia al freno de la motocicleta atmosférica y sobrealimentada se calculó mediante la ecuación 11:

$$P_f \text{ atmosférica} = 0.35 * \frac{0.0280}{60} * 42.5 * 1000 = 6.9417 [Kw] = 9.309 [HP]$$

$$P_f \text{ sobrealimentada} = 0.35 * \frac{0.0341}{60} * 42.5 * 1000 = 8.454 [Kw] = 11.337 [HP]$$

Y el porcentaje de incremento se calculó mediante la ecuación 35:

$$\Delta\% = \left(\frac{X2 - X1}{X1} \right) * 100 \quad \text{Ec. 35}$$

$$\Delta\% = \left(\frac{11.337 - 9.309}{9.309} \right) * 100 = 21.7854 \%$$

3.1.7 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE SOBREALIMENTACIÓN

La configuración del sistema de sobrealimentación es la siguiente:

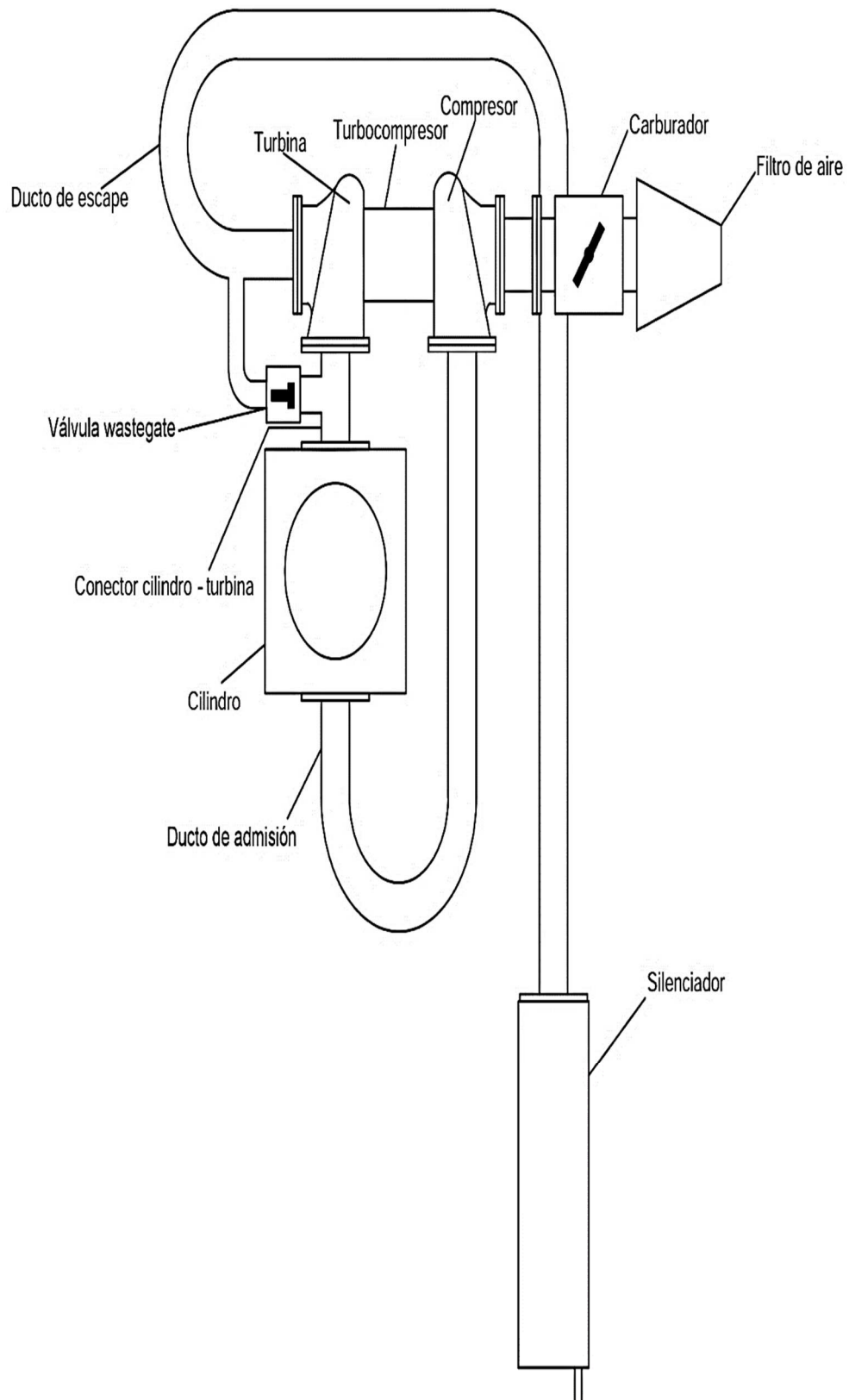


Figura 53: Configuración del sistema de sobrealimentación.

3.2 SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE LOS ACCESORIOS DEL TURBOCOMPRESOR

3.2.1 SELECCIÓN DE BRIDAS, EMPAQUES Y TORNILLOS

Existen 5 conjuntos de estos elementos.

3.2.1.1 BRIDA, EMPAQUE Y TORNILLOS PARA LA ENTRADA DE LA TURBINA

El conjunto consta de:

- Una brida de acero AISI 1020 de espesor 8 mm.
- Un empaque de acero inoxidable de espesor 1.5 mm.
- Tres tornillos allen de acero inoxidable M8 de 29 mm de longitud.

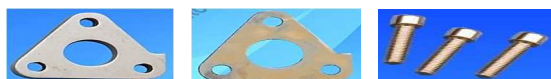


Figura 54: Brida, empaque y tornillos para la entrada de la turbina.

3.2.1.2 BRIDA, EMPAQUE Y TORNILLOS PARA LA SALIDA DE LA TURBINA

Este conjunto consta de:

- Una brida de acero AISI 1020 de espesor 8 mm.
- Un empaque de acero inoxidable de espesor 1.5 mm.
- Cuatro tornillos allen de acero inoxidable M8 de 29 mm de longitud.



Figura 55: Brida, empaque y tornillos para la salida de la turbina.

3.2.1.3 BRIDA, EMPAQUE Y TORNILLOS PARA LA ENTRADA DEL COMPRESOR

El conjunto consta de:

- Una brida de aluminio tipo “carburador – cilindro” de $\Phi 30$ mm (ZL105).
- Un empaque de goma “O-Ring” de $\Phi_{int}= 36$ mm, $\Phi_{ext}= 41$ mm, espesor 2.5 mm.
- Dos tornillos allen de acero inoxidable M6 de 16 mm de longitud.



Figura 56: Brida, empaque y tornillos para la entrada del compresor.

3.2.1.4 BRIDA, EMPAQUE Y TORNILLOS PARA LA SALIDA DEL COMPRESOR

Este conjunto consta de:

- Una brida de acero galvanizado de espesor 8 mm (ver anexo 5), la cual se fabricó bajo los siguientes procesos:



BRIDA DE LA SALIDA DEL COMPRESOR

	TIEMPO (min)
Comprar placa de acero galvanizado (65x40x8) mm	30
Trazar puntos de centro	5
Taladrar agujeros de $\Phi 6.5$ mm	10
Fresar agujero de $\Phi 26.4$ mm	15
Fresar perfil de la brida	30
Fresar una cara (N10)	10
	<hr/>
	100

Figura 57: Procesos para la fabricación de la brida de la salida del compresor.

- Un empaque de acero – perma DCF de espesor 1.5 mm.
- Dos tornillos allen de acero inoxidable M6 de 16 mm de longitud.



Figura 58: Brida, empaque y tornillos para la salida del compresor.

3.2.1.5 BRIDA, EMPAQUE Y TORNILLOS PARA EL DUCTO DE ADMISIÓN

El conjunto consta de:



Figura 59: Brida, empaque y tornillos para el ducto de admisión.

- Una brida de acero galvanizado de espesor 8 mm (ver anexo 6), la cual se fabricó bajo los siguientes procesos:

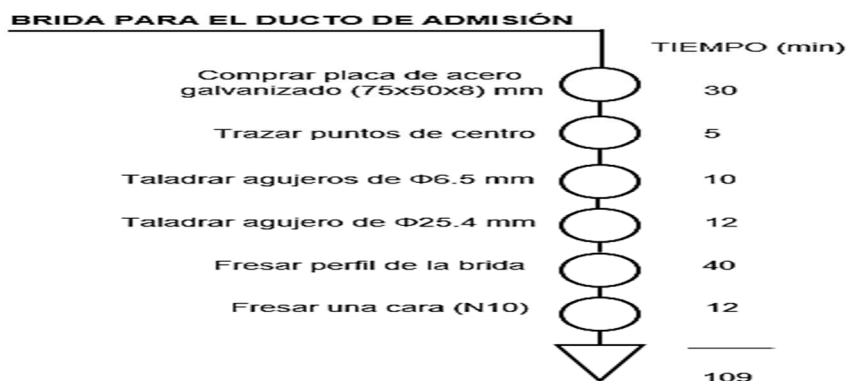


Figura 60: Procesos para la fabricación de la brida para el ducto de admisión.

- Un empaque de acero – perma DCF de espesor 1.5 mm.
- Dos tornillos hexagonales de acero inoxidable M6 de 20 mm de longitud.

3.2.2 CONSTRUCCIÓN DEL ACOPLÉ CILINDRO – TURBINA

Este conjunto consta de:

- Un empaque de fuego de acero – cerámica, con diámetro externo de 40.8 mm, diámetro interno de 31 mm y espesor de 5 mm.
- Un neplo de acero AISI 1020 (ver anexo 7), el cual se fabricó bajo los siguientes procesos:

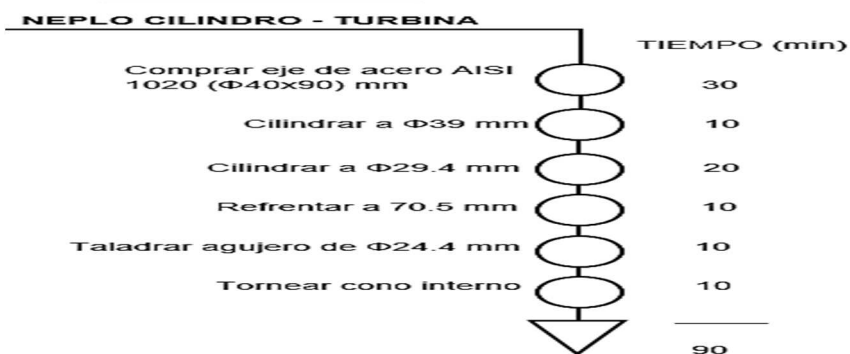


Figura 61: Procesos para la fabricación del neplo cilindro - turbina.

- Una brida de acero AISI 1020, de espesor 8 mm, la cual es original del sistema de escape de la motocicleta atmosférica.
- Dos tuercas M8 de acero inoxidable.

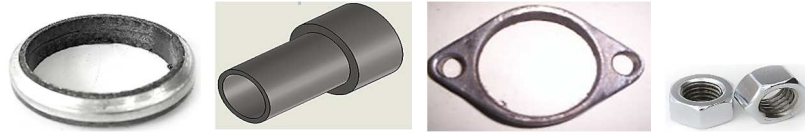


Figura 62: Elementos del acople cilindro – Turbina.

Para finalizar el acople se siguió el siguiente proceso:



Figura 63: Procesos para la fabricación del acople cilindro - turbina.

3.2.3 CONSTRUCCIÓN DE DUCTOS

Existen 3 ductos que comprenden el sistema de tuberías de la motocicleta turbo, los cuales veremos a continuación.

3.2.3.1 CONSTRUCCIÓN DEL DUCTO DE ESCAPE

Este ducto de acero AISI A53 de diámetro nominal 1.5" (ver anexo 8) ha sido fabricado evitando radios de curvatura bruscos y longitudes largas que disminuirían la eficiencia térmica del motor. Su proceso de fabricación lo podemos ver en la siguiente figura:



Figura 64: Procesos para la fabricación del ducto de escape.

Para finalizar el ducto se siguió el siguiente proceso:



Figura 65: Procesos para la fabricación del ducto de escape – brida.

3.2.3.2 CONSTRUCCIÓN DEL DUCTO DE SALIDA DEL COMPRESOR

Este ducto de acero galvanizado de diámetro nominal 1.25" (ver anexo 9) ha sido diseñado y fabricado evitando radios de curvatura bruscos y longitudes largas que disminuirían la presión de sobrealimentación (boost).

Su proceso de fabricación lo podemos ver en la siguiente figura:

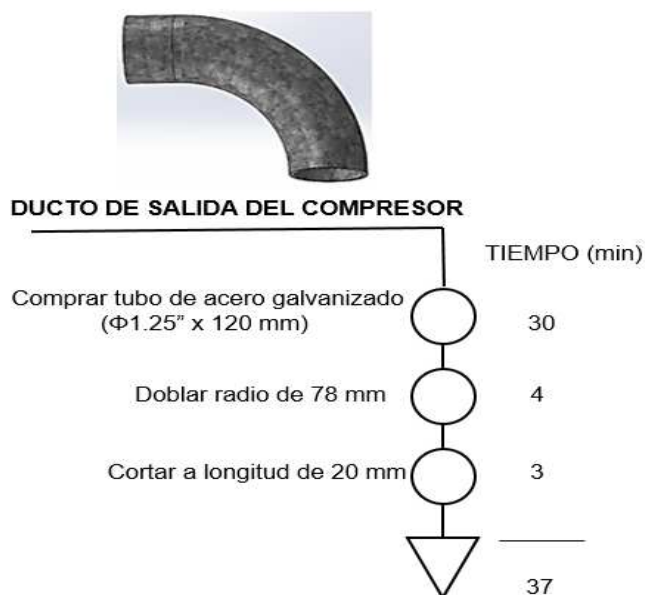


Figura 66: Proceso para la fabricación del ducto de salida del compresor.

El análisis de pérdida de presión lo podemos ver a continuación:

Las pérdidas de carga se obtuvieron mediante la ecuación 28 y 29:

$$HL = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} = (0.024) \cdot \frac{(0.02)}{(0.02775)} \cdot \frac{(19.1797)^2}{2(9.81)} = 0.3243 [m]$$

$$H_{codo} = \frac{K \cdot V^2}{2 \cdot g} = \frac{0.9 (19.1797)^2}{2 (9.81)} = 16.8744 [m]$$

En donde el factor de fricción de Darcy (f) se obtuvo con la ayuda del diagrama de Moody (anexo 1), calculando previamente el número de Reynolds y la relación (ϵ/d) (coeficiente de rugosidad / diámetro del ducto):

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} = \frac{(1.0507)(19.1797)(0.02775)}{(2.03E - 5)} = 27547.8362 = 2.7548 E4$$

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.0005}{27.75} = 0.000018$$

La velocidad del fluido (V) se calculó a partir del flujo volumétrico bajo impulso de entrada de aire al motor (sección 3.1.4.3) para una sección circular de diámetro 27.75mm, la cual corresponde al diámetro interno del ducto.

$$Q = A \cdot V \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$0.0116 = \frac{\pi(0.02775)^2}{4} V$$

$$V = 19.1797 \left[\frac{m}{s} \right]$$

La viscosidad dinámica del aire (μ) así como los coeficientes de resistencia (K) se obtuvieron del anexo 2 y anexo 3 respectivamente.

