



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE ENERGÍA Y MECÁNICA

TEMA: “Diseño y manufactura de probetas de ensayo mecánico a partir de la fundición de pistones reciclados, para la producción de un material idóneo que permita la fabricación de pistones”.

AUTORES:

- **ESPINOZA MORALES, STALIN WLADIMIR**
- **TOAQUIZA LÓPEZ, ALEX FABRICIO**

DIRECTOR:

- **ING. CRUZ ARCOS, GUILLERMO MAURICIO**



Frase celebre

“El fracaso
es una gran
oportunidad
para empezar
otra vez con
más inteligencia”
Henry Ford



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Tabla de contenido

1. Planteamiento del problema
2. Objetivos
 - 2.1 Objetivo General
 - 2.2 Objetivo Específico
3. Hipótesis
4. Marco Teórico
5. Diseño y manufactura de probetas para ensayos mecánicos
6. Ensayos y análisis de resultados
7. Conclusiones
8. Recomendaciones



Planteamiento del Problema

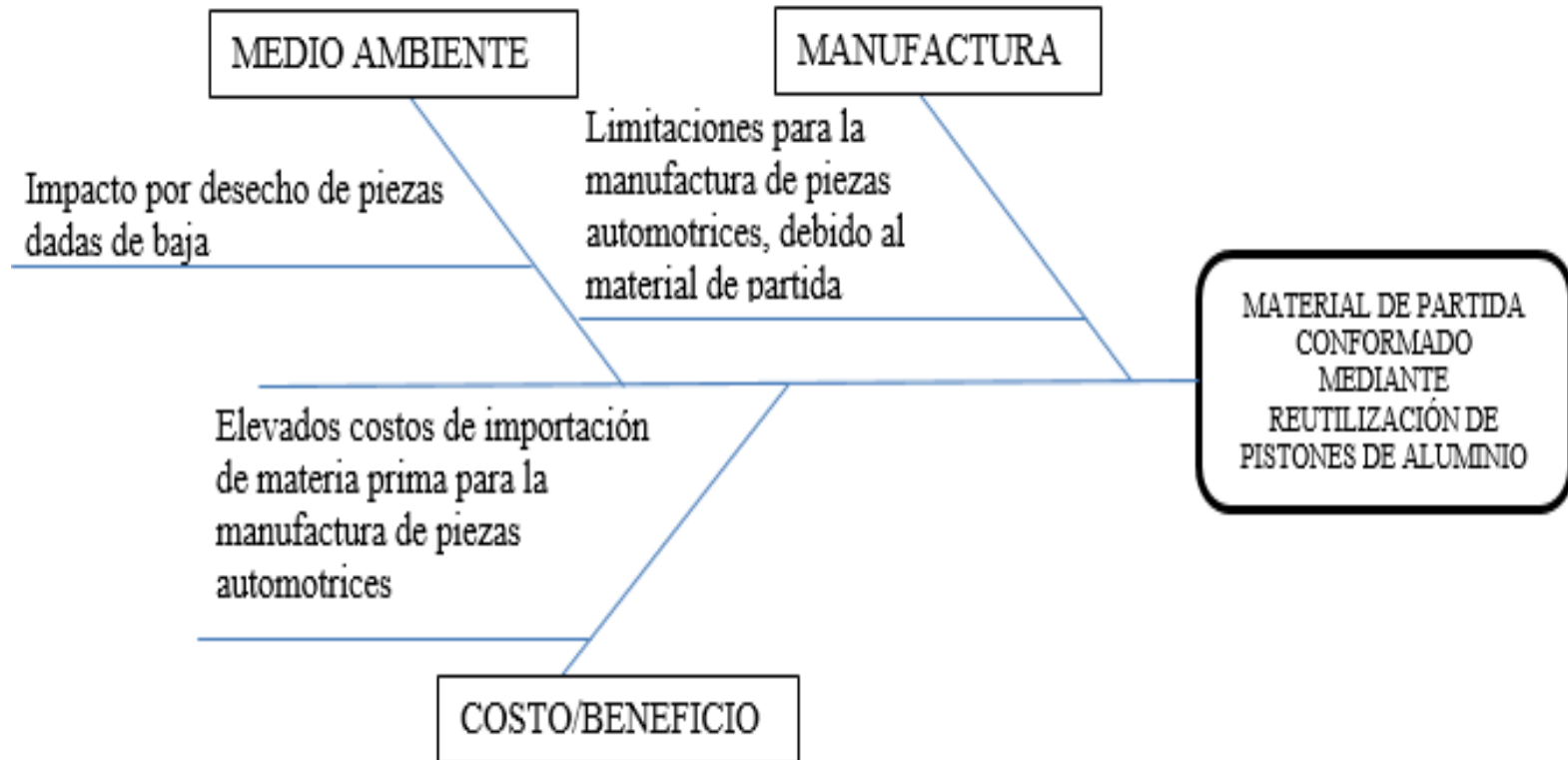


Fig. 1: Planteamiento del problema (diagrama espina de pescado)

Objetivos

Objetivo General



Obtener un material de partida, idóneo que permita la fabricación de pistones a partir de la fundición de piezas recicladas.



Objetivos Específicos



Recopilar información bibliográfica que sustente los procesos de fundición, la obtención de materiales a partir de fundición y pruebas de ensayos en materiales.



Utilizar pistones reciclados de aluminio para la formación de un nuevo material.



Diseñar y manufacturar probetas de ensayo mecánico.



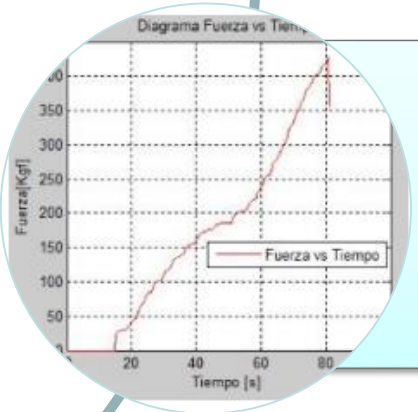
Realizar pruebas de fundición para la obtención de un material óptimo para la producción de pistones automotrices.



Objetivos Específicos



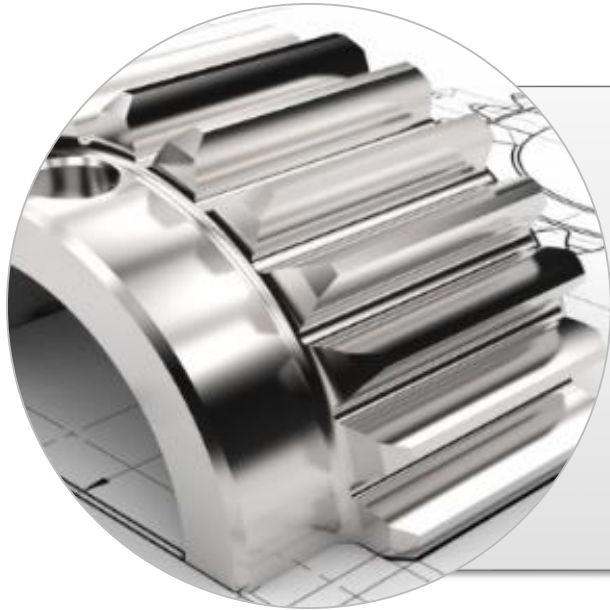
Realizar los ensayos y pruebas mecánicas a las probetas fabricadas y determinar las correctas propiedades que se necesitan para la fabricación de piezas automotrices.



Comprobar los resultados de las pruebas y determinar un material idóneo para la fabricación de pistones automotrices.



Hipótesis



¿El diseño y fabricación de piezas automotrices con material reutilizable es una alternativa para ayudar al medio ambiente y además de presentar la misma resistencia mecánica al trabajo?



