

ANÁLISIS DEL SOBRECALENTAMIENTO Y DEFORMACIÓN DE LA CULATA DE CILINDROS Y JUNTA DE CULATA DE UN MOTOR HINO 205

Haro Mediavilla Kleber Germanico
Haro Vaca Darwin Gabriel

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte
Av. 17 de Julio 5-21, Ibarra-Ecuador
kgharom@utn.edu.ec
dgharov@utn.edu.ec

RESUMEN

El presente trabajo de grado se basa en el análisis del sobrecalentamiento y deformación de la culata de cilindros en motores diésel de un HINO 205, fundamentado en ensayos de acuerdo con las normas (ASTM) con las que rigen actualmente dichas pruebas. Este proyecto tiene como objetivo final conocer las posibles causas y averías que presentan mencionados motores. El proceso de la investigación planteada contiene cinco capítulos, donde: en el primer capítulo, se realiza una investigación general acerca del comportamiento térmico que presentan dichos motores en condiciones de funcionamiento normales, además se resaltan los métodos y técnicas empleadas en el desarrollo del presente proyecto con el fin de obtener los resultados deseados. En el segundo capítulo, se establece una reseña histórica de la creación y la evolución de los motores de ciclo diésel así como también de su funcionamiento y sus partes con las que se encuentran constituidos. Se hace una investigación de los materiales empleados en la fabricación de las piezas de un motor diésel y los distintos ensayos a los que están sometidos dichos materiales. De igual forma en el tercer capítulo se hace una descripción del despiece y montaje del motor Hino 205, sus desgastes más comunes presentes en las partes móviles del mismo

y la realización de ensayos a muestras extraídas de la culata de cilindros de dicho motor, tales como: Ensayo de composición química, ensayo de dureza, ensayo de tracción y ensayo metalográfico, los mismos que fueron ejecutados en los laboratorios de la entidad ILPM Engineering Cía. Ltda, con la finalidad de conocer las propiedades mecánicas con las que cuenta este material. En el cuarto capítulo se realizó el análisis comparativo de resultados de los distintos ensayos propuestos anteriormente y por último, en el quinto capítulo se encuentran las conclusiones y recomendaciones que se planteó una vez que se culminó el presente trabajo de grado.

Palabras clave: sobrecalentamiento, deformación, ensayos, comportamiento térmico, averías.

ABSTRACT

The present degree work is about the overheated and deformation of the cylinder head in diesel engines; model Hino 205. It is base in assays according with the standards (ASTM) the ones that actually control those tests. This project has the final purpose to know the possible causes and breakdown that the mentioned engines present. The process of the investigation established contains five chapters,

where: in the first chapter, there is a general investigation about the thermal behavior that those engines present, while they operated in a normal way; also the methods and techniques expended highlighted in the development of the present project with the purpose to obtain the desire results. In the second chapter, is established a historic profile of the creation and evolution of the cycle Diesel engines, also about their functions and their pieces which one have been set up. There is an investigation of the materials expended in the manufacture of pieces for the Diesel engine and the different assays that those materials have been subjected. In the same way in third chapter is a description about the disassemble and assemble of the engine model Hino 205, the most common wear away present in the mobile parts of it and the fulfillment of the assay to the samples remove of the cylinder head of that engine, such as: chemistry composition assay, hardness assay, traction assay and metallographic assay; the same ones that were implemented in the Engineering Cia Laboratories with the purpose to know the mechanic properties that this material contains. In the fourth chapter, is a comparison analysis of the results of the different assays that were mentioned before and finally, in the fifth chapter there are the conclusions and recommendations that were set out after the degree dissertation was done.

Keywords: overheated, deformation, tests, thermal behavior, breakdown .