Por ultimo usamos la ecuación de conservación de la energía:

$$E1 - HL - H \text{ codo} = E2$$

$$Z1 + \frac{V1^2}{2g} + \frac{P1}{\gamma} - HL - H \text{ codo} = Z2 + \frac{V2^2}{2g} + \frac{P2}{\gamma}$$

$$\begin{aligned} \nabla P &= P1 - P2 = \rho g (Z2 + HL + H \text{ codo}) \\ &= (1.0507)(9.81)(0.064125 + 0.3243 + 16.8744) \\ \nabla P &= 177.9343 [Pa] = 0.0258 [psi] \end{aligned}$$

Para finalizar el ducto se siguió el siguiente proceso:



Figura 67: Proceso para la fabricación del ducto de salida del compresor – brida.

3.2.3.3 CONSTRUCCIÓN DEL DUCTO DE ENTRADA AL CILINDRO

Este ducto de acero galvanizado de diámetro nominal 1.25" (ver anexo 10) ha sido diseñado y fabricado evitando radios de curvatura bruscos y longitudes largas que disminuirían la presión de sobrealimentación (boost).

Su proceso de fabricación lo podemos ver en la siguiente figura:



Figura 68: Proceso para la fabricación del ducto de entrada al cilindro.

El análisis de pérdida de presión lo podemos ver a continuación:

Las pérdidas de carga se obtuvieron mediante la ecuación 28 y 29:

$$HL = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} = (0.024) \cdot \frac{(0.04)}{(0.02775)} \cdot \frac{(19.1797)^2}{2(9.81)} = 0.6486 [m]$$

$$H_{codo} = \frac{K \cdot V^2}{2 \cdot g} = \frac{0.9 (19.1797)^2}{2 (9.81)} = 16.8744 [m]$$

Por ultimo usamos la ecuación de conservación de la energía:

$$E1 - HL - H_{codo} = E2$$

$$Z1 + \frac{V1^2}{2g} + \frac{P1}{\gamma} - HL - H_{codo} = Z2 + \frac{V2^2}{2g} + \frac{P2}{\gamma}$$

$$\nabla P = P1 - P2 = \rho g (HL + H_{codo}) = (1.0507)(9.81)(0.6486 + 16.8744)$$

$$\nabla P = 180.616 [Pa] = 0.0262 [psi]$$

Para finalizar el ducto se siguió el siguiente proceso:

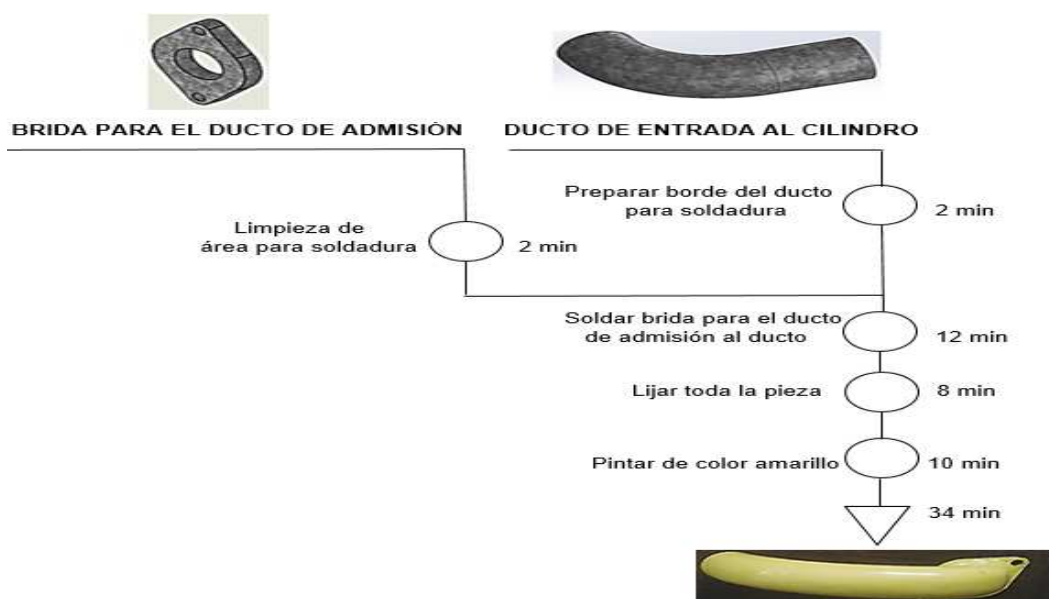


Figura 69: Proceso para la fabricación del ducto de entrada al cilindro – brida.

3.2.4 SELECCIÓN DE NEPLOS

Los neplos necesarios para el sistema de sobrealimentación son los siguientes:

- 1 neplo de cobre de rosca M8 para manguera de Φ 1/2", para la entrada de aceite al turbocompresor.



Figura 70: Neplo rosca M8 para manguera 1/2".

- 1 neplo de cobre de rosca 1/2" NPT para manguera de Φ 3/4", enroscada en un cuerpo de aluminio de 10 mm de espesor, con un empaque de goma "O-ring", para la salida de aceite del turbocompresor.



Figura 71: Neplo para la salida de aceite del turbocompresor.

- 1 neplo de cobre de rosca 1/4" NPT para manguera de Φ 1/2", para la salida de aceite desde el motor hacia el turbocompresor.



Figura 72: Neplo de rosca 1/4" NPT para manguera de Φ 1/2".

- 1 codo de cobre de rosca 1/2 " NPT para neplo de rosca 1/2 " NPT, para la línea de retorno de aceite desde el turbocompresor.



Figura 73: Codo de cobre de rosca 1/2 " NPT para neplo de rosca 1/2 " NPT

- 1 neplo de cobre de rosca 1/2 " NPT para manguera de Φ 3/4 ", para la línea de retorno de aceite desde el turbocompresor.



Figura 74: Neplo de rosca 1/2" NPT para manguera de Φ 3/4".

- 1 "Te" de cobre para manguera de Φ 1/2 ", para la línea de presión del boost.



Figura 75: "Te" de cobre para manguera de Φ 1/2 ".

3.2.5 SELECCIÓN DE MANGUERAS

Las mangueras necesarias para el sistema de sobrealimentación son las siguientes:

- 1.2 metros de manguera de Φ 1/2".
- 0.25 metros de manguera de Φ 3/4".



Figura 76: Manguera de Φ 3/4", hasta 200 psi de trabajo.

3.2.6 SELECCIÓN DEL MANÓMETRO

Este manómetro sirve para la medición de la presión de sobrealimentación (boost), y como el rango de sobrealimentación del presente proyecto es bajo (<7psi) (ver tabla 10), se seleccionó un manómetro bourdon cuyo rango de medición es de 0 a 10 psi.




Figura 77: Manómetro bourdon de 0 a 10psi.

3.2.7 SELECCIÓN DEL LUBRICANTE PARA LA MOTOCICLETA SOBREALIMENTADA

Lo primero que se hizo fue un estudio de la disponibilidad en el medio de aceites lubricantes para motocicletas, obteniendo los siguientes aceites con sus respectivas características:

Tabla 16

Lubricantes para motocicletas y sus características.

		MARCA DEL LUBRICANTE							
		Valvoline 4 Stroke	Akron 4T	Roshfrans AK Hi-Energy	Akron Synthetic Blend	Top 1 Oil HP	Akron Full Synthetic	Repsol Moto Sintético 4T	Motul 300V 4T
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS	Base	Mineral	Mineral	Mineral	Semi sintético	Semi sintético	Sintético	Sintético	Sintético
	Grado SAE	20W-50	20W-50	25W-50	20W-50	20W-50	15W-50	10W-40	5W-40
	Categoría API	SL	SL	SL	SL	SM	SL	SN	SN
	Índice de fricción JASO	MA	MA2	-	MA2	-	MA2	MA2	MA
	Viscosidad cinemática @ 100°C, [cSt]	20	20.5	19.6	20.5	20.5	19.5	14.1	13.4
	Viscosidad cinemática @ 40°C, [cSt]	190	181	216.8	172	154	132	89	75.1
	Índice de viscosidad ASTM D2270	122	133	103	140	155	169	160	183
	Punto de inflamación [°C]	240	233	260	240	204	240	244	234
	Punto de escurrimiento [°C]	-18	-15	-21	-18	-20	-23	-33	-51
Precio [\$]	6	5.1	6.35	7.8	12.5	10.18	12	20.52	

El año de fabricación de la motocicleta Loncin LX 250 PY es 2008, por ello según el anexo 11, el lubricante idóneo será aquel que posea la categoría API SM o API SN. Luego despreciamos a los aceites que carezcan de la certificación JASO, pues este índice es el que me garantiza un buen funcionamiento del sistema de embrague, quedando así únicamente los aceites de base sintética (Repsol Moto Sintético 4T) y (Motul 300V 4T).

Lo que se hizo a continuación fue una “matriz de decisión”, pero antes se hizo una “combinex matrix”.

Tabla 17

Combinex matrix para la selección del lubricante de la motocicleta sobrealimentada.

COMBINEX MATRIX												
ORD	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	1	2	3	4	5	6	7	8 (n+1)	Σ	INDICE	WF
1	Estabilidad térmica	1	1	1	1	1	1	1	1	7	0.2500	0.25
2	Viscosidad a alta temperatura	0	1	1	1	1	1	1	1	6	0.2143	0.21
3	Punto de inflamación	0	0	1	1	1	1	1	1	5	0.1786	0.18
4	Rango de temperatura exterior	0	0	0	1	1	1	1	1	4	0.1429	0.14
5	Facilidad de arranque	0	0	0	0	0.5	1	1	1	2.5	0.0893	0.09
6	Índice de fricción	0	0	0	0	0.5	1	1	1	2.5	0.0893	0.09
7	Precio	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0.0357	0.04
Σ										28	1.0000	1

Tabla 18

Matriz de decisión para la selección del lubricante de la motocicleta sobrealimentada.

MATRIZ DE DECISIÓN						
ORD	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	WF	REPSOL MOTO SINTÉTICO 4T		MOTUL 300V 4T	
			RF1	CALF 1	RF2	CALF2
1	Estabilidad térmica	0.25	8.7432	2.1858	10	2.5000
2	Viscosidad a alta temperatura	0.21	10	2.1000	9.5035	1.9957
3	Punto de inflamación	0.18	10	1.8000	9.5902	1.7262
4	Rango de temperatura exterior	0.14	10	1.4000	8.75	1.2250
5	Facilidad de arranque	0.09	8.4382	0.7594	10	0.9000
6	Índice de fricción	0.09	10	0.9000	8.0556	0.7250
7	Precio	0.04	10	0.4000	5.848	0.2339
Σ		1	67.1814	9.5452	61.7473	9.3059

Según la tabla 18, se usó el lubricante “REPSOL MOTO SINTÉTICO 4T 10W-40” en la motocicleta sobrealimentada, ya que posee la mayor calificación en la matriz de decisión.

3.2.8 SELECCIÓN DEL LUBRICANTE DEL TURBOCOMPRESOR

El lubricante del turbocompresor cumple dos funciones:

- Lubricar los elementos dentro de la carcasa de cojinetes (bearing housing), pues el eje rotor puede alcanzar velocidades de hasta 200000 rpm.
- Refrigerar el turbocompresor para garantizar su integridad y eficiencia.

Es por ello que el fabricante recomienda el uso de aceites sintéticos por su elevado índice de viscosidad, los que deberán poseer un grado SAE: 10/15W-30/40. Entonces según la tabla 16, el aceite idóneo para el turbocompresor es el “REPSOL MOTO SINTÉTICO 4T 10W-40”.

3.2.9 SELECCIÓN DE LA BUJÍA PARA LA MOTOCICLETA SOBREALIMENTADA

Se procedió a la extracción de la bujía de la motocicleta sin sobrealimentar, y se encontró el siguiente elemento:



Figura 78: Bujía de la motocicleta sin sobrealimentar.

Tabla 19

Características de la bujía de la motocicleta sin sobrealimentar.

MARCA :	NGK
CÓDIGO:	D8EA
TIPO DE ROSCA:	M12
TAMAÑO DEL HEXÁGONO:	18 [mm]
LONGITUD DE LA ROSCA:	19 [mm]
GRADO TÉRMICO:	8
ROSCA DE CONEXIÓN:	M4

Esta bujía encontrada era de esperarse ya que es sabido que el diseño de la motocicleta de origen Chino Loncin LX 250 PY está basado en el modelo Japonés de la motocicleta Yamaha TT-R 230, el cual según el buscador de productos de la marca NGK es:

Tabla 20

Características de la bujía de la motocicleta Yamaha TT-R 230 según NGK

Buscador de productos	
Motos > Bujías de encendido <input type="button" value="↗"/> YAMAHA > TT-R 230 <input type="button" value="↗"/> Cilindros: 1 ccm: 223 Año de construcción: 2007 - 2009	Estándar DR8EA Tipo: DR8EA Stock No.: 7162 Detalles Ancho de llave: 18,0 mm Diámetro de la rosca: 12,0 mm Longitud de la rosca: 19,0 mm Distancia entre electrodos: 0,7 mm

Ahora bien, haciendo un diagnóstico de la bujía encontrada se puede asegurar que esta se encuentra con carbonilla, ver figura 79, en donde la parte izquierda es la bujía encontrada en la motocicleta y la derecha es una bujía diagnosticada carbonizada por la marca NGK, lo que puede aparecer cuando:

- 1.- La bujía funciona a menudo por debajo de su temperatura de autolimpieza (450°C), lo que sucede cuando se escoge una bujía demasiado fría y se aplica velocidades o cargas bajas en el motor.
- 2.- Mezcla aire - combustible excesivamente rica.
- 3.- Motor con quema de aceite.
- 4.- Distancia entre electrodos muy reducida.



Figura 79: Presencia de carbonilla en la bujía de la motocicleta sin sobrealimentar.