Marco Teórico

Fundición



Fig. 2: Defectos de fundición

Moldes para fundición

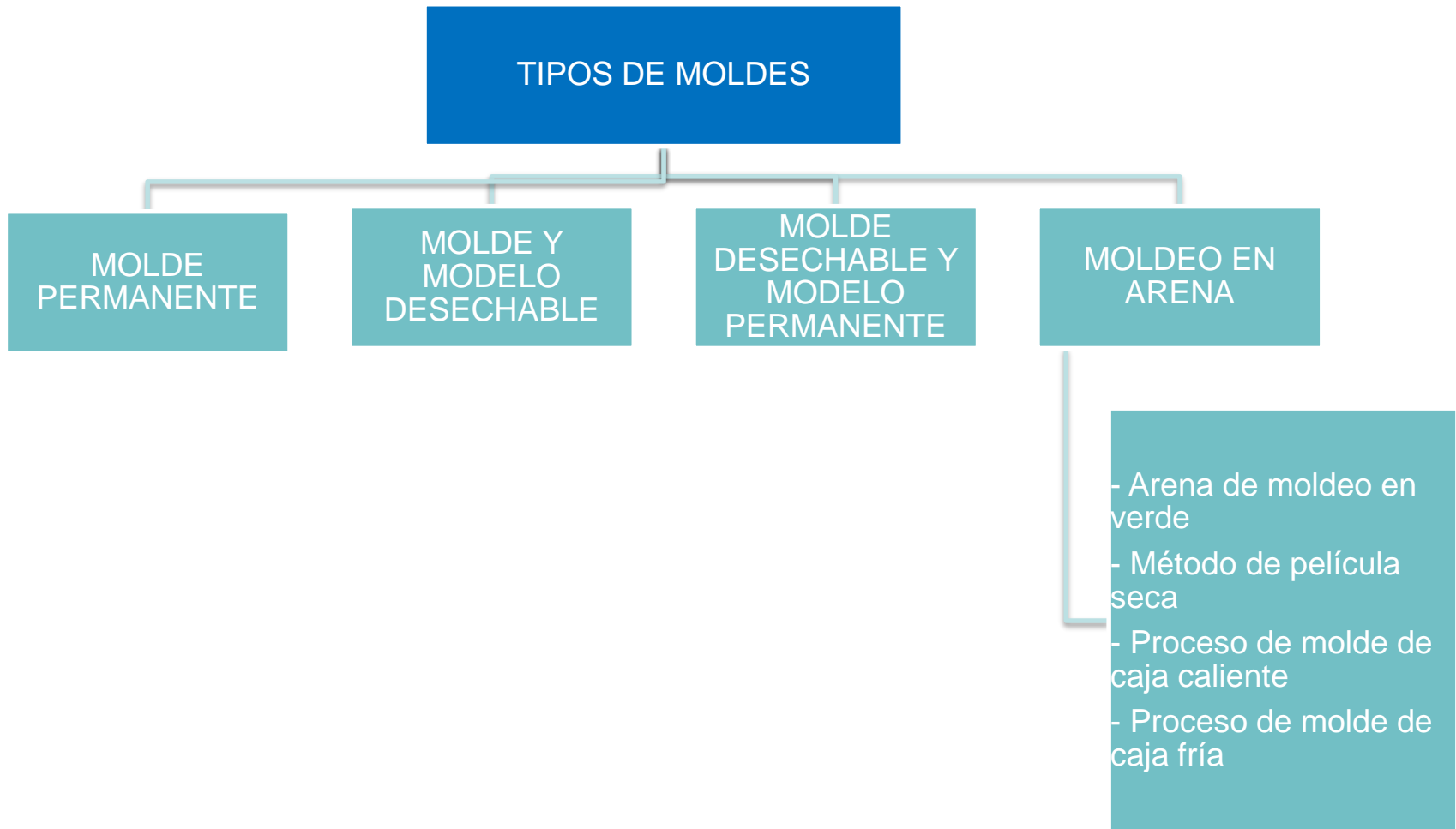


Fig. 3: Tipos de moldes

Aluminio como material fundente

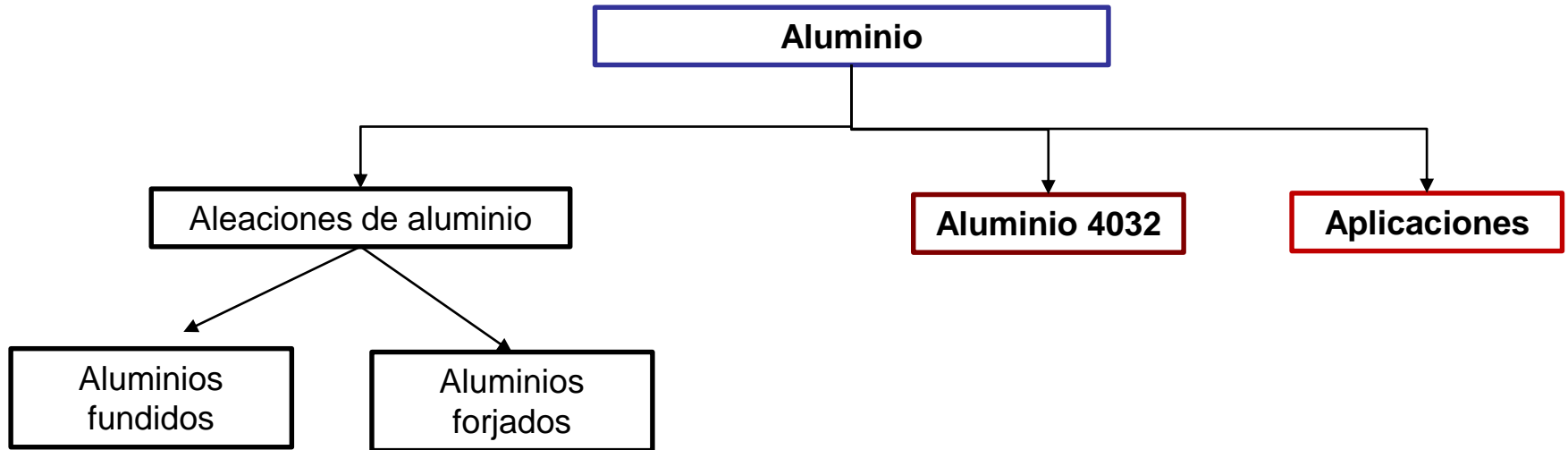


Fig. 4: Aluminio como material fundente



Fabricación de pistones

Fabricación



Materiales para la fabricación

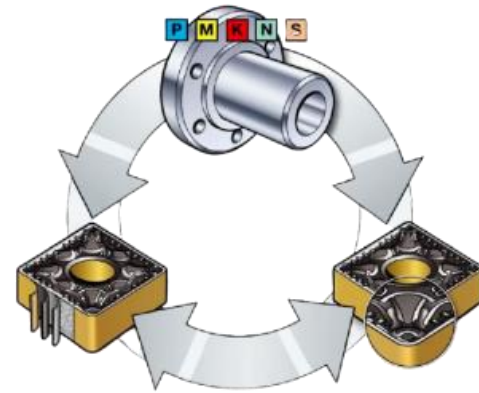


Fig. 5: Fabricación de pistones

Ensayos mecánicos

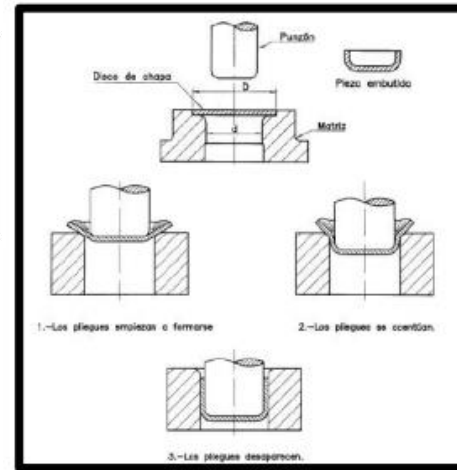
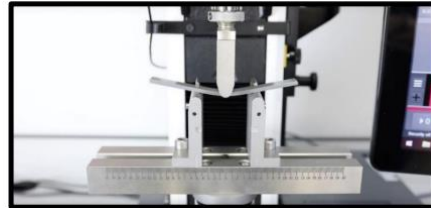
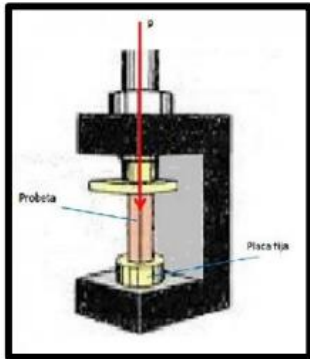