I. PROPUESTA

1.1 Desarrollo de la propuesta.

Esta etapa se basa en la realización de investigaciones acerca del funcionamiento y comportamiento térmico del motor Hino 205 ciclo Diésel, recopilando de esta manera información acerca de parámetros que faciliten el análisis del sobrecalentamiento en dicho motor. Una vez

obtenido los parámetros mencionados anteriormente se realizará el despiece total del mismo, luego se procederá a la observación de las piezas afectadas por el exceso de temperatura, tratando de encontrar posibles deformaciones y desgastes existentes en la culata de cilindros y junta de culata, mismas piezas que son motivo de análisis.

Por otra parte, se realizará ensayos a muestras extraídas de la culata de cilindros, como son: composición química, dureza, tracción y metalográficos. Los mismos que permitan conocer su composición, estructura, dureza y resistencia del material, para posteriormente realizar un análisis comparativo de los resultados de dichos ensayos con respecto a las normas establecidas para la fabricación de dichos materiales, logrando de esta manera encontrar posibles causas que ocasionan el sobrecalentamiento en dicho motor.

1.2 Despiece de las partes fijas y móviles del motor.

Al comenzar el trabajo práctico, se procedió al despiece total de las partes fijas y móviles del motor, utilizando las debidas herramientas y las respectivas normas de seguridad para evitar inconvenientes y accidentes laborales. Para realizar el despiece es necesario tener en cuenta los pasos a seguir según la descripción del manual o fabricante.

1.3 Análisis de desgastes de los elementos móviles y fijos del motor.

Desgaste en la culata de cilindros: La culata se encuentra sometida a grandes temperaturas y esfuerzos de compresión ocasionando diversas averías en la culata de cilindros, entre las más comunes son: Fisuras como deformaciones de la cara liza inferior de la misma.

Rajaduras: Al momento de un sobrecalentamiento en la culata de cilindros se presenta fisuras alrededor del

anillo o asiento de válvula, fisuras en la camisa del inyector, fisuras entre la separación de anillos de válvulas, fisuras de las vías del sistema de refrigeración situadas en el alojamiento de los colectores, admisión y escape.

Deformaciones: Se presentan en la cara inferior de la culata ocasionando el desgaste de la junta de cilindros, se puede tener deformación de las válvulas con su respectivo asiento, deformación de la guía de válvulas.

La figura 1 indica las averías que puede sufrir el cabezote al momento de un sobrecalentamiento ya que es la parte donde más temperatura alcanza el motor y por lo cual sus componentes tienden a sufrir deformaciones.



Figura1. Culata de cilindros de un motor Hino 205

En el caso del estudio realizado a los motores Hino diésel de 6 cilindros se puede argumentar que por lo general este tipo de motores tienden a sufrir fisuras en las partes internas como muestra la figura 2, como puede ser en los anillos de la culata o en las camisas de los inyectores, en el motor Hino 205 se notó que sufría un desgaste entre las camisas de cilindros quinta y sexta formando una ceja en la cara de la culata dando lugar al sobrecalentamiento del motor y a la pérdida periódica del líquido refrigerante.

Esta ceja permite que la junta de cilindros se deforme permitiendo de esta manera el paso del líquido refrigerante hacia la cámara de combustión y a su vez la compresión que genera el cilindro al sistema de refrigeración teniendo de esta manera la expulsión del líquido refrigerante por el radiador; por otro lado, es posible rectificar esta avería realizándole una cepilladura en la cara de la culata, pero al realizar este proceso se produce una disminución del volumen en la cámara de combustión de motor, aumenta su compresión y por ende su temperatura.