De las cuatro posibles causas se descartó la número 3 y 4, ya que se realizó una medida de la compresión del motor y esta marca 140 psi (aceptable), así mismo la distancia entre los electrodos es la correcta (0.7mm) (ver tabla 20). Por ello se debe controlar que la bujía trabaje en su temperatura de autolimpieza y que la mezcla no sea excesivamente rica.

Para la selección de la bujía de la motocicleta sobrealimentada, debemos considerar que la temperatura de la punta del electrodo central debe encontrarse lo suficientemente baja como para prevenir el autoencendido y la detonación, pero lo suficientemente alta como para prevenir la carbonización.

Por ello se seleccionó una bujía lo más fría posible y además que sea de iridio para prevenir la carbonización. Esta bujía es la NGX DR9EIX (ver anexo 12).



Figura 80: Bujía de iridio NGK DR9EIX para la motocicleta Loncin LX 250 PY TURBO.

Según el anexo 13, el par de apriete recomendado para esta bujía es de 15 - 25 [N.m].

3.2.10 SELECCIÓN DEL CARBURADOR

El carburador original de la motocicleta atmosférica Loncin LX 250 PY es del tipo “depresión”, el cual dio problemas a la hora de sobrealimentar el motor ya que la elevación de la campana para que pase el fluido motriz se da por efectos del vacío provocado por el cilindro en la carrera de admisión, y al existir una presión manométrica fue imposible el movimiento de la campana. Por ello se seleccionó un carburador del tipo “tiro directo” (ver sección 2.3.1.1.1), el cual posee las mismas dimensiones de entrada y salida del carburador de depresión ($\Phi 30$ mm).



Figura 81: Carburador de tiro directo.

3.2.10.1 SELECCIÓN DEL CALIBRE (CHICLÉ) DEL CARBURADOR

El chiclé o calibre es un elemento mecánico con un agujero calibrado en centésimas de milímetro fabricado generalmente de latón (aleación de cobre y cinc) (ver figura 82).

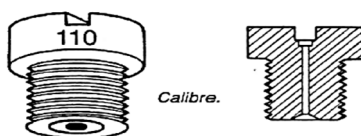


Figura 82: Calibre o chiclé de un carburador.

Su función es delimitar el caudal máximo de combustible que va a circular por el conducto del carburador cuando la motocicleta este en marcha.

El carburador de un motor turbocargado debe garantizar una mayor cantidad de combustible, ya que existe una mayor cantidad de aire y el riesgo de que la mezcla se empobrezca, produciendo perdidas de potencia en el motor. Por ello el cálculo del diámetro del calibre es fundamental, y se lo realizó de la siguiente forma:

$$\dot{m}_{calibre} = HP (C.E.C) \quad Ec. 36$$

Mediante la ecuación 36 se calculó el flujo másico del calibre en la motocicleta atmosférica y en la motocicleta turbo. Los datos (HP, C.E.C) corresponden a la motocicleta atmosférica:

$$\dot{m}_{calibre\ atmosférica} = HP (C.E.C) = 8.573 (0.1594) = 1.3665 \left[\frac{lb}{h} \right] = 0.000172 \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$\dot{m}_{calibre\ turbo} = HP_{esperado} (C.E.C) = 1.3(8.573)(0.1594) = 1.7765 \left[\frac{lb}{h} \right] = 0.000224 \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

Posteriormente mediante la ecuación 37 se calculó el flujo volumétrico del calibre en la motocicleta atmosférica y turbo:

$$Q_{calibre} = \frac{\dot{m}_{calibre}}{\rho_{fluido}} \quad Ec. 37$$

$$Q_{calibre\ atmosférica} = \frac{\dot{m}_{calibre\ atmosférica}}{\rho_{fluido}} = \frac{0.000172}{680} = 2.5294 E - 7 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$Q_{calibre\ turbo} = \frac{\dot{m}_{calibre\ turbo}}{\rho_{fluido}} = \frac{0.000224}{680} = 3.2941 E - 7 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

El diámetro del calibre del carburador de la motocicleta atmosférica es de 1.1 [mm], con lo que se calculó el área:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0.0011)^2}{4} = 9.5 E - 7 [m^2]$$

Seguido se calculó la velocidad del fluido:

$$Q = A \cdot V$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{2.5294 E - 7}{9.5 E - 7} = 0.2662 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Finalmente se calculó el área y diámetro para el calibre requerido del carburador de la motocicleta turbo a fin de solucionar el problema de insuficiencia de cantidad de combustible.

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{3.2941 E - 7}{0.2662} = 1.2375 E - 6 [m^2]$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 (1.2375 E - 6)}{\pi}} = 1.2552 E - 3 [m] = 1.2552 [mm]$$

No se comercializan calibres de 1.2552 [mm], por ello se procedió a seleccionar el calibre próximo superior, es decir un calibre de 1.3 [mm] de diámetro, comercialmente conocido como calibre de 130.

CAPÍTULO IV

MONTAJE, PUESTA A PUNTO Y PRUEBAS

4.1 MONTAJE DEL SISTEMA DE SOBREALIMENTACIÓN

4.1.1 MONTAJE DEL SISTEMA DE ESCAPE

Previo al montaje se retiró todo el sistema de escape original y se procedió con el siguiente proceso esquematizado en su diagrama de operaciones:

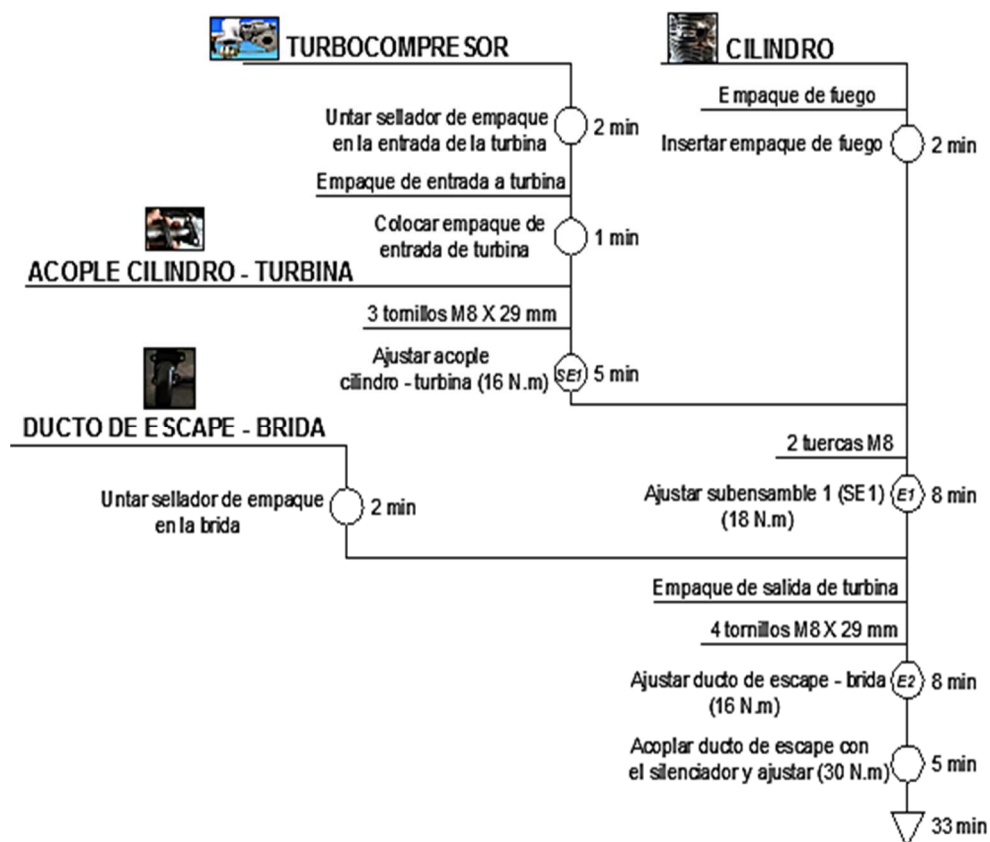


Figura 83: Diagrama del proceso de montaje del sistema de escape.

Primero se insertó en el ducto de salida del cilindro el empaque de fuego, operación que tomó 2 minutos. Seguidamente se unto sellador de empaques en la brida de entrada de gases hacia la turbina, con una duración de 2 minutos. A continuación se colocó el empaque sobre el sellador, con una duración de 1 minuto. Se tomó el acople cilindro-turbina manufacturado por el tesista. Se utilizó 3 tornillos M8 X 29 mm para ajustar el acople con un torque de 16 N.m, operación que tomo 5 minutos. El subensamblado 1 (SE1) (acople-

turbocompresor) se llevó hacia el cilindro para ensamblarlo, utilizando 2 tuercas M8, con un torque de 18 N.m, operación que duró 8 minutos. Luego se procedió a tomar el ducto escape – brida, manufacturado por el tesista, se unto sellador de empaque en la brida, operación que tomó 2 minutos, para colocar el empaque de salida de turbina, y ajustarlo con 4 tornillos M8 X 29 mm con un torque de 16 N.m, operación que tomó 8 minutos. Finalmente se acoplo el ducto de escape con el silenciador y se ajustó con un torque de 30 N.m, operación que tomó 5 minutos.

4.1.2 MONTAJE DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Previo al montaje se retiró todo el sistema de alimentación original y se procedió con el siguiente proceso esquematizado en su diagrama de operaciones:

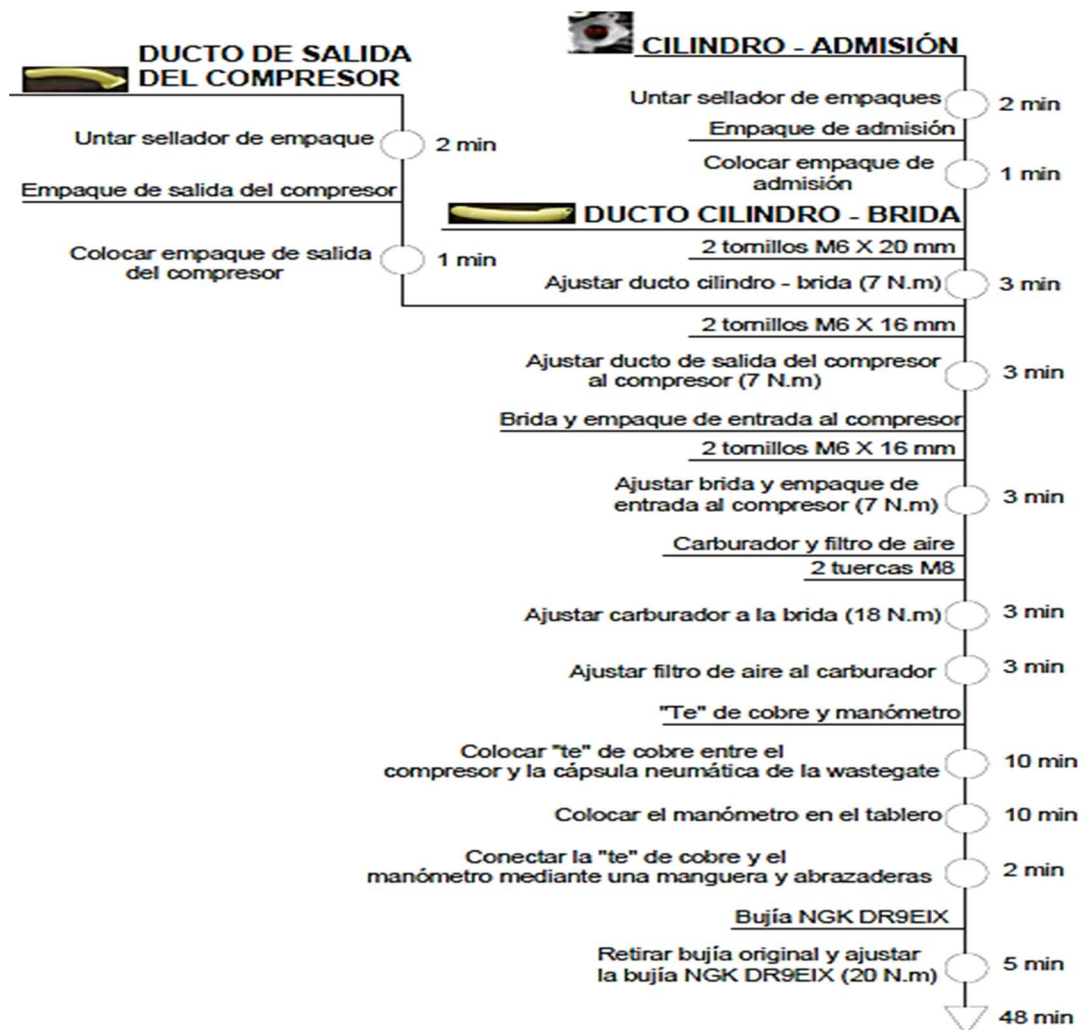


Figura 84: Diagrama del proceso de montaje del sistema de alimentación.

Primero se unto sellador de empaques en el ducto de admisión del cilindro, operación que tomó 2 minutos. Luego se colocó el empaque de admisión sobre el sellador, operación que tomó 1 minuto. Se tomó el ducto cilindro – turbina manufacturada por el tesista para ajustarlo al cilindro con un torque de 7 N.m mediante 2 tornillos M6 X 20 mm, operación que tomó 3 minutos. Seguidamente se tomó el ducto de salida del compresor para untar sellador sobre la brida, operación que tomó 2 minutos, posteriormente se colocó el empaque de salida de compresor en la brida del ducto, operación que tomó 1 minuto. Posteriormente se ajustó el ducto de salida del compresor al turbo con un torque de 7 N.m mediante dos tornillos M6 X 16 mm, operación que tomó 3 minutos. Se colocó la brida y el empaque de entrada del compresor y se lo ajusto al turbo con un torque de 7 N.m mediante 2 tornillos M6 x 16mm, operación que tomó 3 minutos. Luego se tomó el carburador y se lo ajusto a la brida de entrada del compresor con un torque de 18 N.m mediante 2 tuercas M8, operación que tomó 3 minutos. Posteriormente se ajustó un filtro de aire al carburador mediante 1 abrazadera, operación que tomó 3 minutos. Seguidamente se colocó la “te” de cobre entre el compresor y la capsula neumática de la wastegate, operación que tomó 10 minutos. A continuación se colocó el manómetro en el tablero de la motocicleta, para posteriormente conectarlo a la “te” de cobre mediante una manguera y abrazaderas. Finalmente se retiró la bujía original y se ajustó una bujía NGK DR9 EIX con un torque de 20 N.m.