Fig. 6: Tipos de ensayos mecánicos

Ensayos mecánicos

TIPOS DE ENSAYOS MECÁNICOS

RESISTENCIA A LA FATIGA

METALGRÁFICO

DE TRACCIÓN

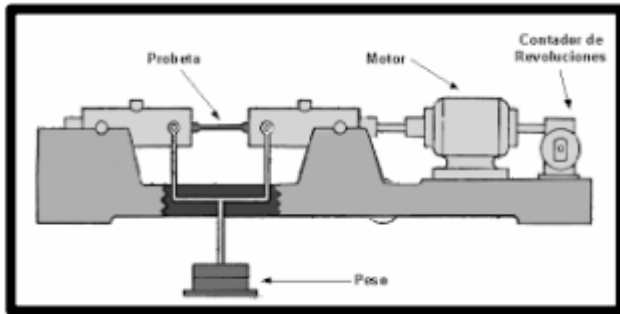


Fig. 7: Tipos de ensayos mecánicos

Diseño mecánico

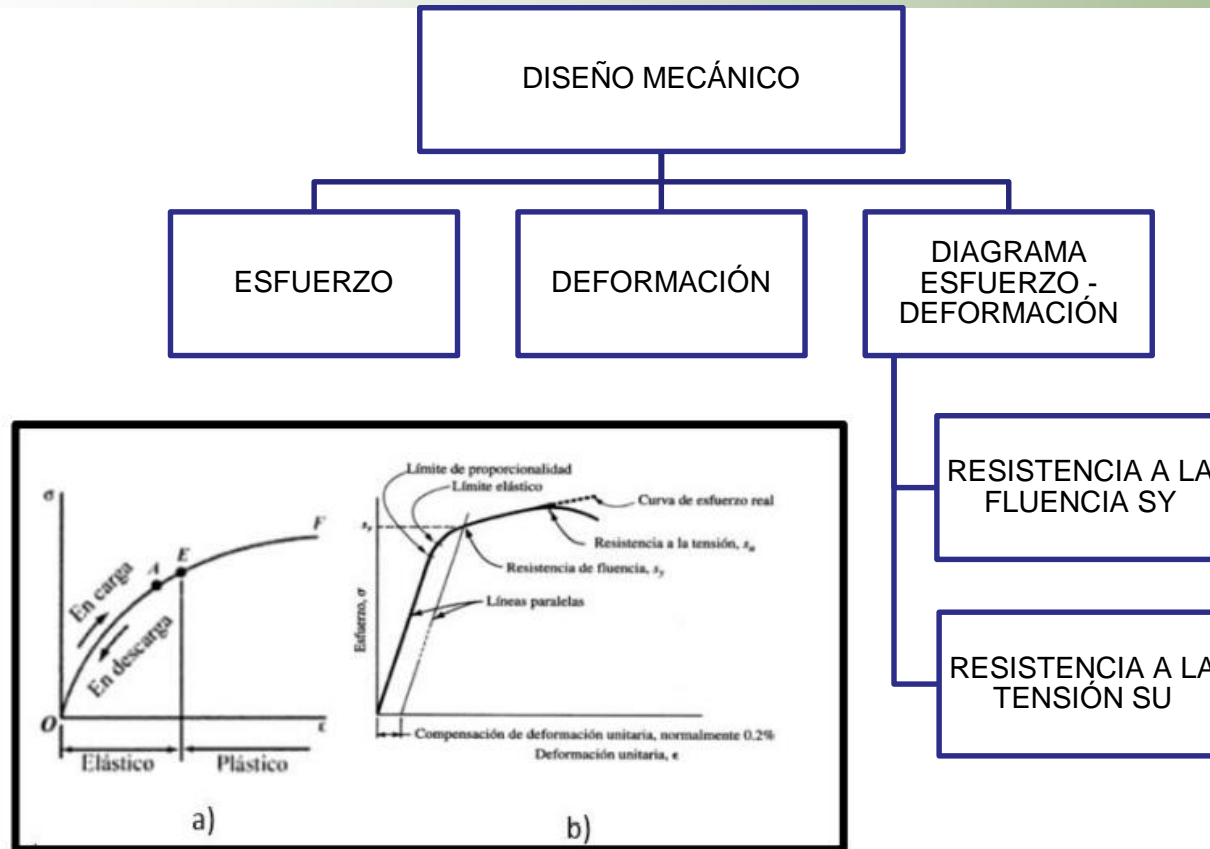


Fig. 8: Diseño mecánico

Normativa de ensayos mecánicos



Probetas de ensayo

Fig. 9: Normativa de ensayos mecánicos