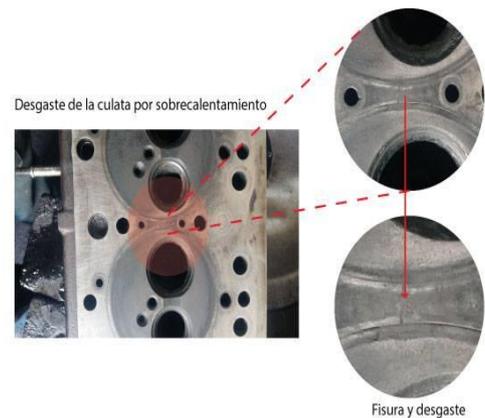


Figura2. Desgaste entre los anillos de la culata de un motor Hino 205

Desgaste en la junta de culata: La junta de cilindros dependiendo de la marca del vehículo está constituida de diferentes materiales, en caso del análisis del HINO se encuentra constituida de amianto con láminas de acero; al sobrepasar el límite de temperatura el material tiende a cristalizarse y romperse permitiendo de esta manera que las láminas de acero sufran una deformidad, de esta manera ocasiona la sopladura del cabezote y los daños a este.

También este tipo de juntas consta de sellos de carbón que se encuentran ubicados en los conductos del líquido refrigerante, al sobrepasar la temperatura en el motor dichos sellos pierden sus propiedades y permiten que el líquido refrigerante ingrese a la cámara de combustión.

1.4 Análisis de la culata de cilindros de un motor Hino 205.

Obtención de muestras para el ensayo de tracción: Para la obtención de las probetas se debe tomar en cuenta la norma ASTM E-8, la cual indican las dimensiones con las que deben contar las muestras a ensayar. Dichas piezas que son motivo de ensayo deben ser normadas, es decir, debe contar con todas las especificaciones internacionales de acuerdo con el modelo o diseño de la pieza que será sometida a una tensión. Una de las normas más importantes que presiden este ensayo es la mencionada anteriormente, donde se utilizan piezas cilíndricas con una longitud de trabajo de 2 in, por otro lado, también pueden ensayarse piezas rectangulares o láminas de diferentes materiales con calibres muy delgados como el papel. En la tabla 1 se muestra las dimensiones de una probeta para ensayos de tracción de acuerdo a la norma ASTM E-8.

Tabla 1. Dimensiones estandarizadas conforme a la norma ASTM E-8

DIMENSIONES	NORMAL	MÁS PEQUEÑAS PROPORCIONALES A LA NORMA
G = Longitud Calibrada	50 ± 0,10 mm	35 ± 0,10 mm; 25 ± 0,10 mm; 16 ± 0,10 mm; 10 ± 0,10 mm
D = Diámetro Sección Calibrada	13 ± 0,25 mm	8,8 ± 0,18 mm; 60 ± 0,10 mm; 4,0 ± 0,8 mm; 2,5 ± 0,05 mm
R = Radio zona de Transición	10 mm	6 mm; 5 mm; 4 mm; 2 mm
A = Longitud de la Sección Reducida	60 mm	45 mm; 32 mm; 19 mm; 16 mm
L = Longitud total Aproximada	125 mm	APROX. DEBE PENETRAR 2/3 O MÁS EN LA MORDAZA
P = Longitud zona de Sujeción	35 mm	
C = Diámetro zona de Sujeción	20 mm	

1.5 Resultados de los ensayos.

Registro del ensayo de tracción: Una vez realizado el ensayo de tracción los datos y gráficos obtenidos variaron de acuerdo con las dos probetas sometidas a prueba, las cuales son impresas sobre un papel de registro. La probeta T1 presentó una carga inicial de

1KN la cual fue variando gradualmente hasta llegar a una carga de rotura de 14,46 KN y un límite alcanzado de rotura de 172 MPa respectivamente.

La probeta T2 presentó una carga inicial de 1KN la cual fue variando gradualmente hasta llegar a una carga de rotura de 13,08 KN y un límite alcanzado de rotura de 166 MPa respectivamente.

Registro del ensayo de composición química mediante espectrometría de emisión óptica por chispa: Al realizar el ensayo correspondiente de la composición química del material, se determinó que está constituido por 19 elementos químicos, los mismos que se encuentran distribuidos con diferentes porcentajes que varían desde el 0,1% hasta el 93%, de acuerdo con el grado de importancia, obteniendo así un hierro fundido gris.