4.1.3 MONTAJE DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN

Primeramente se drenó el aceite del motor atmosférico para retirar la tapa del embrague, operación que tomó 8 minutos. Luego se perforó un agujero de $\Phi 7/32$ ” en la línea de presión de la tapa de embrague y se pasó un machuelo de 1/4” NPT, operación que tomó 10 minutos. Seguidamente se perforó un agujero de $\Phi 15/32$ ” en la línea de retorno de la tapa de embrague y se pasó machuelo de 1/2” NPT, operación que tomó 10 minutos. En seguida se ajustó con torque de 8 N.m. el neplo de cobre de rosca 1/4” NPT, operación que tomó 4 minutos. Posteriormente se ajustó con torque de 45 N.m. el neplo y codo de cobre de rosca 1/2” NPT, operación que tomó 4 minutos. Luego se

colocó un empaque de tapa de embrague nuevo y se ajustó la tapa con un torque de 8 N.m, operación que tomo 8 minutos. Enseguida se colocó el aceite lubricante Repsol moto sintético 4t 10w-40, operación que tomó 10 minutos. Seguido se conectó el neplo de salida de presión del motor con el neplo de entrada de aceite del turbo, mediante mangueras, filtro y abrazaderas, operación que tomó 15 minutos. Finalmente se conectó el neplo de entrada del aceite del motor con el neplo de salida de aceite del turbo, mediante una manguera y abrazaderas, operación que tomó 10 minutos.

El proceso esquematizado en su diagrama de operaciones lo podemos ver en la siguiente figura:

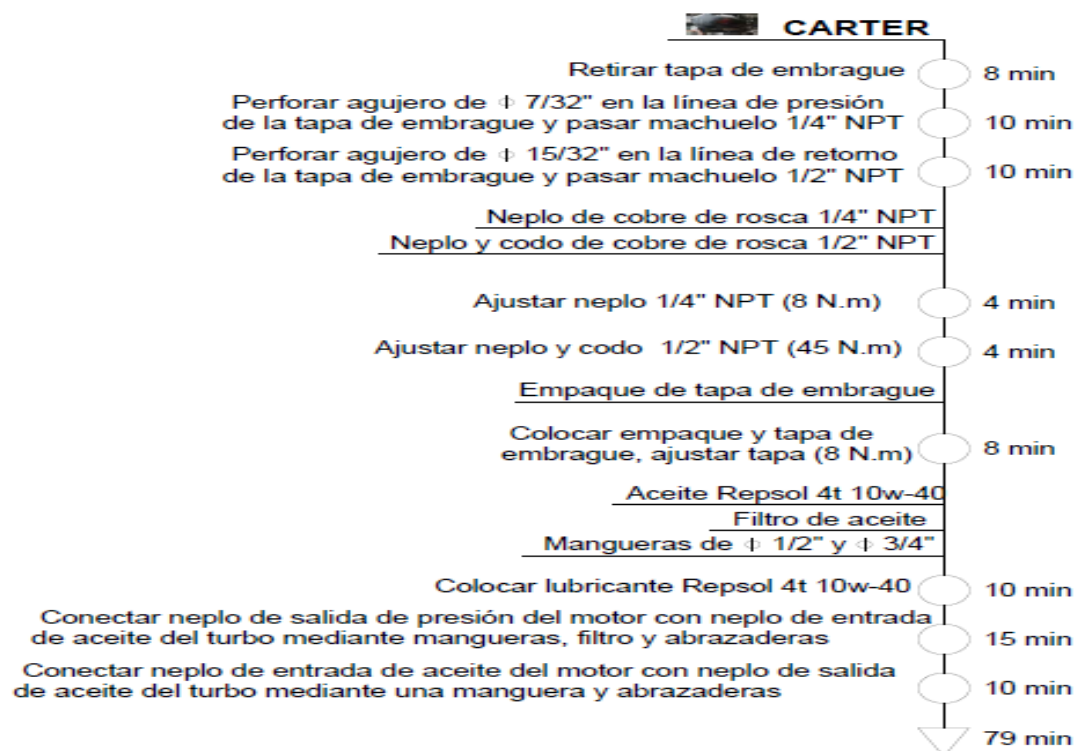


Figura 85: Diagrama del proceso de montaje del sistema de lubricación.

4.2 RODAJE Y PUESTA A PUNTO DE LA MOTOCICLETA SOBREALIMENTADA

El rodaje y puesta a punto es una fase muy importante dentro del presente proyecto, ya que nos permite visualizar y apreciar el funcionamiento del motor sobrealimentado, con las nuevas piezas y modificaciones que se realizó en la motocicleta, después de los subensambles y ensambles.

Para ello se hizo funcionar el motor de la motocicleta a modo ralentí (1200 rpm), durante aproximadamente una hora, hasta alcanzar la temperatura óptima de funcionamiento de los fluidos y la correcta adaptación térmica de los materiales del sistema de sobrealimentación.

Posteriormente se puso a punto el sistema de alimentación, para lo cual se cambió el cable de aceleración por uno nuevo y más largo dado la nueva posición del carburador. Así mismo se cambió el guiador del acelerador (caña de aceleración), ya que el guiador original estaba desgastado y es fundamental que el punto de pivote tenga un buen retorno (para evitar que se quede acelerado el motor). Este sistema conocido como de “empuñadura” fue engrasado para prevenir el desgaste prematuro. Seguido se dejó una pequeña holgura en la regulación de la tensión entre el tensor (T) y la contratuerca (C) (ver figura 86).

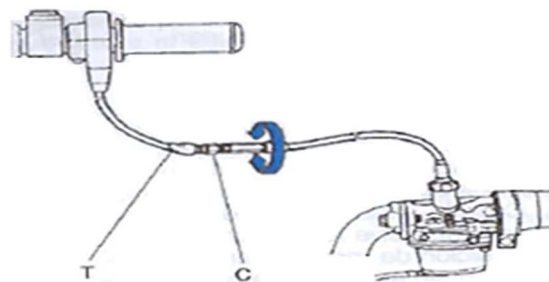


Figura 86: Regulación de la holgura del acelerador en la funda del cable de mando.

Fuente: Motocicletas, M. Arias-Paz, Edición 32, CIE DOSSAT 2000



Luego se cambió el filtro de gasolina por uno nuevo. Seguido se colocó el calibre (chiclé) de 130 en el carburador. Posteriormente se regulo el tornillo de ralentí en el nivel más bajo, hasta conseguir que la motocicleta permanezca estable (sin apagarse) (aproximadamente 1200 rpm). Finalmente se reguló la aguja del carburador (desde la parte superior del cable) hasta conseguir una mezcla ligeramente enriquecida ($A/C=14.5$), para lo cual se utilizó un analizador de gases de escape (aparato de Orsat).

4.3 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las pruebas de funcionamiento se la motocicleta atmosférica y sobrealimentada se realizaron en 3 ambientes diferentes: pruebas de laboratorio, pruebas de carretera y pruebas de desempeño.

4.3.1 PRUEBAS DE LABORATORIO

4.3.1.1 PRUEBAS EN EL DINAMÓMETRO DE RODILLOS

HOJA DE PRUEBAS EN EL DINAMÓMETRO DE RODILLOS	
	
Fecha (moto atmosférica): 2016-05-06	Fecha (moto turbo): 2017-01-31
<p>Objetivo: Medir la potencia y el torque en la rueda de la motocicleta con el fin de realizar una comparación entre la motocicleta atmosférica y sobrealimentada.</p>	
<p>Instrumentos, herramientas y elementos de protección personal: (1) Dinamómetro de rodillos Dynamite 2450, (4) lazos de anclaje ajustables, (1) ventilador, (1) orejeras, (1) casco.</p>	
<p>Descripción: Esta prueba se la realizó con un dinamómetro de rodillos marca Dynamite serie 2450, el cual se encuentra ubicado en la ciudad de Quito, en la empresa Dinamyca Competición (Pasaje Godoy E154 e Isaac Albeniz), y permite medir la potencia y el torque en la rueda de la motocicleta.</p>	
	
<p>Figura 87: Motocicleta Loncin LX 250 PY acoplada al dinamómetro de rodillos Dynamite 2450.</p>	
PROCEDIMIENTO	
1	Colocar la rueda trasera de la motocicleta sobre el rodillo del dinamómetro.
2	Anclar la motocicleta.
3	Setear los parámetros de funcionamiento del sistema.
4	Arrancar el motor.
5	Calentar el motor por 10 minutos.
6	Colocar un ventilador frente al motor.
7	Colocar transmisión en tercera marcha (avanzar desde primera marcha).
8	Acelerar a fondo.
9	Recopilar datos proporcionados por el software

DATOS OBTENIDOS

MOTOCICLETA ATMOSFÉRICA

Tabla 21

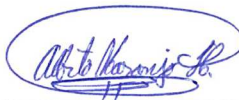
Datos de la motocicleta atmosférica – dinamómetro de rodillos.

RPM	Hp	Tq. (lb.ft)
2300	2.541	5.779
2400	5.139	11.25
2500	5.565	11.69
2600	6.004	12.13
2700	6.328	12.31
2800	6.475	12.15
2900	6.642	12.03
3000	7.055	12.35
3100	7.213	12.22
3200	7.528	12.35
3300	7.676	12.22
3400	7.810	12.06
3500	8.061	12.10
3600	8.085	11.79
3700	8.169	11.60
3800	8.267	11.43
3900	8.315	11.20
4000	8.464	11.11
4100	8.475	10.86
4200	8.573	10.72
4300	8.549	10.44
4400	8.533	10.18
4500	8.468	9.883
4600	8.341	9.527
4700	8.111	9.073
4800	8.002	8.768
4900	7.776	8.351
5000	7.654	8.058
5100	7.491	7.660
5200	7.075	7.169
5300	6.895	6.858
5400	6.651	6.494
5500	6.206	5.954
5600	5.871	5.534
5700	5.407	5.010
5800	5.205	4.741
5900	4.968	4.449
6000	4.645	4.092

Tabla 22

Datos de la motocicleta atmosférica – dinamómetro de rodillos.

MOTOCICLETA TURBO		
RPM	Hp	Tq. (lb.ft)
2300	1.824	5.012
2400	3.549	7.66
2500	4.893	10.79
2600	6.012	11.96
2700	6.785	13.04
2800	7.224	14.09
2900	7.741	14.64
3000	7.847	15.08
3100	8.319	15.45
3200	8.658	15.49
3300	8.752	15.52
3400	9.025	15.69
3500	9.201	15.62
3600	9.369	15.64
3700	9.603	15.47
3800	9.798	15.45
3900	9.801	15.44
4000	9.826	15.22
4100	9.848	15.02
4200	9.905	14.78
4300	10.006	14.45
4400	10.152	14.11
4500	10.214	14.06
4600	10.226	13.85
4700	10.291	13.68
4800	10.309	13.24
4900	10.359	12.79
5000	10.496	12.45
5100	10.527	12.03
5200	10.423	11.78
5300	10.315	11.22
5400	10.286	10.78
5500	9.951	10.51
5600	9.782	10.03
5700	9.157	9.56
5800	8.823	9.02
5900	8.334	8.15
6000	7.828	7.35

Tabla 22: Datos de la motocicleta turbo – dinamómetro de rodillos.


Alberto Naranjo
Laboratorista de Motores de Combustión Interna - ESPE

ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS - POTENCIA

Se realizó una gráfica de RPM versus la potencia entre la motocicleta atmosférica y turbo, obteniendo:

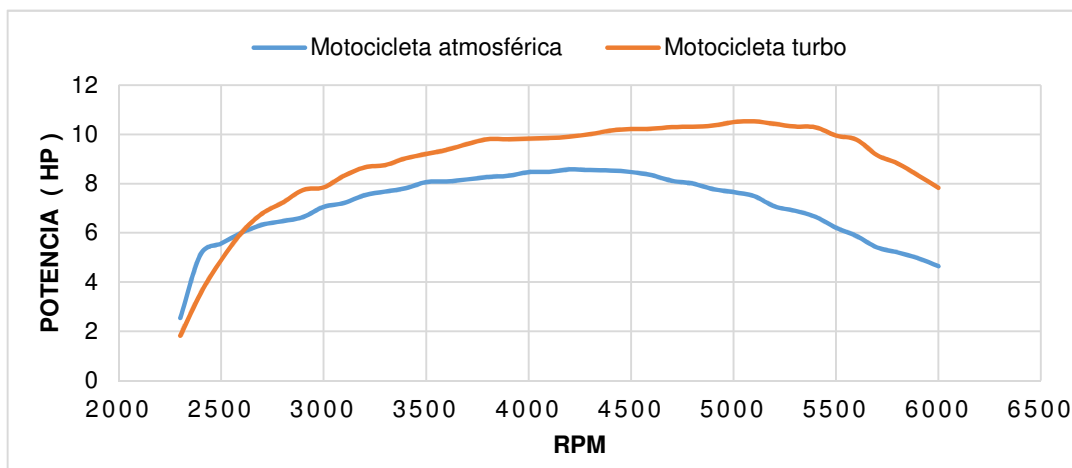


Figura 88: Comparativa en la prueba de medición de la potencia.

Los porcentajes de incremento y decremento de la potencia en la motocicleta turbo los podemos ver en la siguiente tabla:

Tabla 23

Comparativa en la prueba de medición de la potencia.

RPM	Variación de la potencia (%)
2300	-28.2172
2500	-12.0755
3000	11.2261
3500	14.1422
4000	16.0917
4500	20.6188
5000	37.1309
5500	60.3448
6000	68.5253

Para ejemplo de cálculo se utilizó los datos que corresponden al mayor porcentaje de incremento de la potencia, es decir en las 6000 rpm, así:

$$\Delta\% = \left(\frac{7.828 - 4.645}{4.645} \right) * 100 = 68.5253 \text{ [\%]}$$

CONCLUSIONES – POTENCIA

- Hasta las 2700 rpm la motocicleta turbo decrecienta la potencia en comparación con la motocicleta atmosférica, debido a los problemas de sobrealimentación a bajas revoluciones. Sin embargo a partir de estas rpm la potencia incrementa, debido a que se obtienen mayores presiones de sobrealimentación.
- La potencia máxima de la motocicleta atmosférica es de 8.573 HP a las 4200 rpm.
- La potencia máxima de la motocicleta turbo es de 10.527 HP a las 5100 rpm.

ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS - TORQUE

Se realizó una gráfica de RPM versus el torque entre la motocicleta atmosférica y turbo, obteniendo:

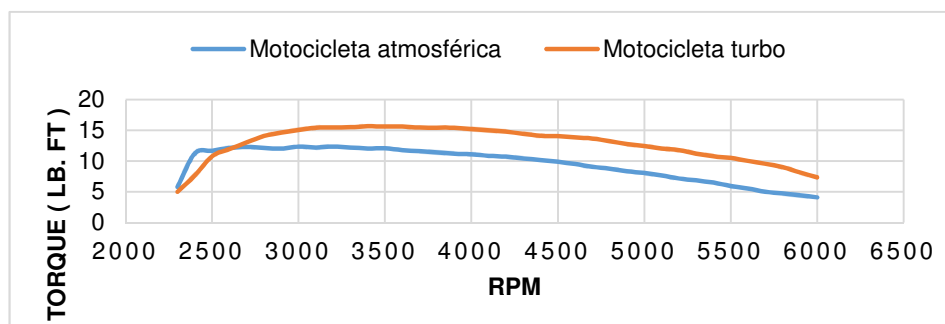


Figura 89: Comparativa en la prueba de medición del torque.

Los porcentajes de incremento y decremento del torque en la motocicleta turbo los podemos ver en la siguiente tabla:

Tabla 24

Comparativa en la prueba de medición del torque.

RPM	Variación del torque (%)
2300	-13.2722
2500	-7.6989
3000	22.1053
3500	29.0909
4000	36.9937
4500	42.2645
5000	54.5048
5500	76.52
6000	79.6188

Para ejemplo de cálculo se utilizó los datos que corresponden al mayor porcentaje de incremento del torque, es decir en las 6000 rpm, así mediante la ecuación 35 tenemos:

$$\Delta\% = \left(\frac{7.35 - 4.092}{4.092} \right) * 100 = 79.6188 [\%]$$

CONCLUSIONES - TORQUE

- Hasta las 2700 rpm la motocicleta turbo decrementa el torque en comparación con la motocicleta atmosférica, debido a los problemas de sobrealimentación a bajas revoluciones. Sin embargo a partir de estas rpm el torque incrementa, debido a que se obtienen mayores presiones de sobrealimentación.
- El torque máximo de la motocicleta atmosférica es de 12.35 lb.ft a las 3000 rpm.
- El torque máximo de la motocicleta turbo es de 15.69 lb.ft a las 3400 rpm.

4.3.1.2 PRUEBAS PARA EL CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE HOJA DE PRUEBAS PARA EL C.E.C

Fecha (moto atmosférica): 2016-05-09

Fecha (moto turbo): 2017-02-01

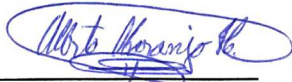
Objetivo: Calcular el consumo específico de combustible (C.E.C) de la motocicleta atmosférica y sobrealimentada con el fin de realizar una comparación.

Instrumentos, herramientas y elementos de protección personal: (1) Banco de pruebas para la medición del flujo másico de combustible, (5 galones) de gasolina (extra en motocicleta atmosférica) (súper en motocicleta turbo), (1) embudo, (1) desarmador plano, (1) ventilador, (2) orejeras.



Figura 90: Banco de pruebas para la medición del flujo másico de combustible.

Descripción: El equipo para medir el flujo másico de combustible está situado en el laboratorio de Motores de Combustion Interna (MCI) de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" - Sangolquí.

PROCEDIMIENTO							
1	Colocar combustible en el depósito del equipo.						✓
2	Colocar la manguera de alimentación de combustible del equipo en el carburador de la motocicleta.						✓
3	Establecer el volumen de combustible de prueba.						✓
4	Arrancar el motor.						✓
5	Calentar el motor por 10 minutos.						✓
6	Colocar un ventilador frente al motor.						✓
7	Setear los parámetros de funcionamiento del sistema.						✓
8	Acelerar el motor a las revoluciones establecidas.						✓
9	Medir el tiempo de consumo del combustible.						✓
10	Recopilar datos.						✓
DATOS OBTENIDOS							
MOTOCICLETA ATMOSFÉRICA							
N (rpm)	Volumen de prueba (cc)	Tiempo 1 (s)	Tiempo 2 (s)	Tiempo 3 (s)	Tiempo 4 (s)	Tiempo 5 (s)	Promedio (s)
2500	25	128.8	129.2	129.6	128.4	129.3	129.06
3500	25	105.6	104.9	104.3	105.5	104.8	105.02
4500	25	90.8	91.3	91.2	91.6	90.5	91.08
5500	25	84.4	83.9	84.3	84.3	84.4	84.26
Tabla 25: Medición del tiempo de consumo de combustible en la motocicleta atmosférica.							
MOTOCICLETA TURBO							
N (rpm)	Volumen de prueba (cc)	Tiempo 1 (s)	Tiempo 2 (s)	Tiempo 3 (s)	Tiempo 4 (s)	Tiempo 5 (s)	Promedio (s)
2500	25	86.3	85.9	86.9	86.1	86.2	86.28
3500	25	70.6	71.1	70.7	70.8	70.6	70.76
4500	25	62.7	62.8	63.1	62.6	62.9	62.82
5500	25	58.5	58.3	58.3	58.4	58.8	58.46
Tabla 26: Medición del tiempo de consumo de combustible en la motocicleta turbo.							
 <hr/> Alberto Naranjo Laboratorista de Motores de Combustion Interna - ESPE							

ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS

Se realizó una gráfica de RPM versus el consumo específico de combustible entre la motocicleta atmosférica y turbo, obteniendo:

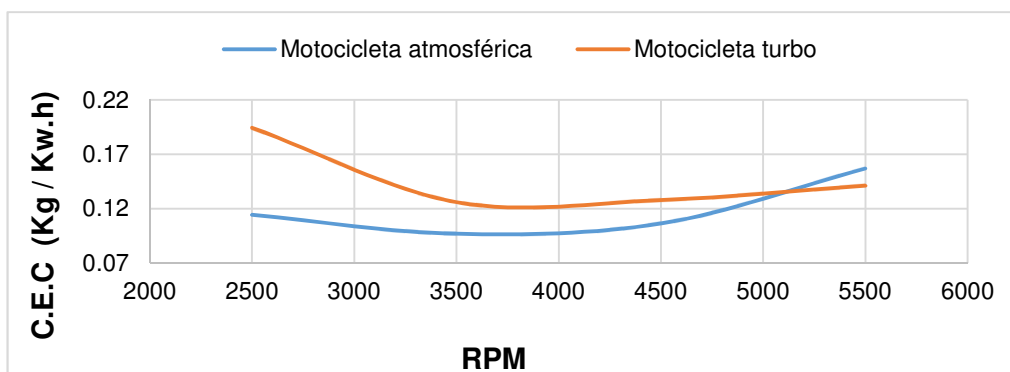


Figura 91: Comparativa en la prueba de medición del consumo específico de combustible.

Los porcentajes de incremento y decremento del C.E.C en la motocicleta turbo los podemos ver en la siguiente tabla:

Tabla 27

Comparativa en la prueba de medición del consumo específico de combustible.

RPM	Variación del C.E.C (%)
2500	70.1263
3500	30.0284
4500	20.2016
5500	-10.0701

Para ejemplo de cálculo se utilizó los datos que corresponden al porcentaje de decremento del C.E.C, es decir en las 5500 rpm, así mediante la ecuación 12 modificada tenemos:

$$C.E.C_R = \frac{\dot{m}_{combustible}}{P_R} \left[\frac{Kg}{Kw.h} \right]$$

$$\dot{m}_{combustible\ atmosférica} = \frac{m}{t} = \frac{0.017}{84.26} = 2.0176 E - 4 \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$\dot{m}_{combustible\ turbo} = \frac{m}{t} = \frac{0.017}{58.46} = 2.908 E - 4 \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

$$C.E.C_{R\ atmosférica} = \frac{\dot{m}_{combustible\ atmosférica}}{P_R} = \frac{2.0176 E - 4}{4.6278} * 3600 = 0.1569 \left[\frac{Kg}{Kw.h} \right]$$

$$C.E.C_{R\ turbo} = \frac{\dot{m}_{combustible\ turbo}}{P_R} = \frac{2.908 E - 4}{7.4205} * 3600 = 0.1411 \left[\frac{Kg}{Kw.h} \right]$$

En donde la masa de combustible (0.017 Kg) se obtuvo a partir de la densidad del combustible de 680 (Kg/m³), para un volumen de 25cc el cual corresponde al volumen de prueba. Finalmente la variación del C.E.C para este régimen de giro será:

$$\Delta\% = \left(\frac{0.1411 - 0.1569}{0.1569} \right) * 100 = -10.0701 [\%]$$

CONCLUSIONES

- Hasta las 5100 rpm la motocicleta turbo incrementa el consumo específico del combustible en comparación con la motocicleta atmosférica, debido a los problemas de sobrealimentación a bajas revoluciones. Sin embargo a partir de estas rpm el consumo específico de combustible comienza a disminuir, debido a que se obtiene una mayor potencia en la motocicleta.
- El C.E.C mínimo de la motocicleta atmosférica es de 0.0969 (Kg/Kw.h).
- El C.E.C mínimo de la motocicleta turbo es de 0.1261 (Kg/Kw.h).

4.3.1.3 PRUEBAS PARA EL NIVEL DE RUIDO EN EL ESCAPE

HOJA DE PRUEBAS PARA EL NIVEL DE RUIDO EN EL ESCAPE

Fecha (moto atmosférica): 2016-05-10 | **Fecha (moto turbo):** 2017-02-02

Objetivo: Medir el nivel de presión sonora (NPS) de la motocicleta atmosférica y sobrealimentada con el fin de realizar una comparación.

Instrumentos, herramientas y elementos de protección personal: (1) Sonómetro Thomas Scientific, (1) bloque estabilizador de motocicleta, (2) orejeras, (1) ventilador.



Figura 92: Medición del nivel de ruido con el sonómetro Thomas Scientific.

Descripción: El instrumento se encuentra ubicado en el laboratorio de Geográfica y medio ambiente de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" – Sangolquí.

PROCEDIMIENTO						
1	Colocar la motocicleta totalmente vertical.					
2	Ubicar el micrófono del sonómetro a una distancia de 0.5 (m) del tubo de escape de la motocicleta.					
3	<p>El micrófono será colocado de manera tal que forme un ángulo de 45° con el plano vertical que contiene la salida de los gases de escape. (Ver figura 93).</p> <div style="text-align: center;"> <p>Figura 93: Medición de ruido en vehículos – ISO 5130: 2007.</p> </div>					
4	Arrancar el motor.					
5	Calentar el motor por 10 minutos.					
6	Colocar un ventilador frente al motor.					
7	Setear los parámetros de funcionamiento del sonómetro					
8	Acelerar el motor a las revoluciones establecidas.					
9	Medir el nivel de presión sonora NPS (dB).					
10	Recopilar datos.					
DATOS OBTENIDOS						
MOTOCICLETA ATMOSFÉRICA						
Tabla 28						
Medición del nivel de presión sonora (NPS) en la motocicleta atmosférica						
N (rpm)	NPS 1 (dB)	NPS 2 (dB)	NPS 3 (dB)	NPS 4 (dB)	NPS 5 (dB)	Promedio (dB)
1200	78.8	78.7	78.6	78.8	78.6	78.7
2500	82.3	82.4	82.6	82.3	82.6	82.44
3500	88.6	88.9	88.5	88.5	88.8	88.66
4500	93.6	93.6	93.5	93.4	93.4	93.5
5500	98.6	98.5	98.6	98.7	98.7	98.62

MOTOCICLETA TURBO

N (rpm)	NPS 1 (dB)	NPS 2 (dB)	NPS 3 (dB)	NPS 4 (dB)	NPS 5 (dB)	Promedio (dB)
1200	75.8	75.4	75.3	75.1	75.4	75.4
2500	79.8	79.7	79.7	79.8	79.6	79.72
3500	85.4	85.3	85.5	85.5	85.6	85.46
4500	90.4	90.5	90.4	90.5	90.4	90.44
5500	95.2	95.4	95.4	95.5	95.5	95.4

Tabla 29: Medición del nivel de presión sonora (NPS) en la motocicleta turbo



Alberto Naranjo
Laboratorista de Motores de Combustion Interna - ESPE

ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS

Se realizó una gráfica de RPM versus el nivel de presión sonora entre la motocicleta atmosférica y turbo, obteniendo:

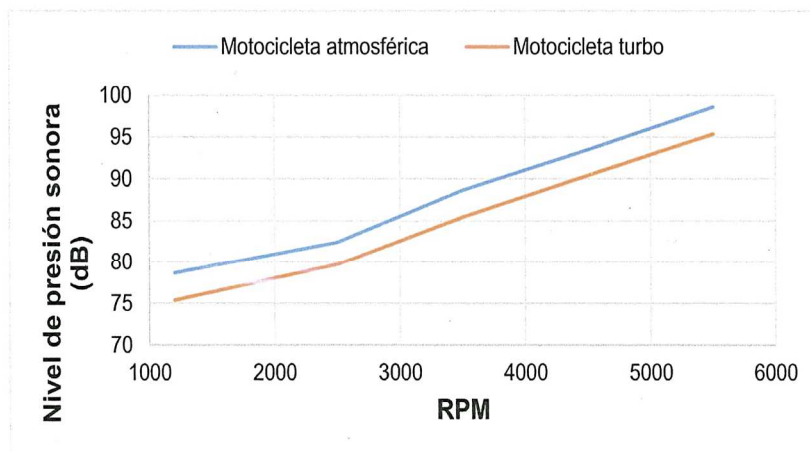


Figura 94: Comparativa en la prueba de medición del nivel de ruido.

Los porcentajes de decremento del nivel de presión sonora en la motocicleta turbo los podemos ver en la siguiente tabla:

RPM	Variación del NPS (%)
1200	-4.1931
2500	-3.2994
3500	-3.6093
4500	-3.2727
5500	-3.2651

Tabla 30: Comparativa en la prueba de medición del nivel de ruido.


Para ejemplo de cálculo se utilizó los datos que corresponden al mayor porcentaje de decremento del NPS, es decir a las 1200 rpm:

$$\Delta\% = \left(\frac{75.4 - 78.7}{78.7} \right) * 100 = -4.1931 [\%]$$

CONCLUSIONES

- La motocicleta turbo decremента el nivel de presión sonora en toda la banda de giro del motor en comparación con la motocicleta atmosférica. Este decremento se da porque una cierta cantidad de energía de presión de los gases de escape es utilizada para mover el impulsor de la turbina.
- El NPS mínimo de la motocicleta atmosférica es de 78.7 dB.
- El NPS mínimo de la motocicleta turbo es de 75.4 dB.

4.3.1.4 PRUEBAS DE LOS GASES DE ESCAPE

HOJA DE PRUEBAS DE LOS GASES DE ESCAPE	
Fecha (moto atmosférica): 2016-05-11	Fecha (moto turbo): 2017-02-03
Objetivo: Medir la emisión de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no combustionados (HC), dióxido de carbono (CO ₂) y oxígeno (O ₂) de la motocicleta atmosférica y sobrealimentada, con el fin de realizar una comparación.	
Instrumentos, herramientas y elementos de protección personal: (1) Analizador de gases de escape Nextech NGA 6000, (2) mascarillas, (2) orejeras, (1) ventilador.	
	
Figura 95: Aparato de Orsat, Nextech NGA 6000.	
Descripción: El equipo se encuentra ubicado en el laboratorio de Motores de Combustion Interna (MCI) de la Universidad de las fuerzas Armadas “ESPE” – Sangolquí.	
PROCEDIMIENTO	
1	Arrancar el motor.
2	Calentar el motor por 10 minutos.
3	Colocar un ventilador frente al motor.

4	Colocar el ducto analizador en el tubo de escape del motor.					
5	Setear los parámetros de funcionamiento del analizador de gases.					
6	Acelerar el motor a las revoluciones establecidas.					
7	Recopilar los datos obtenidos en el analizador.					
DATOS OBTENIDOS						
MOTOCICLETA ATMOSFÉRICA						
Tabla 31						
Medición de la composición de los gases de escape en la motocicleta atmosférica						
MONÓXIDO DE CARBONO - CO						
N (rpm)	Medida 1 (%)	Medida 2 (%)	Medida 3 (%)	Medida 4 (%)	Medida 5 (%)	Promedio (%)
1200	5.33	6.08	5.51	5.79	5.95	5.732
2500	2.96	4.05	3.73	4.02	6.74	4.3
4500	6.07	6.11	3.16	6.16	6.08	5.516
5500	5.65	6.18	5.75	5.42	6.25	5.85
HIDROCARBUROS NO QUEMADOS – HC						
N (rpm)	Medida 1 (ppm)	Medida 2 (ppm)	Medida 3 (ppm)	Medida 4 (ppm)	Medida 5 (ppm)	Promedio (ppm)
1200	198	221	189	206	226	208
2500	201	212	199	222	231	213
4500	104	324	253	266	238	237
5500	256	245	242	226	235	240.8
DIÓXIDO DE CARBONO – CO₂						
N (rpm)	Medida 1 (%)	Medida 2 (%)	Medida 3 (%)	Medida 4 (%)	Medida 5 (%)	Promedio (%)
1200	3.2	3.5	3.4	3.3	3.4	3.36
2500	1.8	2.1	2.4	2.2	4.1	2.52
4500	3	2.6	0.9	2.4	3.1	2.4
5500	2.5	1.7	2.4	2.8	2.1	2.3
OXÍGENO – O₂						
N (rpm)	Medida 1 (%)	Medida 2 (%)	Medida 3 (%)	Medida 4 (%)	Medida 5 (%)	Promedio (%)
1200	3.62	3.83	3.85	4.16	4.35	3.962
2500	4.18	4.92	4.42	3.98	4.24	4.348
4500	5.62	5.39	5.12	5.68	4.85	5.332
5500	5.42	5.51	5.84	4.92	5.86	5.51

MOTOCICLETA TURBO

MONÓXIDO DE CARBONO - CO						
N (rpm)	Medida 1 (%)	Medida 2 (%)	Medida 3 (%)	Medida 4 (%)	Medida 5 (%)	Promedio (%)
1200	6.46	6.32	6.16	5.78	6.15	6.174
2500	5.99	4.75	4.69	4.02	5.12	4.914
4500	2.45	3.98	2.14	2.95	2.63	2.83
5500	3.16	3.45	2.96	2.98	3.74	3.258
HIDROCARBUROS NO QUEMADOS – HC						
N (rpm)	Medida 1 (ppm)	Medida 2 (ppm)	Medida 3 (ppm)	Medida 4 (ppm)	Medida 5 (ppm)	Promedio (ppm)
1200	213	225	199	218	210	213
2500	225	212	214	212	216	215.8
4500	178	152	172	189	142	166.6
5500	163	181	168	173	175	172
DIÓXIDO DE CARBONO – CO2						
N (rpm)	Medida 1 (%)	Medida 2 (%)	Medida 3 (%)	Medida 4 (%)	Medida 5 (%)	Promedio (%)
1200	3.8	4.2	4.3	3.9	4.1	4.06
2500	3.6	3.4	3.8	3.2	3.2	3.44
4500	3.1	3.2	2.8	2.7	2.9	2.94
5500	2.6	2.9	2.8	2.5	2.7	2.7
OXÍGENO – O2						
N (rpm)	Medida 1 (%)	Medida 2 (%)	Medida 3 (%)	Medida 4 (%)	Medida 5 (%)	Promedio (%)
1200	4.25	4.63	5.12	4.89	4.75	4.728
2500	5.12	5.34	5.29	5.26	5.29	5.26
4500	5.86	5.99	6.13	5.89	5.92	5.958
5500	6.45	6.82	7.45	7.12	7.25	7.018

Tabla 32: Medición de la composición de los gases de escape en la motocicleta turbo



Alberto Naranjo
Laboratorista de Motores de Combustion Interna - ESPE

ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS – CO

Se realizó una gráfica de RPM versus el porcentaje de monóxido de carbono en la motocicleta atmosférica y turbo, obteniendo:

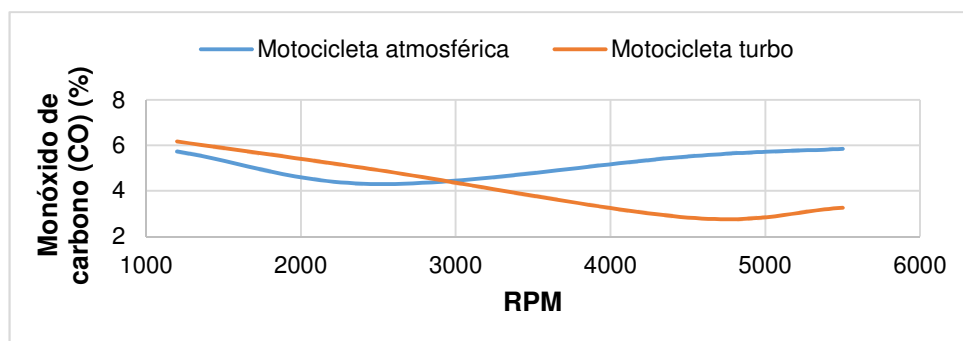


Figura 96: Comparativa en la prueba de medición del monóxido de carbono.

Los porcentajes de incremento y decremento del CO en la motocicleta turbo los podemos ver en la siguiente tabla:

Tabla 33

Comparativa en la prueba de medición del monóxido de carbono.

RPM	Variación del CO (%)
1200	7.7111
2500	14.2791
4500	-48.6947
5500	-44.3077

Para ejemplo de cálculo se utilizó los datos que corresponden al mayor porcentaje de decremento del CO, es decir a las 4500 rpm, así:

$$\Delta\% = \left(\frac{2.83 - 5.516}{5.516} \right) * 100 = -48.6947 [\%]$$

CONCLUSIONES - CO

-Hasta las 2900 rpm la motocicleta turbo incrementa el porcentaje de monóxido de carbono en comparación con la motocicleta atmosférica, debido a los problemas de sobrealimentación a bajas revoluciones. Sin embargo a partir de estas rpm el porcentaje de CO disminuye, debido a que se obtienen mayores presiones de sobrealimentación y por ende mejores combustiones en el cilindro del motor.

- El CO mínimo emitido por la motocicleta atmosférica es de 4.3%.

- El CO mínimo emitido por la motocicleta turbo es de 2.83%.

ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS – HC

Se realizó una gráfica de RPM versus las partes por millón (ppm) de hidrocarburos no quemados en la motocicleta atmosférica y turbo, obteniendo:

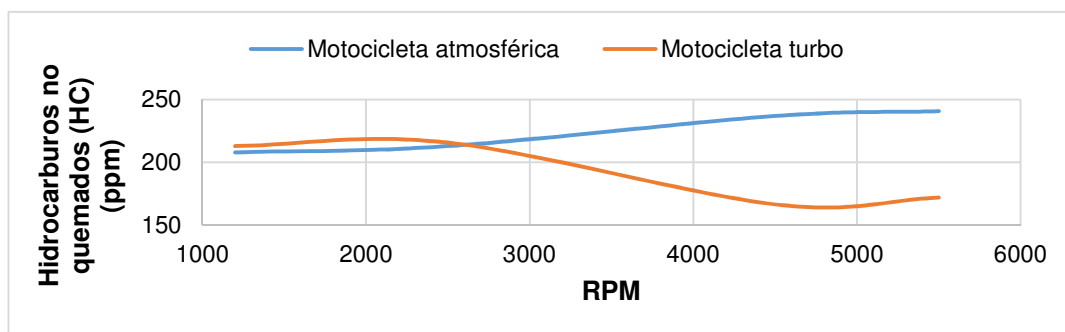


Figura 97: Comparativa en la prueba de medición de hidrocarburos no quemados.

Los porcentajes de incremento y decremento de HC en la motocicleta turbo los podemos ver en la siguiente tabla:

Tabla 34

Comparativa en la prueba de medición de hidrocarburos no quemados

RPM	Variación de HC (%)
1200	2.4038
2500	1.3146
4500	-29.7046
5500	-28.5714

Para ejemplo de cálculo se utilizó los datos que corresponden al mayor porcentaje de decremento de HC, es decir en las 4500 rpm, así:

$$\Delta\% = \left(\frac{166.6 - 237}{237} \right) * 100 = -29.7046 [\%]$$

CONCLUSIONES - HC

-Hasta las 2600 rpm la motocicleta turbo incrementa las partes por millón de HC en comparación con la motocicleta atmosférica, debido a los problemas de sobrealimentación a bajas revoluciones. Sin embargo a partir de estas rpm las PPM de HC comienzan a disminuir, debido a que se obtienen mayores presiones de sobrealimentación y por ende mejores combustiones en el cilindro del motor.

- Los HC mínimos emitidos por la motocicleta atmosférica son de 208 ppm.
- Los HC mínimos emitidos por la motocicleta turbo son de 166.6 ppm.

ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS – CO₂

Se realizó una gráfica de RPM versus el porcentaje del dióxido de carbono en la motocicleta atmosférica y turbo, obteniendo:

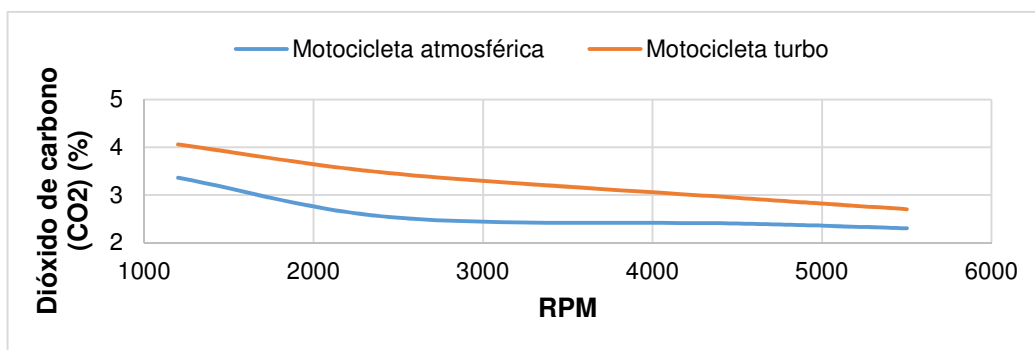


Figura 98: Comparativa en la prueba de medición del dióxido de carbono.

Los porcentajes de incremento del CO₂ en la motocicleta turbo los podemos ver en la siguiente tabla:

Tabla 35

Comparativa en la prueba de medición del dióxido de carbono.

RPM	Variación del CO ₂ (%)
1200	20.8333
2500	36.5079
4500	22.5
5500	17.3913

Para ejemplo de cálculo se utilizó los datos que corresponden al mayor porcentaje de incremento del CO₂, es decir en las 2500 rpm:

$$\Delta\% = \left(\frac{3.44 - 2.52}{2.52} \right) * 100 = 36.5079 \text{ [%]}$$

CONCLUSIONES – CO₂

- La motocicleta turbo incrementa el porcentaje del dióxido de carbono en toda la banda de giro del motor en comparación con la motocicleta atmosférica. Este incremento del CO₂ es típico en combustiones con exceso de aire.
- El CO₂ mínimo emitido por la motocicleta atmosférica es de 2.3%.

- El CO₂ mínimo emitido por la motocicleta turbo es de 2.7%.
- El incremento máximo del CO₂ es del 36.5079% a las 2500 rpm.

ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS – O₂

Se realizó una gráfica de RPM versus el porcentaje del oxígeno en la motocicleta atmosférica y turbo, obteniendo:

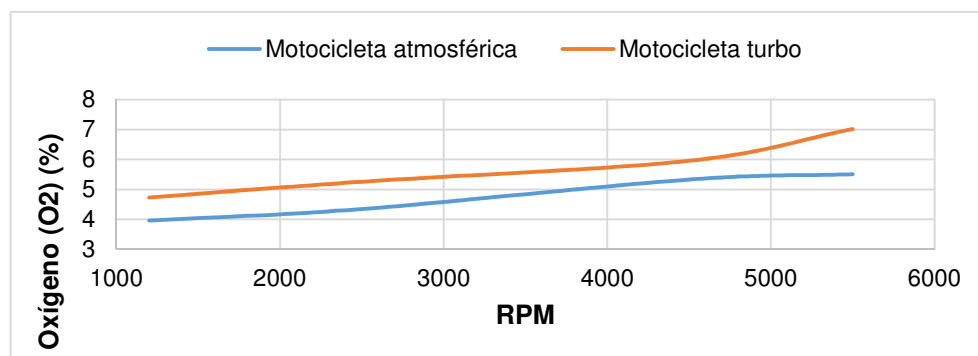


Figura 99: Comparativa en la prueba de medición del oxígeno.

Los porcentajes de incremento del O₂ en la motocicleta turbo los podemos ver en la siguiente tabla:

Tabla 36

Comparativa en la prueba de medición del oxígeno.

RPM	Variación del O ₂ (%)
1200	19.3337
2500	20.9752
4500	11.7404
5500	27.3684

Para ejemplo de cálculo se utilizará los datos que corresponden al mayor porcentaje de incremento del O₂, es decir en las 5500 rpm:


$$\Delta\% = \left(\frac{7.018 - 5.51}{5.51} \right) * 100 = 27.3684 [\%]$$

CONCLUSIONES – O₂

- La motocicleta turbo incrementa el porcentaje del oxígeno en toda la banda de giro del motor en comparación con la motocicleta atmosférica. Este incremento del O₂ es típico en combustiones con exceso de aire.
- El O₂ mínimo emitido por la motocicleta atmosférica es de 3.962%.
- El O₂ mínimo emitido por la motocicleta turbo es de 4.728%.

4.3.2 PRUEBA DE CARRETERA

4.3.2.1 PRUEBAS DEL RENDIMIENTO DE COMBUSTIBLE

HOJA PRUEBAS DEL RENDIMIENTO DE COMBUSTIBLE	
Fecha (moto atmosférica): 2016-05-14	Fecha (moto turbo): 2017-02-04
Objetivo: Determinar el rendimiento del combustible de la motocicleta atmosférica y turbo Loncin LX 250 PY en las ciudad y en la carretera, a fin de compararlas.	
Instrumentos, herramientas y elementos de protección personal: (1) Tablero de control Loncin LX 250 PY, (1) probeta, (1) casco.	
	
Figura 100: Tablero de control Loncin LX 250 PY	
Descripción: El rendimiento de combustible tanto de la motocicleta atmosférica como de la sobrealimentada será calculado mediante la ecuación 38:	
$\text{Rendimiento del combustible} = \frac{\text{Promedio de distancia recorrida} \left[\frac{\text{Km}}{\text{gal}} \right]}{\text{Volumen de combustible usado}} \quad \text{Ec. 38}$	
Cabe destacar que esta medición se realizará en la ciudad de Quito y en sus carreteras aledañas, en donde existe una presión atmosférica media de 10.5629 (psi).	
PROCEDIMIENTO	
1	Arrancar el motor.
2	Calentar el motor por 10 minutos.
3	Esperar que se apague el motor hasta que se termine el combustible del tanque y de la cuba del carburador (sin incluir la reserva).
4	Colocar 200 (ml) de combustible en el tanque de la motocicleta.
5	Encerar el medidor del kilometraje del tablero.
6	Arrancar nuevamente el motor.
7	Realizar el trayecto por la ciudad o por la carretera.
8	Medir la distancia recorrida hasta que se apague el motor.
9	Recopilar datos.

DATOS OBTENIDOS

MOTOCICLETA ATMOSFÉRICA

Lugar	Medida 1 (Km)	Medida 2 (Km)	Medida 3 (Km)	Medida 4 (Km)	Medida 5 (Km)	Promedio (Km)
Ciudad	8.4	9	8.6	8.3	8.8	8.62
Carretera	10.5	10.6	10.5	10.5	10.4	10.5

Tabla 37: Distancia recorrida por cada 200 ml de combustible en la motocicleta atmosférica.

MOTOCICLETA TURBO

Lugar	Medida 1 (Km)	Medida 2 (Km)	Medida 3 (Km)	Medida 4 (Km)	Medida 5 (Km)	Promedio (Km)
Ciudad	7.1	7.5	7.3	7.3	7.1	7.26
Carretera	8.3	8.5	8.5	8.4	8.6	8.46

Tabla 38: Distancia recorrida por cada 200 ml de combustible en la motocicleta turbo.



Alberto Naranjo
Laboratorista de Motores de Combustion Interna - ESPE

ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS

Se realizó una gráfica de barras del rendimiento del combustible entre la motocicleta atmosférica y turbo, obteniendo:

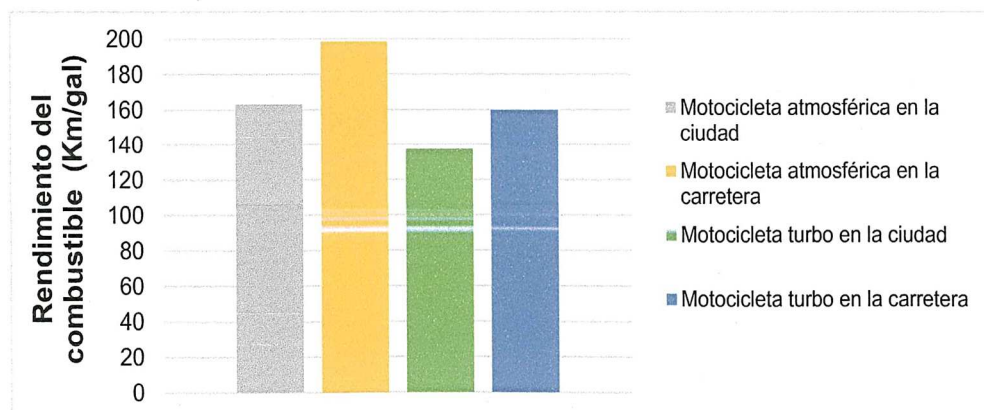


Figura 101: Comparativa en la prueba del rendimiento del combustible.

En la figura 101 se puede observar como la motocicleta turbo decrementa el rendimiento del combustible en comparación con la motocicleta atmosférica, lo que se puede evidenciar en la siguiente tabla:

Tabla 39

Comparativa en la prueba del rendimiento del combustible.

Rendimiento del combustible en la ciudad (Km/gal)		Rendimiento del combustible en la carretera (Km/gal)	
Motocicleta atmosférica	Motocicleta turbo	Motocicleta atmosférica	Motocicleta turbo
163.1513	137.4105	198.7342	160.123
Decremento del rendimiento del combustible (%)		Decremento del rendimiento del combustible (%)	
-15.7773		-19.4286	

Para ejemplo de cálculo se utilizó los datos que corresponden al mayor porcentaje de decremento del rendimiento del combustible, es decir en la carretera, así:

$$\text{Rendimiento del combustible} = \frac{\text{Promedio de distancia recorrida} \left[\frac{\text{Km}}{\text{gal}} \right]}{\text{Volumen de combustible usado}}$$

$$\text{Rendimiento del combustible}_{\text{motocicleta atmosférica en carretera}} = \frac{10.5}{0.0528344} = 198.7342 \left[\frac{\text{Km}}{\text{gal}} \right]$$

$$\text{Rendimiento del combustible}_{\text{motocicleta turbo en carretera}} = \frac{8.46}{0.0528344} = 160.123 \left[\frac{\text{Km}}{\text{gal}} \right]$$

En donde el volumen de combustible usado corresponde a los 200 ml de prueba (0.0528344 gal). Posteriormente se procedió a calcular el decremento del rendimiento del combustible:


$$\Delta\% = \left(\frac{160.123 - 198.7342}{198.7342} \right) * 100 = -19.4286 [\%]$$

CONCLUSIONES

- El rendimiento del combustible en la motocicleta turbo es menor que la motocicleta atmosférica, ya sea en ciudad o en carretera.
- El decremento del rendimiento del combustible en la ciudad es del 15.7773%.
- El decremento del rendimiento del combustible en la carretera es del 19.4286%.

4.3.3 PRUEBAS DE DESEMPEÑO

4.3.3.1 PRUEBAS DE ACELERACIÓN

HOJA DE PRUEBAS DE ACELERACIÓN	
Fecha (moto atmosférica): 2016-05-14	Fecha (moto turbo): 2017-02-04
Objetivo: Determinar la capacidad de aceleración de la motocicleta atmosférica y sobrealimentada, con el fin de compararlas.	
Instrumentos, herramientas y elementos de protección personal: (1) Cronómetro Casio HS-70W, (1) tiza, (1) silbato, (1) casco.	
	
Figura 102: Cronómetro Casio HS-70W	
Descripción: Esta prueba fue realizada en una vía recta y plana que se encuentra a 40 Km de Quito, en las afueras de Guayllabamba, para determinar la capacidad de aceleración de la motocicleta en determinadas distancias, las cuales están dadas desde los 0 hasta los 800 metros en intervalos de 100 metros.	
PROCEDIMIENTO	
1	Arrancar el motor.
2	Calentar el motor por 10 minutos.
3	Marcar las distancias en la vía (de 0 a 800 metros en intervalos de 100 metros).
4	Encerar el cronómetro.
5	La persona encargada del cronómetro debe estar situada en una posición determinada (de acuerdo a los intervalos establecidos anteriormente), y dar la orden de salida al piloto.
6	El piloto debe estar listo (en primera marcha), y al momento de escuchar la orden de salida debe acelerar a fondo y cambiar de marchas cuando sea necesario para alcanzar lo antes posible la posición de la persona que posee el cronómetro.
7	La persona con el cronómetro debe registrar los tiempos que le toma al piloto alcanzar determinada posición.
8	Recopilar datos.

DATOS OBTENIDOS

MOTOCICLETA ATMOSFÉRICA

Distancia (m)	Tiempo 1 (s)	Tiempo 2 (s)	Tiempo 3 (s)	Tiempo 4 (s)	Tiempo 5 (s)	Promedio (s)
100	7.51	6.84	7.25	7.14	6.98	7.144
200	10.8	9.99	10.2	10.3	9.33	10.124
300	14.17	13.59	14.76	14.89	13.68	14.218
400	17.77	16.83	17.89	17.26	16.65	17.28
500	21.15	20.34	21.05	21.86	20.18	20.916
600	24.84	23.76	24.62	24.42	23.89	24.306
700	28.53	27.27	28.29	28.62	27.43	28.028
800	31.68	30.69	31.75	31.55	30.86	31.306

Tabla 40: Prueba de aceleración por distancia en la motocicleta atmosférica.

MOTOCICLETA TURBO

Distancia (m)	Tiempo 1 (s)	Tiempo 2 (s)	Tiempo 3 (s)	Tiempo 4 (s)	Tiempo 5 (s)	Promedio (s)
100	6.38	6.45	6.41	6.32	6.4	6.392
200	9.6	9.42	9.5	9.63	9.58	9.546
300	11.8	12.2	12.28	12.45	11.86	12.118
400	15.51	15.98	15.14	15.25	15.75	15.526
500	17.92	18.2	18.3	18.45	17.85	18.144
600	21.21	21.58	21.62	21.1	21.32	21.366
700	23.92	24	24.03	24.08	24.37	24.08
800	27.48	27.12	27.09	27.15	27.05	27.178

Tabla 41: Prueba de aceleración por distancia en la motocicleta turbo.



Alberto Naranjo
Laboratorista de Motores de Combustion Interna - ESPE

ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS

Se realizó una gráfica de distancia versus aceleración de la motocicleta atmosférica y turbo, obteniendo:

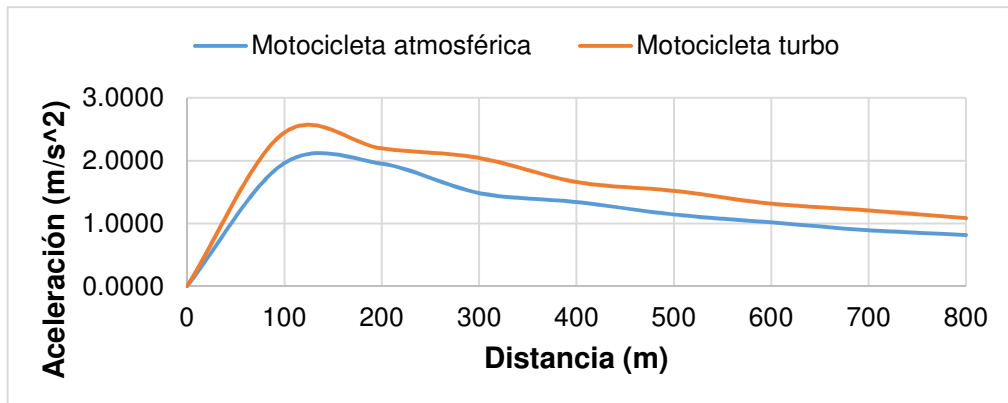


Figura 103: Comparativa en la prueba de aceleración en función de la distancia

En la figura 103 se puede observar claramente como la motocicleta turbo incrementa la aceleración en comparación con la motocicleta atmosférica, lo que se puede evidenciar en la siguiente tabla:

Tabla 42

Comparativa en la prueba de aceleración en función de la distancia.

Distancia (m)	Incremento de la aceleración (%)
100	24.9135
200	12.4764
300	37.6623
400	23.8706
500	32.8897
600	29.4138
700	35.4788
800	32.6845

Para ejemplo de cálculo se utilizó los datos que corresponden al mayor porcentaje de incremento de la aceleración, es decir en los 300 metros de distancia, así la aceleración en función de la distancia:

$$a = f(d) = \frac{d}{t^2} \quad \left[\frac{m}{s^2} \right] \quad \text{Ec. 39}$$

$$a_{atmosférica} = f(d) = \frac{300}{14.218^2} = 1.4840 \quad \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

$$a_{turbo} = f(d) = \frac{300}{12.118^2} = 2.0430 \quad \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

Posteriormente el incremento de la aceleración:

$$\Delta\% = \left(\frac{X2 - X1}{X1} \right) * 100$$

$$\Delta\% = \left(\frac{2.0430 - 1.4840}{1.4840} \right) * 100 = 37.6623 \text{ [%]}$$

CONCLUSIONES

- La motocicleta turbo aumenta la capacidad de aceleración en comparación con la motocicleta atmosférica, haciéndola más agresiva.
- El menor porcentaje de incremento de la aceleración es del 12.4764%.
- El mayor porcentaje de incremento de la aceleración es del 37.6623%.

CAPÍTULO V

ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO DEL PROYECTO

5.1 ESTUDIO ECONÓMICO

El presente análisis pretende determinar el costo económico que representa el diseño, selección, construcción e implementación de un sistema de sobrealimentación a una motocicleta Loncin LX 250 PY.

Se involucran costos directos e indirectos los cuales veremos a continuación.

5.1.1 COSTO DIRECTO

Este costo está conformado por: materiales directos y por la mano de obra directa.

5.1.1.1 COSTO DE MATERIALES DIRECTOS

Tabla 43

Costo de los materiales directos.

MATERIALES DIRECTOS					
Ord.	Descripción	Unid.	Cant.	P. unitario (USD)	P. total (USD)
1	Turbo Ecotrons VZ21	u	1	441	441
2	Accesorios turbo VZ21 (bridas, empaques, neoplos de cobre, tornillos)	kit	1	90	90
3	Brida y empaque de entrada a compresor	par	1	5	5
4	Brida salida compresor	u	1	20	20
5	Empaque salida compresor	u	1	3	3

6	Brida ducto de admisión	u	1	20	20
7	Empaque ducto de admisión	u	1	3	3
8	Tornillos hexagonales de acero inoxidable M6 X 20mm	u	2	0.25	0.50
9	Neplo cilindro – turbina	u	1	30	30
10	Empaque de fuego	u	1	1	1
11	Tuercas M8 de acero inoxidable	u	2	0.10	0.20
12	Ducto de escape	u	1	30	30
13	Laca negra para alta temperatura	u	1	10	10
14	Ducto salida compresor	u	1	10	10
15	Laca amarilla	u	1	5	5
16	Ducto de entrada al cilindro	u	1	10	10
17	Neplo de cobre de rosca ¼" NPT para manguera de Φ ½".	u	1	3	3
18	Codo de cobre de rosca ½ " NPT para neplo de rosca ½ " NPT	u	1	3.50	3.50
19	Neplo de cobre de rosca ½ " NPT para manguera de Φ ¾	u	1	3.50	3.50
20	"Te" de cobre para manguera de Φ ½ ",	u	1	2.50	2.50

21	Manguera de Φ 1/2".	metros	1.2	8	9.60
22	Manguera de Φ 3/4"	metros	0.25	10	2.50
23	Manómetro bourdon	u	1	20	20
24	Aceite Repsol moto sintético 4t 10w-40	litro	2	12	24
25	Bujía NGK DR9EIX.	u	1	20	20
26	Carburador tiro directo	u	1	15	15
27	Chiclé de carburador	u	1	1	1
28	Filtro de aceite	u	1	8	8
29	Filtro de aire	u	1	3	3
30	Sellador de empaques	u	1	5	5
31	Ducto polimérico (20 cm)	u	1	4	4
32	Abrazaderas	u	15	1.50	22.50
33	Protector de turbocompresor	u	1	80	80
TOTAL					905.80

5.1.1.2 COSTO DE MANO DE OBRA DIRECTA

Tabla 44

Costo de mano de obra directa.

MANO DE OBRA DIRECTA					
Ord.	Descripción	Unid.	Cant.	P. unitario (USD)	P. total (USD)
1	Labor estudiantil	hora	400	5	2000
TOTAL					2000

5.1.2 COSTO INDIRECTO

Este costo está conformado por: materiales indirectos, mano de obra indirecta y costos indirectos del proyecto.

5.1.2.1 COSTO DE MATERIALES INDIRECTOS

Tabla 45

Costo de materiales indirectos

MATERIALES INDIRECTOS		
Ord.	Descripción	Costo (USD)
1	Herramientas	50
2	Transporte	200
3	Material de papelería	50
4	Textos	50
TOTAL		350

5.1.2.2 COSTO DE MANO DE OBRA INDIRECTA

Tabla 46

Costo de mano de obra indirecta.

MANO DE OBRA INDIRECTA					
Ord.	Descripción	Unid.	Cant.	P. unitario (USD)	P. total (USD)
1	Asesoramiento Turbo DS	hora	10	25	250
2	Asesoramiento ESPE	hora	30	30	900
TOTAL					1150

5.1.2.3 COSTOS INDIRECTOS DEL PROYECTO

Tabla 47

Costos indirectos del proyecto.

COSTOS INDIRECTOS DEL PROYECTO					
Ord.	Descripción	Unid.	Cant.	P. unitario (USD)	P. total (USD)
1	Dinamómetro de rodillos	Med.	2	30	60

2	Banco de pruebas para la medición del flujo másico de combustible	horas	4	15	60
3	Sonómetro	horas	1	10	10
4	Aparato de Orsat	horas	4	20	80
5	Cronómetro	horas	4	5	20
TOTAL					230

5.1.3 COSTO TOTAL

Tabla 48

Costo total del proyecto.

COSTO TOTAL DEL PROYECTO		
Ord.	Descripción	Costo (USD)
1	Materiales directos	905.80
2	Mano de obra directa	2000
3	Materiales indirectos	350
4	Mano de obra indirecta	1150
5	Indirectos del proyecto	230
TOTAL		4635.80

5.2 ESTUDIO FINANCIERO

En la tabla 49 se detalla cada fuente de financiamiento necesaria para sustentar cada rubro del presente proyecto.

Tabla 49

Financiamiento del proyecto.

FINANCIAMIENTO				
Ord.	Rubro	Fuentes de financiamiento		TOTAL (USD)
		Autofinanciamiento	Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE"	
1	Materiales directos	905.80		905.80

2	Mano de obra directa	2000		2000
3	Materiales indirectos	350		350
4	Mano de obra indirecta	250	900	1150
5	Indirectos del proyecto	80	150	230
TOTAL (USD)		3585.80	1050	4635.80

5.3 ANÁLISIS COSTO – VOLUMEN – UTILIDAD

Una vez obtenido las tablas de costos, el comportamiento en el análisis de costo – volumen – utilidad quedó:

Costo fijo = CF = Mat. indirectos + mano de obra indirecta + indirectos del proyecto

$$CF = \$ 350 + \$ 1150 + \$ 230 = \$ 1730$$

Costo variable = CV = Materiales directos + mano de obra directa

$$CV = \$ 905.80 + \$ 100 = \$ 1005.80$$

$$IT: \$1500 / u$$

Y el punto de equilibrio (P.E), que es el número mínimo de unidades para obtener una utilidad se obtuvo de la siguiente forma:

$$PE = \frac{CF}{IT - CV}$$

$$PE = \frac{1730}{1500 - 1005.80}$$

$$PE = 3.5006$$

Entonces realizando una amortización semanal, se tiene la siguiente gráfica:

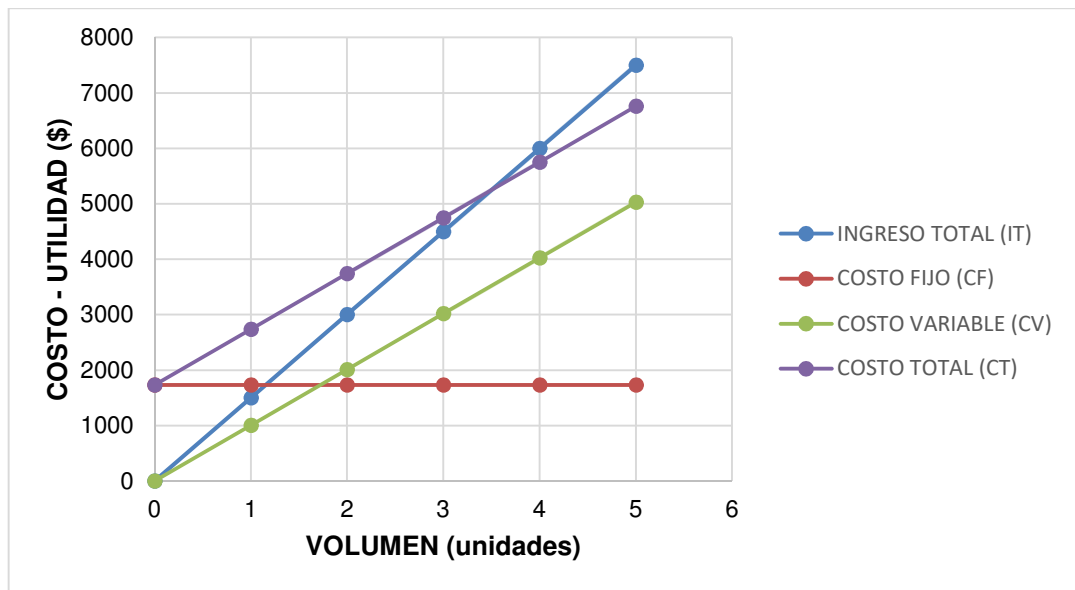


Figura 104: Análisis costo – volumen – utilidad

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- La presión atmosférica decrece exponencialmente en función de la altitud, lo que provoca una disminución de la densidad del aire, y con ello la caída de potencia y torque de la motocicleta Loncin LX 250 PY.
- Por cada 1000 msnm, la caída de potencia de la motocicleta Loncin LX 250 PY es de aproximadamente 9%, de esta forma, la caída de potencia en la ciudad más alta del Ecuador, Tulcán, es de aproximadamente el 25%.
- El sistema de sobrealimentación seleccionado fue con un turbocompresor de geometría fija marca Ecotrons VZ21, ya que cumplió con todos los requisitos establecidos.
- Para el montaje del sistema de sobrealimentación fue necesario la modificación de tres sistemas anexos al motor: sistema de escape, sistema de alimentación y sistema de lubricación.
- La potencia máxima en la rueda de la motocicleta atmosférica es de 8.573 hp @ 4200 rpm y de la motocicleta sobrealimentada es de 10.527 hp @ 5100 rpm, existiendo un incremento del 22.7925%.
- El torque máximo en la rueda de la motocicleta atmosférica es de 12.35 lb.ft @ 3000 rpm y de la motocicleta sobrealimentada es 15.69 lb.ft @ 3400 rpm, existiendo un incremento del torque del 27.0445%.
- Hasta las 5100 rpm la motocicleta turbo incrementa el consumo específico del combustible en comparación con la motocicleta atmosférica, debido a los problemas de sobrealimentación a bajas revoluciones. Sin embargo a partir de estas rpm el consumo

específico de combustible comienza a disminuir, debido a que se obtiene una mayor potencia en la motocicleta. Siendo el C.E.C mínimo de la motocicleta atmosférica de 0.0969 (Kg/Kw.h), y de la motocicleta turbo de 0.1261 (Kg/Kw.h).

- La motocicleta turbo decrementa el nivel de presión sonora en toda la banda de giro del motor en comparación con la motocicleta atmosférica. Este decremento se da porque una cierta cantidad de energía de presión de los gases de escape es utilizada para mover el impulsor de la turbina. El NPS mínimo de la motocicleta atmosférica es de 78.7 dB. El NPS mínimo de la motocicleta turbo es de 75.4 dB.
- Hasta las 2900 rpm la motocicleta turbo incrementa el porcentaje de monóxido de carbono en comparación con la motocicleta atmosférica, debido a los problemas de sobrealimentación a bajas revoluciones. Sin embargo a partir de estas rpm el porcentaje de CO disminuye, debido a que se obtienen mayores presiones de sobrealimentación y por ende mejores combustiones en el cilindro del motor. El CO mínimo emitido por la motocicleta atmosférica es de 4.3%. El CO mínimo emitido por la motocicleta turbo es de 2.83%. El decremento máximo del CO es del 48.6947% a las 4500 rpm.
- Hasta las 2600 rpm la motocicleta turbo incrementa las partes por millón de HC en comparación con la motocicleta atmosférica, debido a los problemas de sobrealimentación a bajas revoluciones. Sin embargo a partir de estas rpm las PPM de HC comienzan a disminuir, debido a que se obtienen mayores presiones de sobrealimentación y por ende mejores combustiones en el cilindro del motor. Los HC mínimos emitidos por la motocicleta atmosférica son de 208 ppm. Los HC mínimos emitidos por la motocicleta turbo

son de 166.6 ppm. El decremento máximo de HC es del 29.7046% a las 4500 rpm.

- La motocicleta turbo incrementa el porcentaje del dióxido de carbono en toda la banda de giro del motor en comparación con la motocicleta atmosférica. Este incremento del CO₂ es típico en combustiones con exceso de aire. El CO₂ mínimo emitido por la motocicleta atmosférica es de 2.3%. El CO₂ mínimo emitido por la motocicleta turbo es de 2.7%. El incremento máximo del CO₂ es del 36.5079% a las 2500 rpm.
- La motocicleta turbo incrementa el porcentaje del oxígeno en toda la banda de giro del motor en comparación con la motocicleta atmosférica. Este incremento del O₂ es típico en combustiones con exceso de aire. El O₂ mínimo emitido por la motocicleta atmosférica es de 3.962%. El O₂ mínimo emitido por la motocicleta turbo es de 4.728%. El incremento máximo del O₂ es del 27.3684% a las 5500 rpm.
- El rendimiento del combustible en la motocicleta turbo es menor que la motocicleta atmosférica, ya sea en ciudad o en carretera. El decremento del rendimiento del combustible en la ciudad es del 15.7773%. El decremento del rendimiento del combustible en la carretera es del 19.4286%.
- La motocicleta turbo aumenta la capacidad de aceleración en comparación con la motocicleta atmosférica, haciéndola más agresiva. El menor porcentaje de incremento de la aceleración es del 12.4764%. El mayor porcentaje de incremento de la aceleración es del 37.6623%.
- Tanto la motocicleta Loncin LX 250 PY atmosférica como la sobrealimentada cumplen con la normativa INEN 2204 (umbrales).

6.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda instalar turbocompresores en motores iguales o mayores a 450cc con sistema de suministro de combustible por inyección, ya que motores de menor cilindrada poseen un bajo flujo volumétrico de gases de escape, lo que provoca bajas eficiencias del compresor, y por ende una disminución de la eficiencia térmica.
- Cuidar que no ingrese impurezas a los impulsores y cuerpo de cojinetes del turbocompresor.
- Considerar el uso de un sistema intercooler para aumentar la densidad del aire al ingreso del cilindro.
- Al momento de “apagar” el motor, la circulación del lubricante es suspendida, sin embargo, el eje del turbocompresor aún sigue girando (aproximadamente a los 100 000 rpm), y esto sin duda puede comprometer su integridad, es por ello que el motor no debe pararse inmediatamente después de haber efectuado recorridos a alta velocidad, recomendando así mantener el motor a ralentí durante 5 minutos.

BIBLIOGRAFÍA

- Heywood, John B. (1988). Internal Combustion Engine Fundamentals. MIT.
- Obert, Eduardo F. (1999). Motores de Combustión Interna / Análisis y Aplicaciones. Segunda edición. Campaña editorial continental; S.A de C.V México.
- Cengel, Yunus A., Boles Michael A. (2013). Termodinámica, Sexta edición.
- Arias, Paz M. (octubre, 2003). Motocicletas, S.I. cie inversiones editoriales dossat-2000., Edición 32, España.
- Morales, M. (15 de diciembre de 2006). Selección de un turbocompresor para un motor atmosférico de 1600 cm³, con aplicación y pruebas de campo en un vehículo para Ecotech servicio automotriz. Sangolquí: Espe.
- Universidad Politécnica de Valencia. (2002). Prácticas de Motores de Combustión / Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Bell, C. (01 de abril de 1997). Maximum Boost / Design, Testing and Installing Turbocharger Systems. Bentley.
- Marter, D.H. (07 de noviembre de 2003). Termodinámica y Motores Térmicos. UTEHA. España.
- Pankrátov, G. (1987). Problemas de Termotecnia. Editorial Mir, Moscu.
- Castro, M. (1998). Puesta a Punto de Motores. Biblioteca del Automóvil. CEAC, Barcelona.
- Potter, Merle C., Somerton Craig W. (27 de septiembre de 2004). Termodinámica para ingenieros. McGraw Hill.
- Muñoz, M.; Payri, F.; (1989). Motores de Combustión Interna Alternativo. Servicios de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Madrid. España.

-Prieto, I., Alonso, M., Luengo, J. (2007). Fundamentos de máquinas térmicas. Universidad de Oviedo.

-William, H., Crouse & Donald L., Anglin. (1992). Mecánica de la Motocicleta. Marcombo. Barcelona.

-Cascajosa, M. (2006). Ingeniería de vehículos - Sistemas y cálculos. Alfaomega, Segunda edición; México.