Análisis químico

ESPECTOMETRÍA DE EMISIÓN ÓPTICA POR
CHISPA



Fig. 10: Análisis químico



DISEÑO Y MANUFACTURA DE **PROBETAS PARA ENSAYOS** **MECÁNICOS**



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO DE PROBETAS

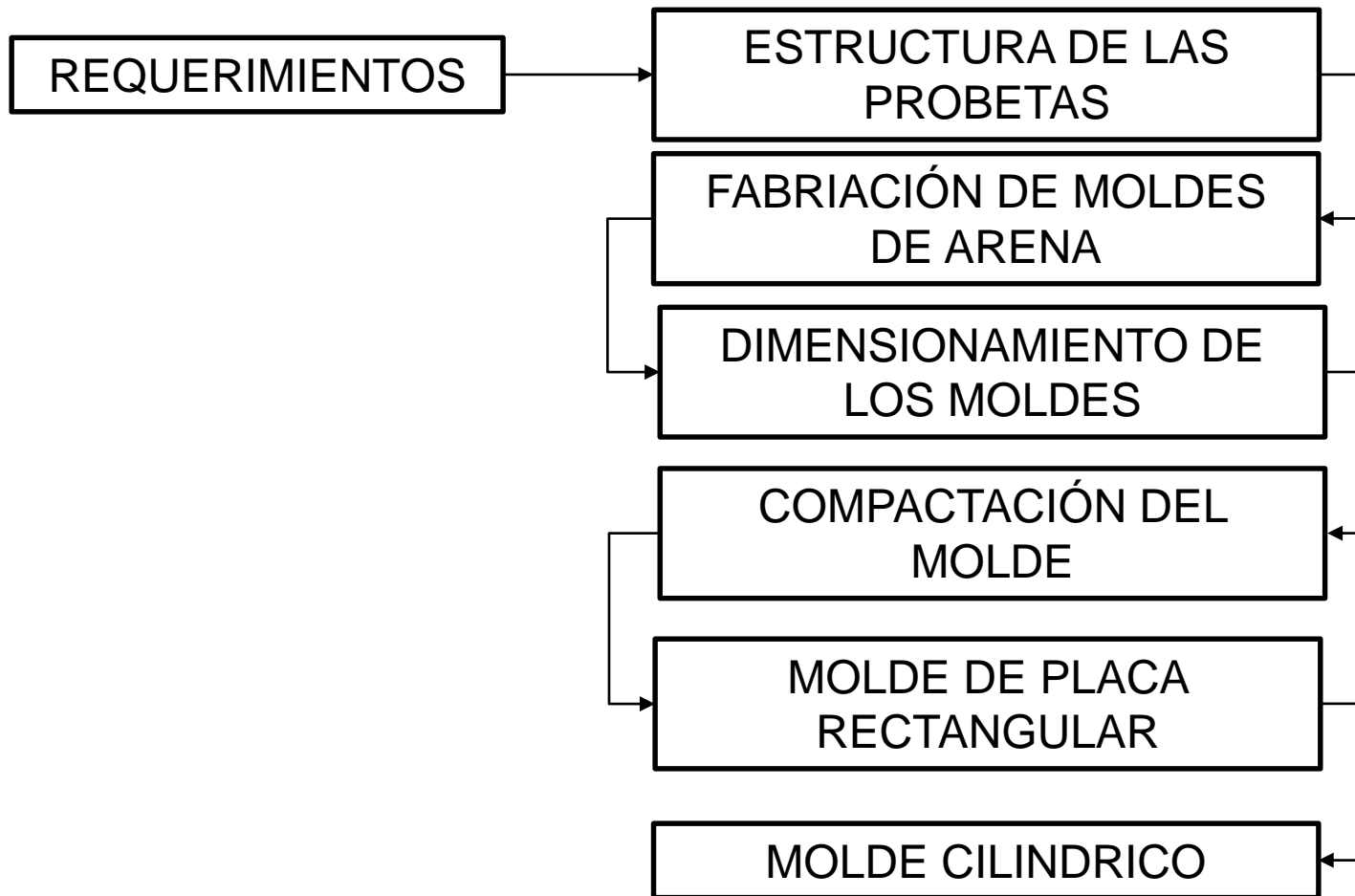


Fig. 11: Diseño de probetas

FUNDICIÓN DEL MATERIAL

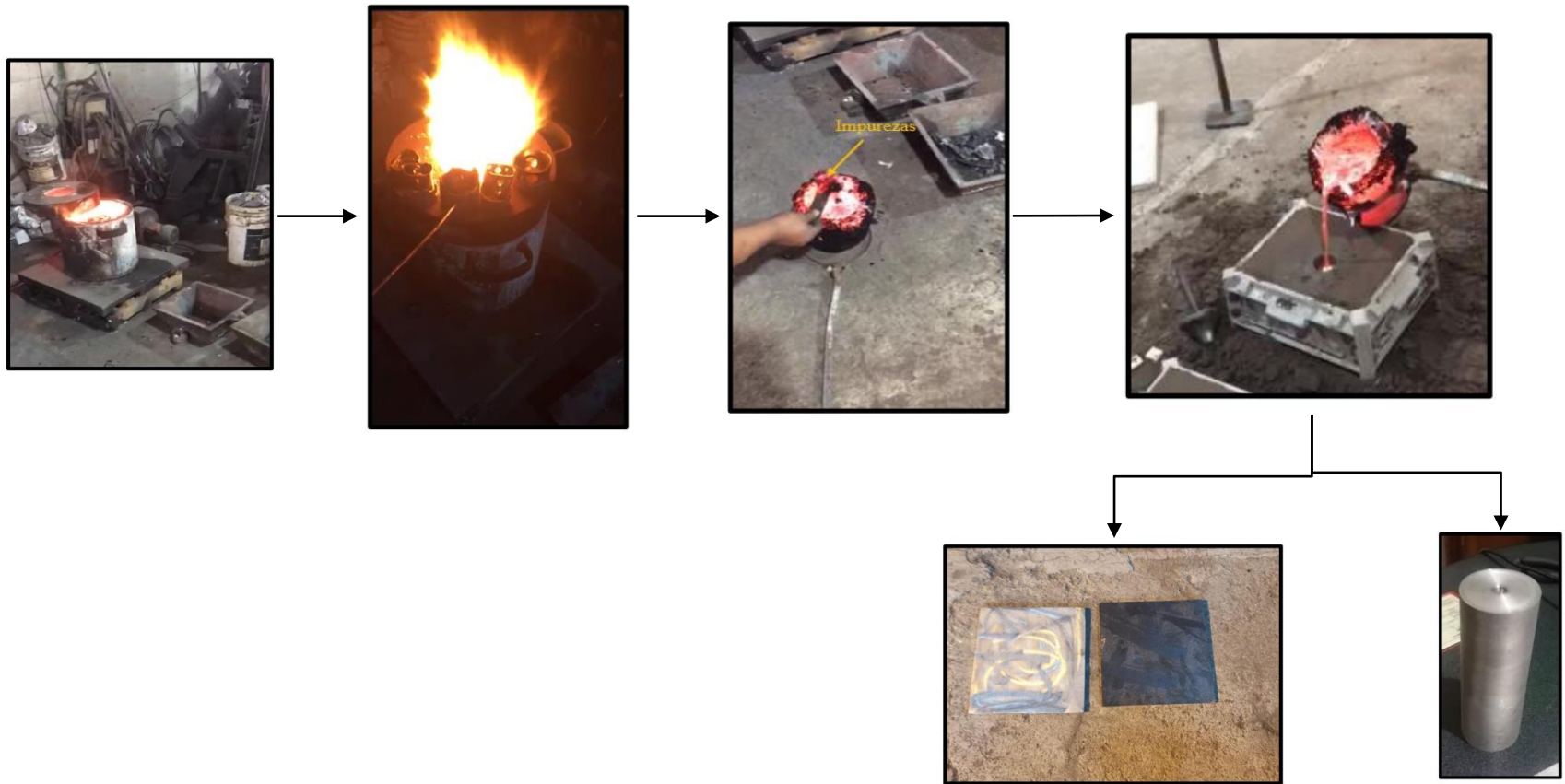
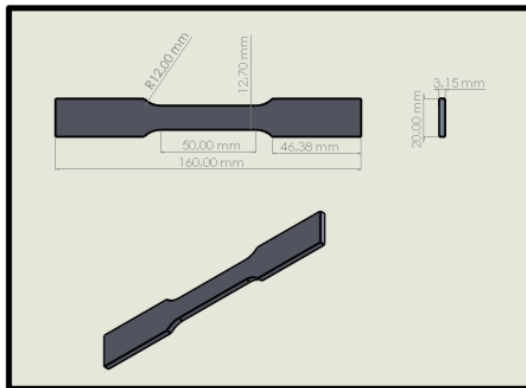