Los porcentajes que indica la muestra permite observar la importancia que tienen cada uno de los elementos (C, Si, Mn, P, S, Cr, Mo, Ni, Cu, Al, Co, Mg, Nb, Ti, V, W, Fe, Sn, B) en la constitución de dicha fundición, cabe recalcar que al modificar un porcentaje ya sea el incremento o disminución de cualquier elemento se vería afectada de forma directa su estructura metalográfica dando como resultado otro tipo de hierro fundido. Los elementos presentes en la culata de cilindros de un motor Hino 205 con mayor porcentaje e importancia de un hierro fundido gris son: Fe=93,03%; C=4,158%; Si=2,017%, los mismo que permiten determinar el comportamiento del mismo al ser sometida a altas temperaturas y compresiones en su desempeño.

Registro de ensayo de dureza: Realizado el ensayo de dureza se obtuvo diferentes medidas las cuales variaron de acuerdo con las probetas sometidas a prueba, en donde se realizó cálculos para determinar tanto la dureza promedio como la desviación estándar de dichas probetas.

Tabla2. Medidas obtenidas del ensayo de dureza

Probeta 1= 92,00 HRB
Probeta 2= 89,50 HRB
Probeta 3= 90,50 HRB
Probeta 4= 91,00 HRB
Probeta 5= 90,00 HRB
Dureza promedio = 90,60 HRB
Desviación estándar = 0,96 HRB

Esta notación indica una dureza Rockwell de 90,60 unidades en la escala B (bola de acero \varnothing 1/ 16", carga total de 100kg). Es importante recalcar que el valor obtenido de 90,60 HRB es un valor normal para este tipo de material.

La desviación estándar del ensayo Rockwell B es de 0,96 HRB, lo que muestra la separación de medidas de dureza que se obtuvieron mediante pruebas realizadas.

Registro de resultados del ensayo metalográfico:

Una vez realizado el ensayo metalográfico se obtuvo tres tipos de gráficos respectivamente, debido a los aumentos (zoom) realizados por medio del microscopio, los cuales permitieron visualizar de forma clara y precisa la forma, tamaño y tipo de dicha fundición a la que pertenecía las muestras sometidas a dicho ensayo.

Como se muestra en la figura 3, el primer aumento que se efectuó es de 100X (zoom), el mismo que permitió reconocer el tipo de material y su forma al cual pertenece, logrando de esta manera identificar a este como un hierro fundido gris con grafito de forma VII.

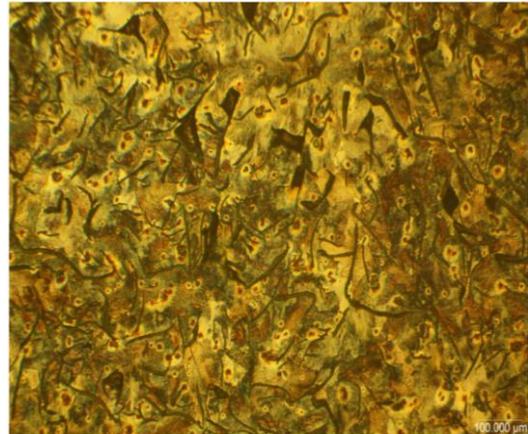


Figura 0. Visualización metalográfica del material a 100X

Como se muestra en la figura 3.30 el segundo aumento que se efectuó es de 500X (zoom), el mismo que permitió reconocer el tamaño al cual pertenece, logrando de esta manera identificar a este con un tamaño de hojuela correspondiente a un número 2.

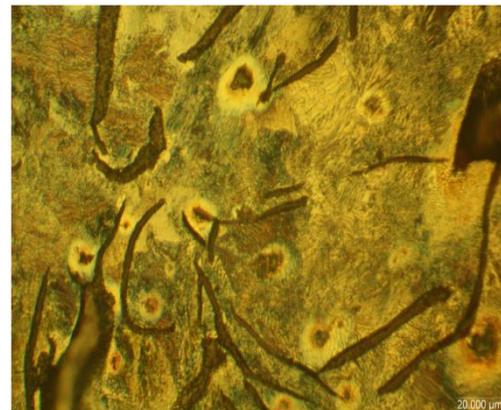


Figura 0.30. Visualización metalográfica del material a 500X

Como se muestra en la figura 3.31 el tercer aumento que se efectuó es de 100X. Sin ataque (zoom), el mismo que permitió reconocer el tipo al cual pertenece, logrando de esta manera identificar a este con un tipo de hojuela correspondiente al espécimen C.

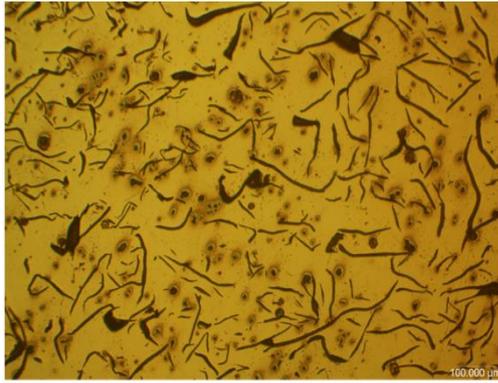


Figura 0.31. Visualización metalográfica del material a 100X. Sin ataque

II. RESULTADOS.

2.1 Resultados del ensayo de tracción.

Considerando la tabla 2.1, tanto de los resultados obtenidos del ensayo de tracción como los datos establecidos en la normativa ASTM A-48, fue posible realizar un análisis comparativo en cuanto a la resistencia a la tracción soportada por el material, logrando afirmar que las muestras ensayadas (T1, T2), presentaron índices de resistencia a la tracción de 172 MPa y 166 MPa respectivamente, los mismos valores que sobrepasan el nivel de resistencia a la tracción presente en la norma mencionada anteriormente la cual es de 138 MPa.

Tabla 2.1. Comparación de valores del material

ASTM A - 48		Ensayo de Tracción	
Clase	Resistencia a la Tracción (MPa)	Probeta #	Límite de Rotura (MPa)
20	138	T1	172
Estructura: F, P		T2	166

De esta manera se pudo testificar que el material empleado para la construcción de la culata de cilindros de un motor Hino 205 es adecuado para resistir altas temperaturas y elevadas presiones en condiciones de funcionamiento a las cuales se encuentra sometida dicha culata.

2.2 Resultado del ensayo de composición química.

Dentro de la normativa ASTM E415-17 y el ensayo realizado a las muestras extraídas de una culata de cilindros, fue posible realizar un análisis comparativo de los porcentajes presentes en un hierro fundido gris de una culata vs un hierro fundido estándar presentado por la normativa, de igual manera se puede afirmar que el resto de los elementos contenidos en una fundición destacan valores que se encuentran por encima del 0% los cuales no alteran en gran magnitud su estructura molecular en la fundición, como se puede apreciar en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Comparación de valores del material.

ASTM E 415-17			Ensayo de composición química	
Elemento	Rango aplicable	Rango cuantitativo	Elemento	Porcentaje
Aluminio	0 a 0,093 %	0,006 a 0,093 %	P	0,026
Antimonio	0 a 0,027 %	0,006 a 0,027 %	Si	2,017
Arsénico	0 a 0,1 %	0,003 a 0,1 %	Mn	0,558
Boro	0 a 0,007 %	0,0004 a 0,007 %	C	4,158
Calcio	0 a 0,003 %	0,002 a 0,003 %	S	0,077
Carbón	0 a 1,1 %	0,02 a 1,1 %	Cr	0,046
Cromo	0 a 08,2 %	0,007 a 8,14 %	Mo	0,015
Cobalto	0 a 0,20 %	0,006 a 0,20 %	Ni	0,013
Cobre	0 a 0,5 %	0,006 a 0,5 %	Cu	0,054
Manganeso	0 a 2,0 %	0,03 a 2,0 %	Al	< 0,005
Molibdeno	0, 1,3 %	0,007 a 1,3 %	Co	< 0,005
Níquel	0 a 5,0 %	0,006 a 5,0 %	Mg	< 0,005
Niobio	0 a 0,12 %	0,003 a 0,12 %	Nb	< 0,005
Nitrógeno	0 a 0,015 %	0,01 a 0,055 %	Ti	0,0051
Fosforo	0 a 0,085 %	0,006 a 0,085 %	V	< 0,005
Silicio	0 a 1,54 %	0,02 a 1,54 %	W	< 0,1
Azufre	0 a 0,055 %	0,001 a 0,055 %	Fe	93,03
Estaño	0 a 0,061 %	0,005 a 0,061 %	Sn	0
Titanio	0 a 0,2 %	0,001 a 0,2 %	B	0

2.3 Resultado del ensayo de dureza.

De esta manera se pudo aseverar que el rango de dureza obtenido del ensayo realizado es de 90,60 HBR en la escala Rockwell B, el mismo que excede los niveles de dureza presentados por dicha norma, el mismo que se encuentra entre un intervalo de 90-91 HBR en la escala Rockwell B; mientras que en la escala Brinell HB se encuentra en un intervalo que varía entre 185-190 HB, como se aprecia en la siguiente tabla 2.4.

Tabla 2.4. Intervalos de dureza norma ASTM A-48

ASTM A-48 Clase	Dureza Brinell HB	Dureza Rockwell B	Estructura
Clase 20	190	91	F, P
	185	90	
	180	89	
	176	88	
	172	87	
	169	86	
	165	85	
	162	84	
	159	83	
	156	82	
	153	81	
	150	80	
	147	79	
	144	78	
	141	77	
	139	76	
	137	75	
135	74		
132	73		
130	72		

2.4 Resultados del ensayo metalográfico.

De acuerdo con el ensayo realizado y las imágenes obtenidas del mismo se puede decir que este tipo de fundición está formada por una matriz ferrítica-perlítica, donde se puede apreciar la ferrita, la perlita y los nódulos de grafito, logrando de esta manera visualizar la forma VII, tamaño de hojuela de 2 a 4 pulgadas y tipo C de dicha fundición, tomando como referencia la normativa ASTM A-247, la misma que

se utilizó para realizar la debida comparación de ambos resultados.

IV. CONCLUSIONES

- a. Según la normativa ASTM E415-17, se realizó el ensayo de composición química del material a muestras tomadas de una culata Hino 205, mediante lo cual se logró verificar que está compuesto por 19 elementos químicos entre los más notables el carbono C=4,158 y silicio Si=2,017, en proporciones considerables.
- b. Mediante los estudios ejecutados se determinó que el sobre calentamiento que se genera en la culata de cilindros es debido a la concentración de un 4.15% de carbono lo cual determina la dureza del material, y no tener un rango de elasticidad con la finalidad de evitar grietas en el elemento mecánico a su vez volverlo frágil teniendo como consecuencia la falta de disipación de calor en la culata de cilindros.
- c. Para el ensayo de tracción se empleó dos probetas T1 y T2, las mismas que fueron sometidas a una fuerza de tensión donde se obtuvieron datos tanto de su carga de rotura T1 = 14,46 KN y T2 = 13,08 KN, como también su límite de rotura siendo sus valores los siguientes: T1 = 172 MP y T2 = 166 MP respectivamente.
- d. Para el ensayo de dureza se optó en utilizar la escala de dureza Rockwell B, ya que es la escala adecuada para este tipo de hierro fundido. Al aplicar dicha escala de dureza se obtuvo una medida promedio de 90.60 HRB, y una desviación estándar de 0,96 HRB de acuerdo con las 5 muestras ensayadas.

- e. Mediante el análisis de distintas vistas previas generadas por el microscopio se capturaron imágenes con un alto y bajo aumento (100X sin ataque; 100X, 500X zoom), las mismas que fueron ejecutadas en el laboratorio. De esta manera se obtuvo imágenes que corresponden a una fundición de hierro gris con grafito de forma VII, tipo C y de tamaño 2, las mismas que fueron tabuladas y comparadas mediante imágenes obtenidas tanto de la normativa ASTM A 247 como de los ensayos metalográficos realizados.

REFERENCIAS.

- Amador Patiño, F. (2016). *Aplicación de los cojinetes de fricción a los M.C.I.* Obtenido de Escuela técnica superior de náutica y maquinas:
http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/16642/AmadorPatino_Frank_TFG_2016.pdf.pdf?sequence=2
- Andres. (2006). MOTORES DIESEL . En Andres.
- ASTM, A.-4. (01 de Noviembre de 2016). Obtenido de https://www.techstreet.com/standards/astm-a48-a48m-03-2016?product_id=1934960&gclid=EAIaI QobChMImf3atvGM1wIVDlqGCh1opgS-EAAYASAAEgIJG_D_BwE#full
- ASTM, E.-1. (15 de Mayo de 2017). Obtenido de https://www.techstreet.com/standards/astm-e415-17?product_id=1984170&gclid=EAIaIQobChMIrovDweyM1wIVUVuGCh3o-QPYEAAYASAAEgK_0fD_BwE
- Atacúsí, B. (2013). *Estudio del tratamiento térmico de normalizado en el hierro fundido gris y su incidencia en la dureza y la resistencia.* Obtenido de repositorio digital:
[ttp://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/4337](http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/4337)
- Budynas, R. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica.* México.
- Cruz, E. (Noviembre de 2014). *Dilatación lineal y coeficiente de dilatación lineal.* Obtenido de http://tics-tlapa.com/wp/wp-content/uploads/2014/11/TERMODINAMICA_DILATACI%C3%93N-LINEAL-Y-COEFICIENTE-DE-DILATACI%C3%93N-LINEAL.pdf
- Díaz, F. (2007). *Lecturas de ingeniería 3 Hierros Fundido.* Obtenido de http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/hi erro%20fundido.pdf
- Dominguez, M. (2016). *Maquinas y Motores Térmicos.* Mexico.
- Escudero, S. (2011). *Motores Diésel.* Madrid.
- Ferrer, G. (2004). *Camiones y vehículos pesados, reparación y mantenimiento.* Madrid España.
- Gere, J. (2009). *Mecánica de materiales.* México.
- Gieck, K. (2003). *Manual de fórmulas técnicas.* Mexico.
- Gil, J. (2002). *Manula de Mecánica Industrial.* Madrid-España: Cultural, S.A.
- González, C. (2015). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor ciclo diésel.* Madrid.

16. Grupo Mavesa. (2017). *Historia de Hino*.
Obtenido de
<http://grupomavesa.com.ec/hino/contenido/historia>
17. Hino Motors. (2017). *Hino Global*. Obtenido de
http://www.hino-global.com/about_us/organization/milestones.html
18. Jaime. (2016). *motores diesel*.
19. Juvinal, R. (2013). *Diseño de elementos de máquinas*.
20. Konrad, R. (2014). *Diésel engine Management*.
Germany.

BIOGRAFIA.

Haro Mediavilla Kleber Germanico, estudios secundarios Instituto Tecnológico Otavalo, obtuvo el título de Ingeniero en Mantenimiento Automotriz en la Universidad Técnica del Norte.

Haro Vaca Darwin Gabriel, estudios secundarios Instituto Tecnológico Otavalo, obtuvo el título de Ingeniero en Mantenimiento Automotriz en la Universidad Técnica del Norte