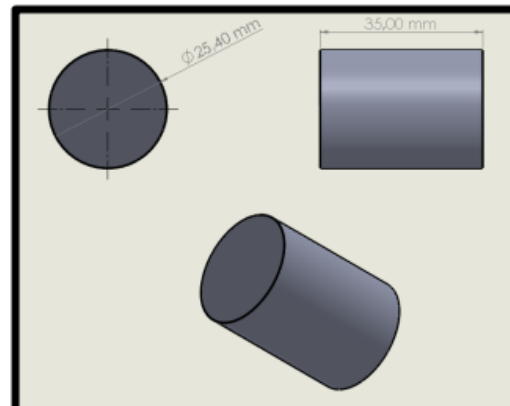
Fig. 11: Fundición del material

DIMENSIONAMIENTO DE LAS PROBETAS

PROBETAS PARA
ENSAYO DE
TRACCIÓN



PROBETAS PARA
ENSAYO DE
COMPRESIÓN



PROBETAS PARA
ENSAYO
METALOGRÁFICO

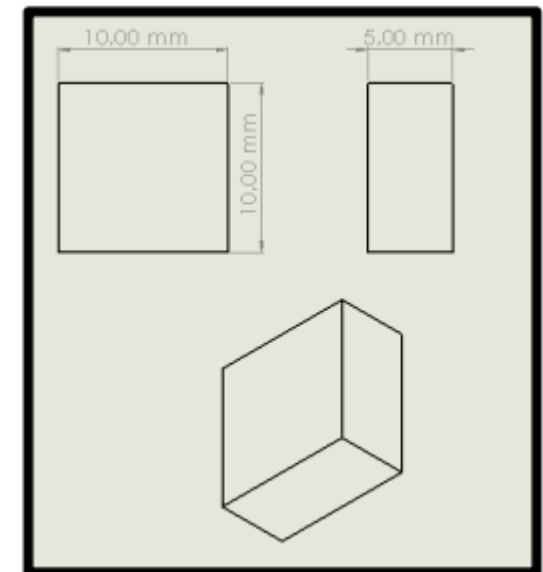


Fig. 12: Dimensionamiento de probetas



MECANIZADO DE PROBETAS

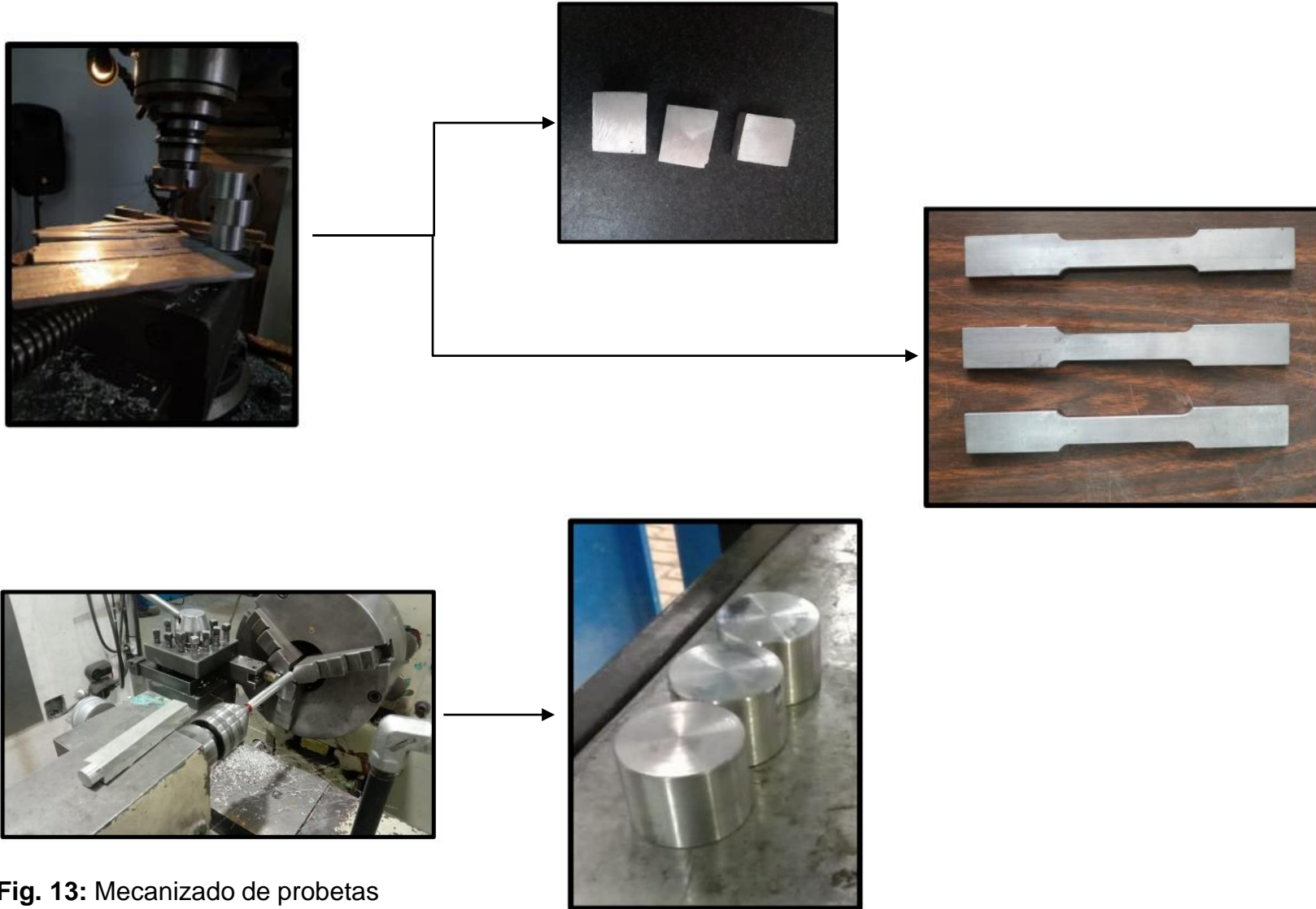


Fig. 13: Mecanizado de probetas

ENSAYO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS



ENSAYO DE TRACCIÓN



ENSAYO DE TRACCIÓN CON MATERIAL DE PISTONES RECICLADOS

Gráficas

Fuerza – Tiempo

Fuerza – Desplazamiento

Desplazamiento - tiempo

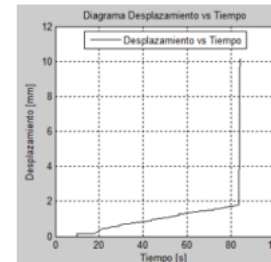
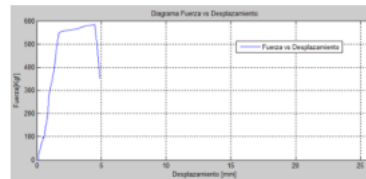
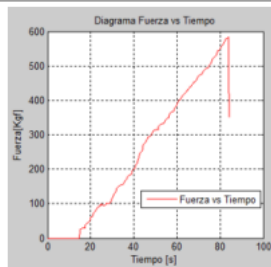


Figura 14: Ensayo 1 de tracción



ENSAYO DE TRACCIÓN

ENSAYO DE TRACCIÓN CON MATERIAL DE PISTONES RECICLADOS

ENSAYO NÚMERO 1

Fuerza máxima (Kg)	Fuerza de fluencia (Kg)	Desplazamiento máximo (mm)	Tiempo (s)
583,64	547,06	4.887	86

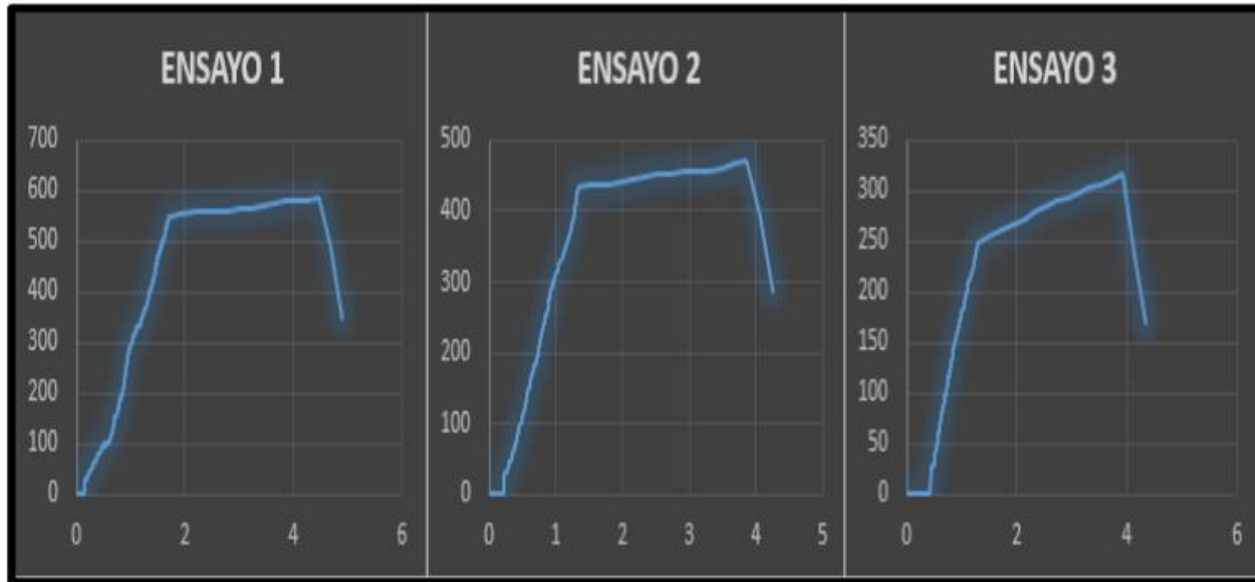
ENSAYO NÚMERO 2

Fuerza máxima (Kg)	Fuerza de fluencia (Kg)	Desplazamiento máximo (mm)	Tiempo (s)
469,73	428,46	4,24	92

ENSAYO NÚMERO 3

Fuerza máxima (Kg)	Fuerza de fluencia (Kg)	Desplazamiento máximo (mm)	Tiempo (s)
316,12	245,77	4,335	43





PROMEDIO DE DATOS OBTENIDOS EN ENSAYO DE TRACCION CON MATERIAL A BASE DE PISTONES RECICLADOS

Fuerza máxima (Kg)	Fuerza de fluencia (Kg)	Desplazamiento (mm)	Tiempo (s)
456,496	407,096	4,48	73,66

Figura 15: Gráficas fuerzas de desplazamiento en Excel ensayos de tracción

Resistencia a la tracción máxima del material

Esfuerzo

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_o}$$

Donde:

$F_u =$ Fuerza máxima aplicada = 456,496 KgF

$L =$ Longitud de desplazamiento = 4,48 mm

$A_o =$ Area de esfuerzo de la probeta = 4,48 mm x 3,15 mm = 14,11 mm²

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_o} \quad \sigma_u = 3235,26 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$\sigma_u = \frac{456,496 Kg}{0.1411 cm^2} \quad \sigma_u = 46016,21 Psi$$

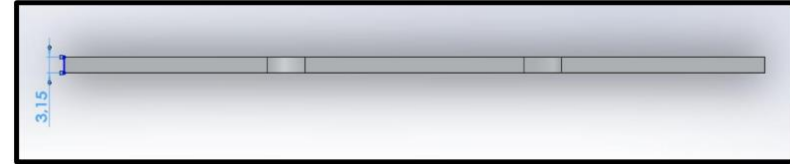


Figura 16: Modelado gráfico probeta ensayo de tracción

Resistencia a la tracción máxima del material

Resistencia a la tracción al límite de elasticidad del material

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_o}$$

Donde:

$F_y =$ Fuerza aplicada al limite de elasticidad = 407,096 KgF

$A_o =$ Area de esfuerzo de la probeta = 4,48 mm x 3,15 mm = 14,11 mm²

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_o}$$

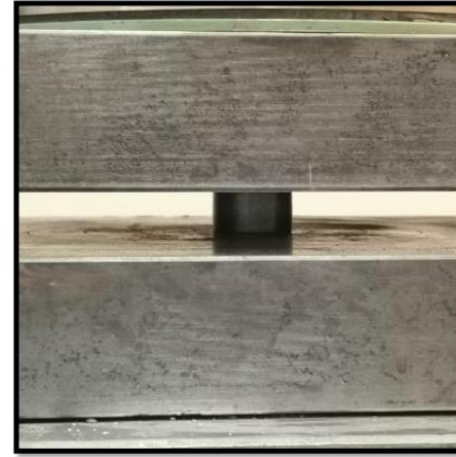
$$\sigma_y = \frac{407,096 \text{ Kg}}{0,1411 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma_y = 41036,47 \text{ Psi}$$

$$\sigma_u = 2885,15 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$



ENSAYO DE COMPRESIÓN



Gráficas

Fuerza – Tiempo

Fuerza – Desplazamiento

Desplazamiento - tiempo

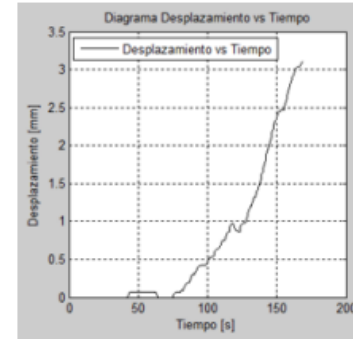
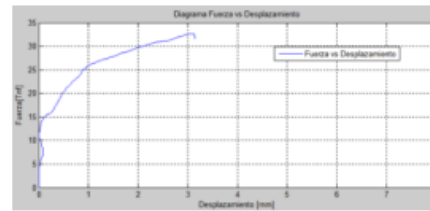
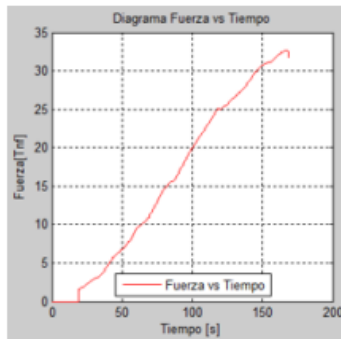


Figura 17: Ensayo 1 de compresión



ENSAYO DE COMPRESIÓN CON MATERIAL DE PISTONES RECICLADOS

ENSAYO NÚMERO 1

Fuerza máxima (tnt)	Fuerza instantánea (tnt)	Desplazamiento (mm)	Tiempo (s)
32,637	31,7052	3,1127	165

ENSAYO NÚMERO 2

Fuerza máxima (tnt)	Fuerza instantánea (tnt)	Desplazamiento (mm)	Tiempo (s)
31,039	30,3144	3,3328	118

ENSAYO NÚMERO 3

Fuerza máxima (tnt)	Fuerza instantánea (tnt)	Desplazamiento (mm)	Tiempo (s)
26,360	24,5961	4,1866	120



**PROMEDIO DATOS OBTENIDOS EN ENSAYO DE COMPRESIÓN CON MATERIAL A
BASE DE PISTONES RECICLADOS**

Fuerza máxima (tnt)	Fuerza instantánea (tnt)	Desplazamiento (mm)	Tiempo (s)
30,012	28,8718	3,5440	134



Razón de esbeltez

$$\rho = \frac{l}{rg}$$

$\rho < 40 = \text{Compresión}$

$\rho > 60 = \text{Columna}$

Donde:

$\rho = \text{Razón de esbeltez}$

$rg = \text{Radio de giro}$

$l = \text{Longitud de la probeta} = 25 \text{ mm}$

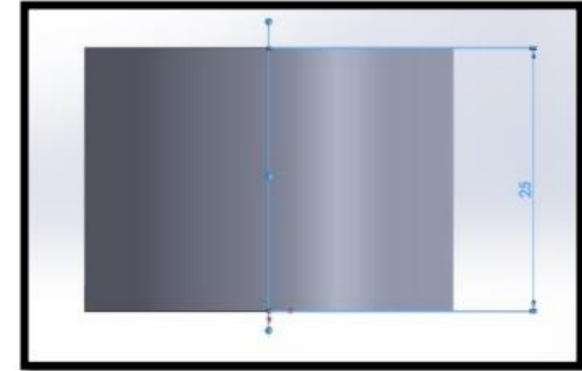


Figura 18: Modelado gráfico probeta ensayo de compresión

Ecuación 3

Radio de giro

$$rg = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Donde:

I = Momento de inercia de la probeta

A = Área

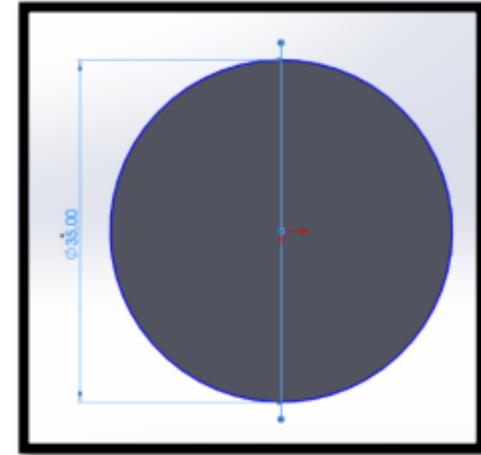


Figura 19: Modelado gráfico probeta ensayo de compresión, lado superior

Ecuación 4

Momento de inercia de la probeta

$$I = \frac{\pi * d^4}{64}$$

Área de la probeta

d = Diámetro de la probeta = 35 mm

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

Razón de esbeltez

Reemplazo el diámetro de la probeta en la ecuación:

$$rg = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$rg = \sqrt{\frac{\frac{\pi * d^4}{64}}{\frac{\pi * d^2}{4}}}$$

$$rg = \sqrt{\frac{d^2}{16}}$$

$$rg = \frac{d}{4}$$

$$rg = \frac{35 \text{ mm}}{4}$$

$$rg = 8,75 \text{ mm}$$

Reemplazo el valor calculado en la ecuación:

$$\rho = \frac{l}{rg}$$

$$\rho = \frac{25 \text{ mm}}{8,75 \text{ mm}}$$

$$\rho = 2,8571$$



ENSAYO METALGRÁFICO

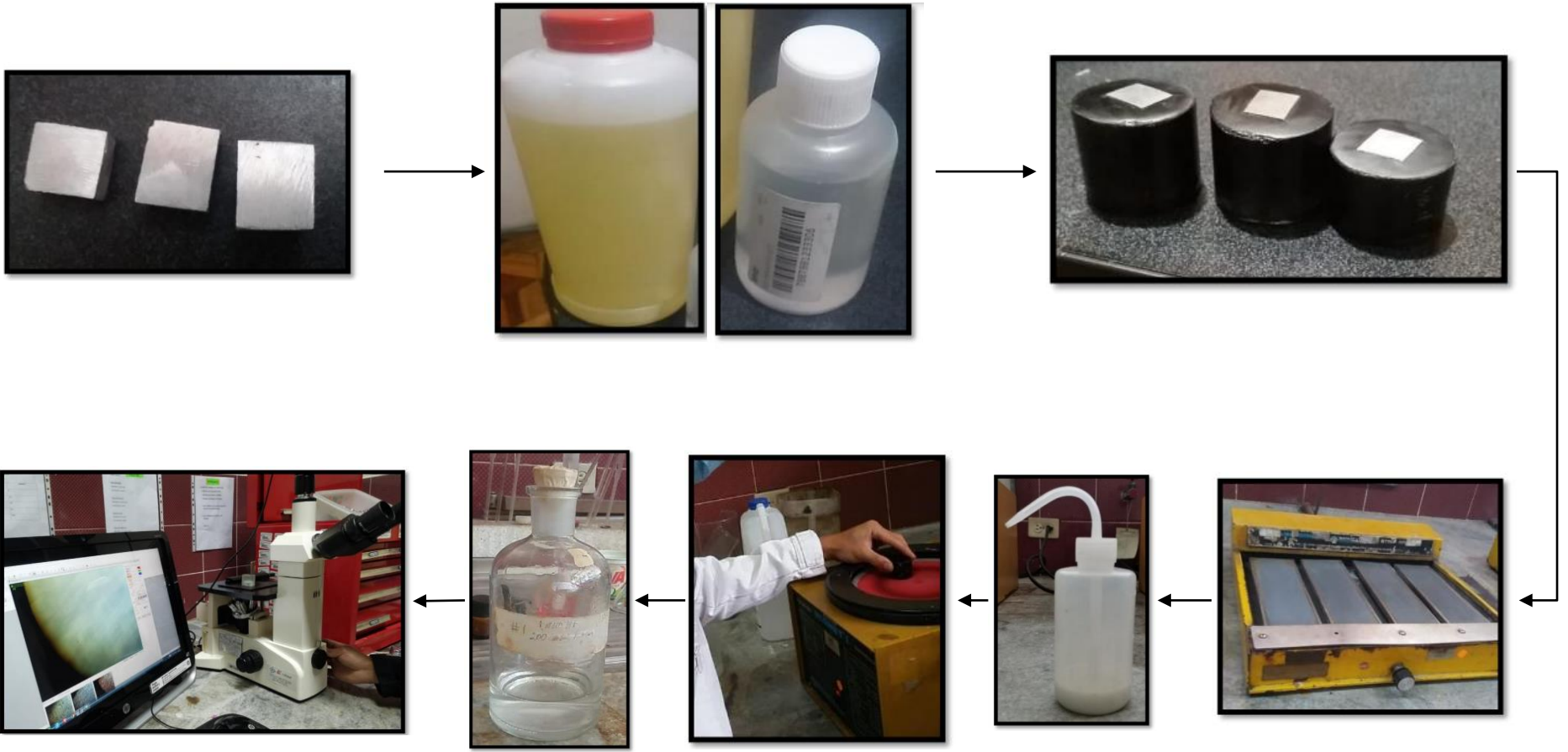


Figura 20: Ensayo metalográfico

ENSAYO METALGRÁFICO CON MATERIAL A BASE DE PISTONES RECICLADOS

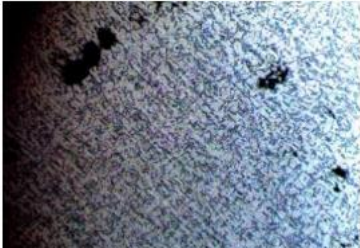
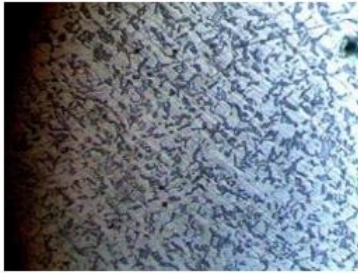
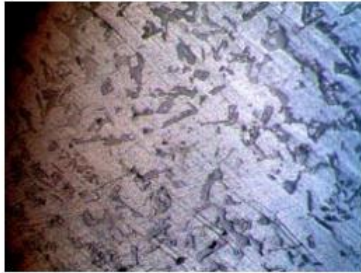
Número de ensayo	Lente aumentado	Fotografías
1	100X	
2	200X	
3	500X	

Figura 21: Resultados obtenidos

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MATERIAL A BASE DE PISTONES RECICLADOS

Elemento	Si%	Fe%	Cu%	Mn%	Mg%
Resultado	1.788	0.488	1.235	0.132	0.237
Elemento	V%	Pb%	Sn%	Sr%	Ca%
Resultado	0.013	0.017	0.042	0.000	0.001
Elemento	Ag%	Bi%	Ga%	Sb%	Zr%
Resultado	0.000	0.000	0.048	0.018	0.004
Elemento	Cr%	Zn%	Ni%	Ti%	Cd%
Resultado	0.045	0.030	1.248	0.160	0.000
Elemento	Co%	Al%	B%	Be%	
Resultado	0.000	94.474	0.021	0.000	



PASTILLAS
DESGASIFICADORAS

ALEACIONES UTILIZADAS
EN PISTONES
AUTOMOTRICES

ADICIÓN DE ALEACIONES

Pistones **TEIKIN**™ VS Otras Marcas

Comparativa de los materiales utilizados
Pistón 55-K2700 (Teikin No. 42198)

Elemento	Especificación* (%)	Teikin (%)	Otros Fabricantes #1 (%)
Cu Cobre	0.8 - 1.3	1.0612	1.7331
Si Silicón	11.0 - 13.0	12.137	9.7297
Mg Magnesio	0.8 - 1.3	1.0833	0.83999
Zn Zinc	0.15 max	0.05027	0.28011
Fe Hierro	0.7 max	0.45063	0.65748
Mn Manganeseo	0.15 max	0.05827	0.22084
Ni Niquel	0.8 - 1.5	1.3726	0.66118
Ti Titanio	0.20 max	0.09490	0.07853
Cr Cromo	0.10 max	0.02110	0.03685
Sn Estaño	0.05 max	0.02013	0.02378
Pb Plomo	0.05 max	0.021268	0.05692

*Especificación basada en normas de la Industria Japonesa número D3104-1996

Figura 22: Composición química pistones automotrices

ENSAYO DE TRACCIÓN CON MATERIAL MEJORADO

ENSAYO DE TRACCIÓN CON MATERIAL MEJORADO A BASE DE PISTONES

RECICLADOS

ENSAYO NÚMERO 1

Fuerza máxima	Fuerza de fluencia	Desplazamiento	Tiempo (s)
(Kg)	(Kg)	(mm)	
404,425	381,95	3,47	63

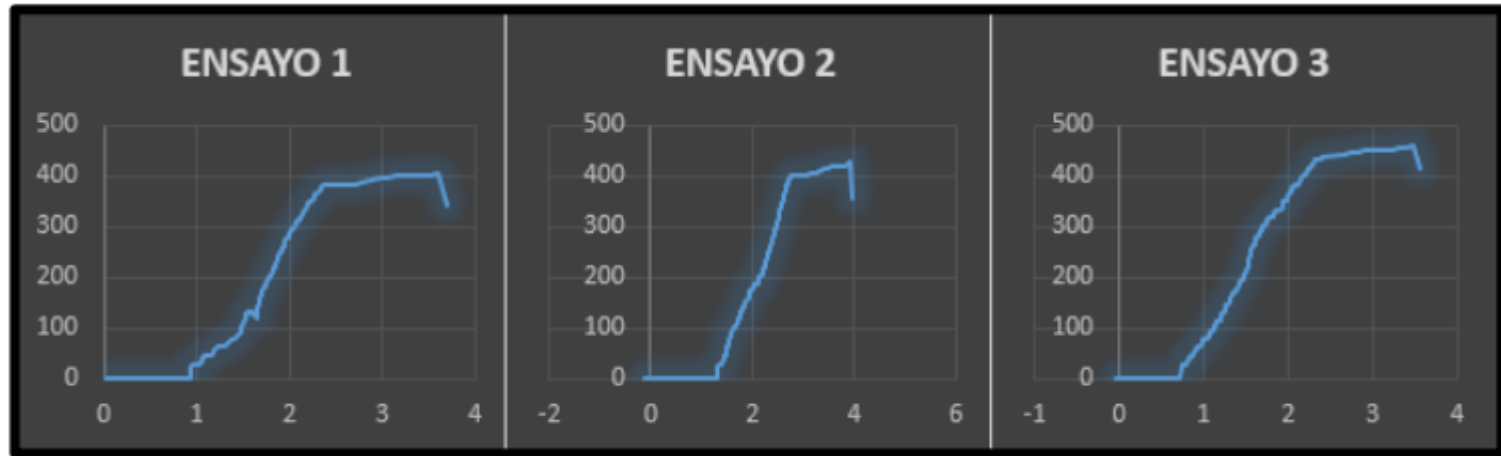
ENSAYO NÚMERO 2

Fuerza máxima	Fuerza de fluencia	Desplazamiento	Tiempo (s)
(Kg)	(Kg)	(mm)	
427,937	397,63	3,896	81

ENSAYO NÚMERO 3

Fuerza máxima	Fuerza de fluencia	Desplazamiento	Tiempo (s)
(Kg)	(Kg)	(mm)	
460,307	428,95	3,603	67





PROMEDIO DATOS OBTENIDOS EN ENSAYO DE TRACCIÓN CON MATERIAL MEJORADO A BASE DE PISTONES RECICLADOS.

Fuerza máxima (Kg)	Fuerza de fluencia (Kg)	Desplazamiento (mm)	Tiempo (s)
430,89	417,84	3,656	70

Figura 23: Gráficas en fuerza de desplazamiento Excel ensayos de tracción con material mejorado

Resistencia a la tracción con el material mejorado

Resistencia a la tracción máxima del material

Esfuerzo

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_o}$$

Donde:

$F_u =$ Fuerza máxima aplicada = 430,89 KgF

$L =$ Longitud de desplazamiento = 3,656 mm

$A_o =$ Area de esfuerzo de la probeta = 3,656 mm x 3,15 mm = 11,51 mm²

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_o}$$

$$\sigma_u = \frac{430,89 \text{ Kg}}{0,1151 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma_u = 3743,6 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_u = 53246,65 \text{ Psi}$$

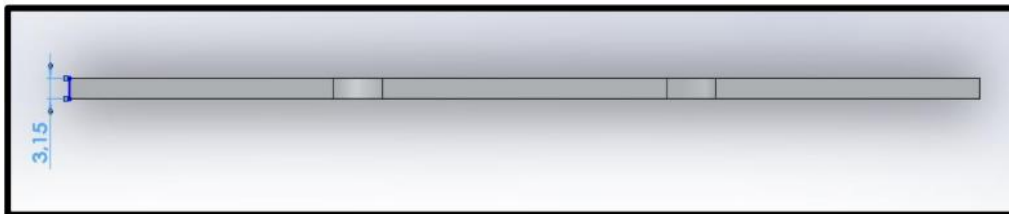


Figura 24: Modelado gráfico probeta ensayo de tracción



Resistencia a la tracción con material mejorado

Resistencia a la tracción al límite de elasticidad del material

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_o}$$

Donde:

$F_y =$ Fuerza aplicada al límite de elasticidad = 417,84 KgF

$A_o =$ Área de esfuerzo de la probeta = 4,48 mm x 3,15 mm = 11,51 mm²

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_o}$$

$$\sigma_u = \frac{417,84 \text{ Kg}}{0,1151 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma_u = 3630,23 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_u = 51634 \text{ Psi}$$



**ENSAYO DE COMPRESIÓN CON
MATERIAL MEJORADO**

ENSAYO NÚMERO 1

Fuerza máxima (tnt)	Fuerza instantánea (tnt)	Desplazamiento (mm)	Tiempo (s)
52,895	51,045	3,452	119

ENSAYO NÚMERO 2

Fuerza máxima (tnt)	Fuerza instantánea (tnt)	Desplazamiento (mm)	Tiempo (s)
52,031	49,873	2,985	116

ENSAYO NÚMERO 3

Fuerza máxima (tnt)	Fuerza instantánea (tnt)	Desplazamiento (mm)	Tiempo (s)
57,475	56,041	3,184	118



**PROMEDIO DATOS OBTENIDOS EN ENSAYO DE COMPRESIÓN A BASE DE
PISTONES DE AUTOMOTRIZ**

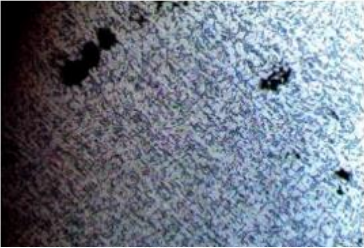
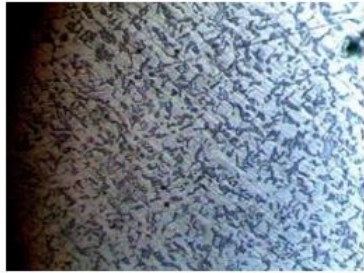
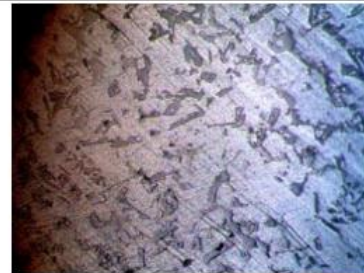
Fuerza máxima (tnt)	Fuerza instantánea (tnt)	Desplazamiento (mm)	Tiempo (s)
54,133	52,319	3,207	117,666



Resultado comparativo

Material a base de pistones reciclados

Material mejorado a base de pistones reciclados

Número de ensayo	Lente aumentado	Fotografías
1	100X	
2	200X	
3	500X	

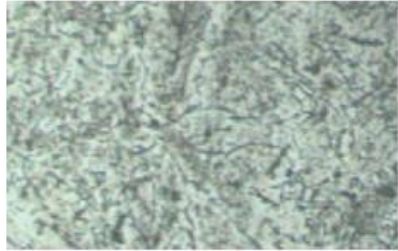
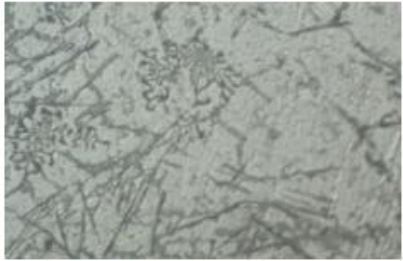
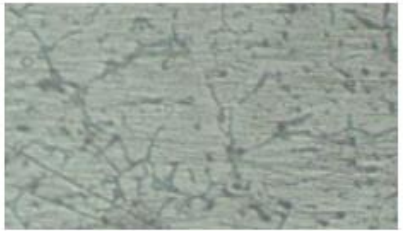
Fotografías




Figura 25: Resultados comparativos



Resultados comparativos				
Material	Matweb		Ensayos mecánicos	
	σ_u PSI	σ_y PSI	σ_u PSI	σ_y PSI
Aluminio	≥ 52100	≥ 48000	/	/
4032				
Primera	/	/	46016,21	41036,47
fundición				
Fundición	/	/	53246,65	51634,00
mejorada				

ANÁLISIS QUÍMICO

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MATERIAL A BASE DE PISTONES RECICLADOS

Elemento	Si%	Fe%	Cu%	Mn%	Mg%
Resultado	1.788	0.488	1.235	0.132	0.237
Elemento	V%	Pb%	Sn%	Sr%	Ca%
Resultado	0.013	0.017	0.042	0.000	0.001
Elemento	Ag%	Bi%	Ga%	Sb%	Zr%
Resultado	0.000	0.000	0.048	0.018	0.004
Elemento	Cr%	Zn%	Ni%	Ti%	Cd%
Resultado	0.045	0.030	1.248	0.160	0.000
Elemento	Co%	Al%	B%	Be%	
Resultado	0.000	94.474	0.021	0.000	

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MATERIL MEJORADO A BASE DE PISTONES RECICLADOS

Elemento	Si%	Fe%	Cu%	Mn%	Mg%
Resultado	11.457	0.585	1.204	0.125	0.948
Elemento	V%	Pb%	Sn%	Sr%	Ca%
Resultado	0.007	0.015	0.037	0.000	0.000
Elemento	Ag%	Bi%	Ga%	Sb%	Zr%
Resultado	0.000	0.000	0.023	0.004	0.004
Elemento	Cr%	Zn%	Ni%	Ti%	Cd%
Resultado	0.028	0.035	0.852	0.162	0.000
Elemento	Al%	Co%	B%	Be%	
Resultado	84.506	0.000	0.012	0.000	



Conclusiones

- Al revisar la información bibliográfica se seleccionó el proceso de fundición en verde que ayudará a la obtención de un elemento a base de material fundido de pistones reciclados por su economía y accesibilidad.
- Gracias al análisis químico se pudo evidenciar que al momento de la fundición de los pistones reciclados existe una pérdida de componentes en su estructura el más notorio es el silicio que conforme a catálogos se debe encontrar en un rango de 11 a 13 %, y en este caso se encontró un 1.788 % de composición de acuerdo al total del peso conformado del material, determinando una calidad baja de la fundición resultante sin implementación de mejora.



Conclusiones

- El análisis microestructural expuso que al momento de la fundición existen ciertas cavidades que provocan una estructura frágil en el material, y gracias al proceso de desgasificación estas cavidades se reducen y por ende la estructura del material es más compacta y resistente
- El promedio obtenido en el ensayo de tracción al material obtenido a base de pistones reciclados demostró una fuerza máxima de 30,012 (tnt) y el efectuado al material mejorado a base de pistones reciclados se obtuvo una fuerza máxima de 54,133 (tnt) dando un aumento en la fuerza máxima resistente a la compresión del material de más del 40 %



Conclusiones

- En comparación al aluminio 4032 con un esfuerzo a la tracción igual o mayor a 52100 psi, mediante cálculos matemáticos obtenidos de los resultados de ensayos mecánicos se determinó que el material mejorado a partir de pistones reciclados cumple con las especificaciones de dicho material ya que cuenta con un esfuerzo a la tracción de 53246,65 psi dando como resultado un material idóneo para la fabricación de pistones automotrices.



Conclusiones

➤ Añadiendo los siguientes componentes cromo, magnesio, níquel, zinc, cobre, hierro y silicio, se evidencio una mejora en las propiedades mecánicas del material a base de pistones reutilizados, con lo cual se determina un material idóneo para la reutilización en el campo automotriz.



Recomendaciones

- Para el análisis metalográfico se debe tomar en cuenta el tiempo de contacto que pasa la probeta frente al revelador químico, ya que si sobrepasa el límite permitido este puede quemarse (opacarse) y no se podrá obtener una imagen óptima en el microscopio
- Para los diferentes ensayos mecánicos y metalográficos se deben seguir obligatoriamente los instructivos de uso de las máquinas de cada laboratorio para evitar cualquier tipo de inconvenientes.
- Los ensayos mecánicos se los debe realizar por lo menos 3 veces con el mismo material para poder obtener diferentes resultados y englobarlos en uno solo.



Recomendaciones

- Al momento de manufacturar un pistón con el material de partida mejorado a base de pistones reciclados, se recomienda realizar tratamientos térmicos al pistón de acuerdo a las necesidades del motor en el cual va a trabajar.



¡Gracias!



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA