



INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA
PASCUAL BRAVO®



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MECANISMO PARA EL CONTROL DE LAS RPM DEL BANCO DE INVESTIGACIÓN EN MOTORES ENCENDIDOS POR COMPRESIÓN

Brahian Camilo Henao Vergara.
bra.henao@pascualbravo.edu.co.

Asesor:

Luis Carlos Olmos Villalba.

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
Facultad de Ingeniería
Departamento de Mecánica
Tecnología en Mecánica Automotriz
17/07/2023



SC 7134-1



Institución Universitaria - Vigilada Mineducación
PBX (+57 4) 448 0520 / FAX: (+57 4) 493 6363
Calle 73 No. 73A - 226, Vía El Volador
Línea gratuita: 01 8000 510944
www.pascualbravo.edu.co



Alcaldía de Medellín

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	3
PALABRAS CLAVES.....	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
2. MARCO TEÓRICO O ESTADO DEL ARTE	5
3. OBJETIVOS	6
4. METODOLOGÍA.....	7
5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	8
6. DESARROLLO METODOLÓGICO DEL PROYECTO.....	9
6.1. Primera etapa: diseño y selección del mecanismo para el sistema de control de RPM.....	9
6.1.1 Toma de dimensiones, restricciones de diseño.	9
6.1.3 Selección de motor paso a paso para el control de las RPM del motor a compresión.	17
6.1.4. Etapa de Diseño del Mecanismo.....	19
6.2. Segunda Etapa: Fabricación de piezas y ensamble de mecanismo.....	25
6.2.1 Fabricación Engranaje Conductor.....	25
6.2.2 Fabricación Punzón cremallera.....	26
6.2.3 Fabricación Cremallera.....	27
6.2.4 Fabricación Base motor paso a paso.....	28
6.2.5 Fabricación Buje pasante.....	29
6.2.6 Ensamble de mecanismo de control.....	30
6.3. Tercera Etapa: Desarrollo de sistema de control y automatización.....	32
7. PRESUPUESTO DE DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN.....	32
8. TABLA DE ILUSTRACIONES.....	33
9. BIBLIOGRAFÍA.....	34

Resumen

El banco de prueba de motores de encendido por compresión que posee la Institución Universitaria Pascual Bravo en el laboratorio LIDA, tiene un sistema mecánico de control de RPM el cual es accionado manualmente, debido a la imprecisión del mecanismo de control del régimen de giro del motor Diésel; se observa la necesidad de desarrollar un sistema de control de RPM que garantice la precisión en el control de la velocidad y régimen de giro.

La razón por la cual se desarrolla este prototipo es debido al uso experimental del banco de prueba, pues la razón de ser de este, es poder realizar diferentes experimentos variando las condiciones de operación del equipo, teniendo en cuenta factores de carga y variación en mezclas de combustible.

El dispositivo que se debe diseñar debe cumplir con la precisión adecuada para el control de RPM, además un acople independiente o modificación estructural del banco según sea conveniente, debe soportar las condiciones de vibración, temperatura y precisión en la recepción y entrega de datos de y para el software del banco experimental.

Al implementar el nuevo diseño del sistema de control de régimen de giro, el banco de pruebas de motores de encendido por compresión de la institución podrá brindarle a toda la comunidad educativa múltiples beneficios en aprendizaje y conocimiento pues les dará la posibilidad de poder realizar pruebas experimentales con mejor precisión, sin tiempos muertos, ni reincidencia en pruebas, además no será necesario el uso de herramientas manuales ni el acompañamiento de personal de supervisión.

Palabras claves

Sistema de control, RPM, motor Diésel, diseño, acople.

1. Planteamiento del problema

En el banco experimental de motores de encendido por compresión que se tiene en el laboratorio LIDA de la Institución Universitaria Pascual Bravo, actualmente cuenta con un sistema de control de RPM de accionamiento manual, el sistema que se presenta en la Figura 1. Para poder variar las RPM del motor se debe soltar primero la tuerca y posteriormente girar el tornillo, cuando se logre obtener el valor de RPM requerido para la prueba, se vuelve a ajustar la tuerca para evitar que el tornillo cambie su posición.

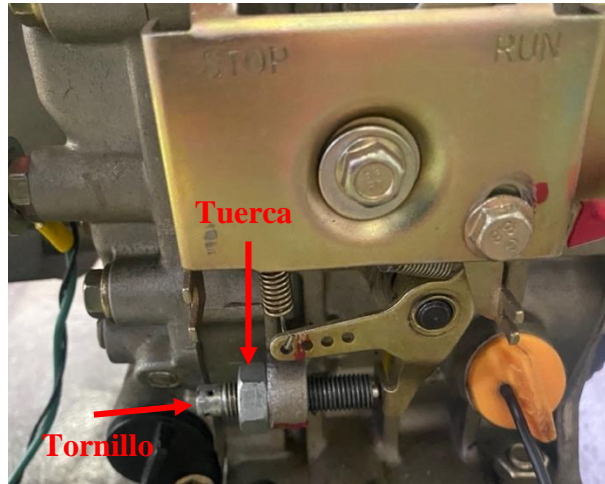


Figura 1. Sistema de control de RPM del motor.

Teniendo en cuenta que, uno de los objetivos principales del banco experimental es realizar pruebas en diferentes puntos de cargas, diferentes tipos combustibles y mezclas de estos, el ajuste de la RPM juega un papel importante para mantener condiciones de operación constante en cada prueba, lo que actualmente, mediante su manejo manual presenta los siguientes problemas:

- Tiempos muertos entre prueba y prueba, debido a que el ajuste de las RPM es manual.
- Repetición de pruebas por desajuste en el control de las RPM.
- La precisión y exactitud están dadas por el sistema de tuerca-tornillo.
- Se debe contar con personal y herramientas, adicionales a las necesarias para las pruebas.

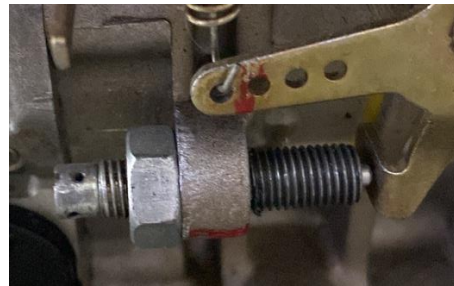
2. Marco teórico o Estado del arte

Control mecánico/electrónico

Los sistemas de control mecánico fueron los primeros sistemas de control implementados en la construcción de equipos electrógenos. Estos sistemas fueron desarrollados por la necesidad de controlar varios sistemas a diferentes cargas de uso, y se han presentado diferentes tipos sistemas de control (Source, n.d.), entre ellos los sensores de velocidad con sensor magnético y los sistemas de velocidad con resorte.



a.



b.

Figura 2. Sistema de control de velocidad. a. Sensor magnético (Source, n.d.). b. Sensor por resorte.

Uno de los retos de gran importancia en el campo de los motores diésel es el rastreo y el sostenimiento, es decir control, de manera rápida y precisa de la velocidad o RPM del motor debido a inestabilidades y a cambios dinámicos como las condiciones ambientales, carga y las condiciones de operación (Lynch, Hagra, & Callaghan, 2006).

Históricamente, se han planteado diferentes estrategias para tener un control adecuado de las RPM en motores de encendido provocado, tales como, controles PID, sliding mode control, fuzzy control y control de modo predictivo (Broomhead, Manzie, Hield, Shekhar, & Brear, 2017; Li, Ahmed, & Rizzoni, 2017; Xiros, 2004). Estos controles han permitido resolver las necesidades de control de las RPM debidas a diferentes aspectos que afectan la operación de los motores, pero cada uno de estos controles tienen sus falencias según su principio o fenómenos de funcionamiento.

La regulación de la velocidad en motores diésel es una gran reto debido al hecho que los motores diésel son altamente no lineales, y sus perturbaciones en la carga son difíciles de predecir (Wang et al., 2018), esto debido a que dichas perturbaciones dependen, no solo de las condiciones de operación, sino que también son fuertemente afectadas por aspectos externos como todo lo que puede implicar el ambiente que rodee al motor (Yuan, Zhang, Chen, & Mao, 2018).

3. Objetivos

Objetivo general:

Diseñar e implementar un sistema de ajuste de RPM para el banco experimental de motores de encendido por compresión permitiendo un control desde el software del banco en tiempo real.

Objetivos específicos:

- Diseñar un mecanismo que permita un acople adecuado al sistema manual del motor, ver Figura 1.
- Implementar el mecanismo de control en el banco experimental, verificando espacio, vibraciones y sistema de señales desde y hacia el software.
- Puesta a punto del sistema de ajuste de RPM mediante pruebas con varios grados de carga y mezclas de combustibles.

4. Metodología

La metodología implementada en este proyecto estará sujeta a tres etapas, con el fin de dar respuesta a cada uno de los objetivos específicos:

Primera etapa: diseño y/o selección del mecanismo para el sistema de control de RPM

En esta etapa se realizará una revisión de la literatura para identificar los posibles mecanismos que se puedan implementar en el banco experimental. Después de identificado, se procederá a diseñar las posibles adecuaciones o modificaciones para un adecuado acople.


Segunda etapa: implementación

En esta parte, se construirá o acondicionará el mecanismo en el banco experimental. Se realizará análisis de espacio y el efecto de la vibración del motor sobre la estabilidad del montaje del sistema de control y las señales desde y hacia el software.

Tercera etapa: puesta a punto

Después de tener implementado el sistema, se realizarán varias pruebas para probar el funcionamiento adecuado del sistema de control de RPM. Dentro de estas pruebas estarán: una base con combustible diésel con variación de carga, y una segunda prueba en modo dual, de tal manera que permita evaluar la precisión y exactitud del sistema bajo diferentes condiciones.

5. Cronograma de actividades

			CRONOGRAMA DE PLANEACION PARA LA EJECUCION DE PROYECTO DE GRADO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MECANISMO PARA EL CONTROL DE LAS RPM DEL BANCO DE INVESTIGACIÓN EN MOTORES ENCENDIDOS POR COMPRESIÓN.														
			MES	AGOSTO			SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE		
ETAPA	NUMERO DE ASESORIA	ACTIVIDADES Y ENTREGABLES	DIA	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2	9	16
1	1	Presentación del cronograma propuesto de planeación y ejecución de proyecto de grado.		█	█												
	2	Toma de dimensiones, principios de funcionamiento y restricciones de diseño, para levantamiento de propuesta de mecanismo o dispositivo a implementar.			█												
	3	Inicio de etapa de diseño en software CAD del dispositivo o mecanismo a implementar.				█											
	4	Continúa etapa de diseño en software CAD del dispositivo o mecanismo a implementar.					█										
	5	Entrega del primer avance de la construcción del informe final del proyecto de grado.						█									
	6	Asesoría para la retroalimentación, según el avance #1 del informe del proyecto grado.							█								
	7	Corrección del informe del proyecto final según las recomendaciones del asesor. Finalización de etapa de diseño en software CAD del mecanismo o dispositivo, simulación, planos de fabricación, materiales, procesos de mecanizado y equipos requeridos, procedimiento de ensamble.								█	█						
2	8	Entrega del segundo avance del informe final del proyecto de grado.									█						
		Inicio de etapa de implementación del mecanismo o dispositivo, fabricación de piezas, ensamble.									█						
	9	Continúa etapa de implementación del mecanismo o dispositivo, fabricación de piezas, ensamble. Continúa en avance la construcción del informe final del proyecto de grado.										█	█				
3	10	Desarrollo de sistema de control (Software) Pruebas y Ajustes Continúa en avance la construcción del informe final del proyecto de grado.											█	█			
	11	Pruebas y ajustes del mecanismo o dispositivo implementado (sistemas mecánicos, eléctricos y de control) Finaliza la construcción del informe final del proyecto de grado.												█	█		
	12	Entrega de informe final de proyecto de grado para revisión y correcciones.													█		
	13	Asesoría para la retroalimentación del informe final del proyecto grado.														█	
	14	Entrega final del informe del proyecto de grado aprobado por la institución y calificación asignada.															█

6. Desarrollo metodológico del proyecto.

6.1. Primera etapa: diseño y selección del mecanismo para el sistema de control de RPM.

6.1.1 Toma de dimensiones, restricciones de diseño.

- Distancias puntos de sujeción para base de motor paso a paso.

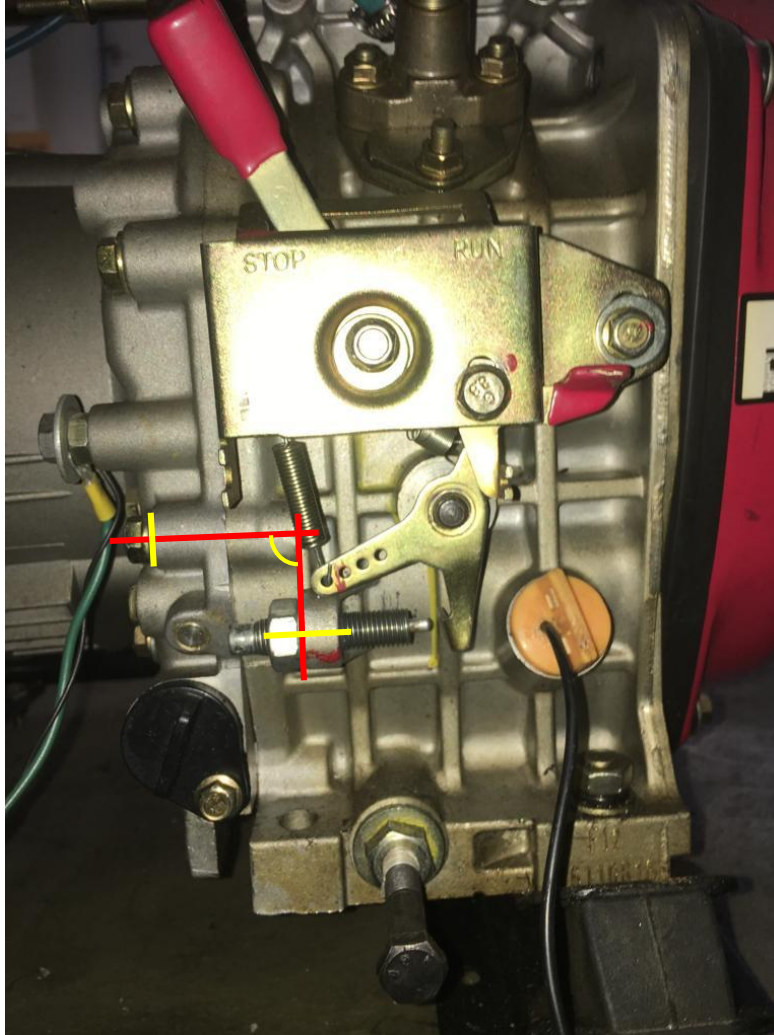


Ilustración 1 Puntos de sujeción para base de motor paso a paso.

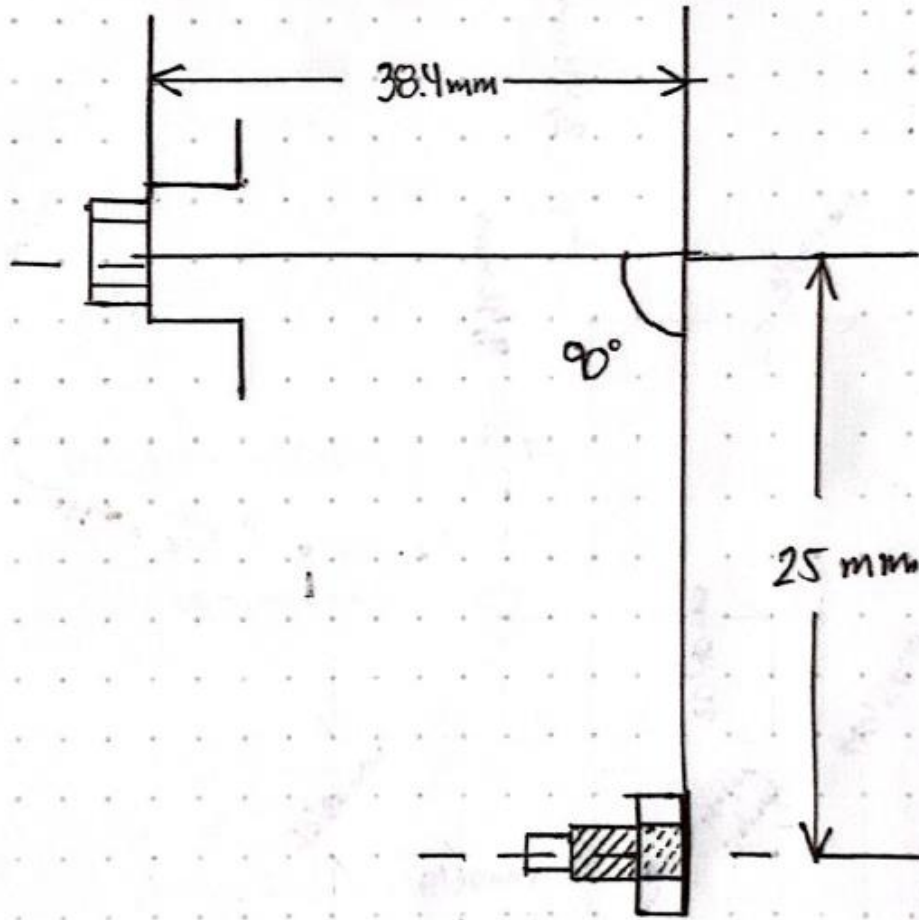


Ilustración 2 Distancias puntos de sujeción para base de motor paso a paso.

- Longitud de desplazamiento máximo leva de aceleración.

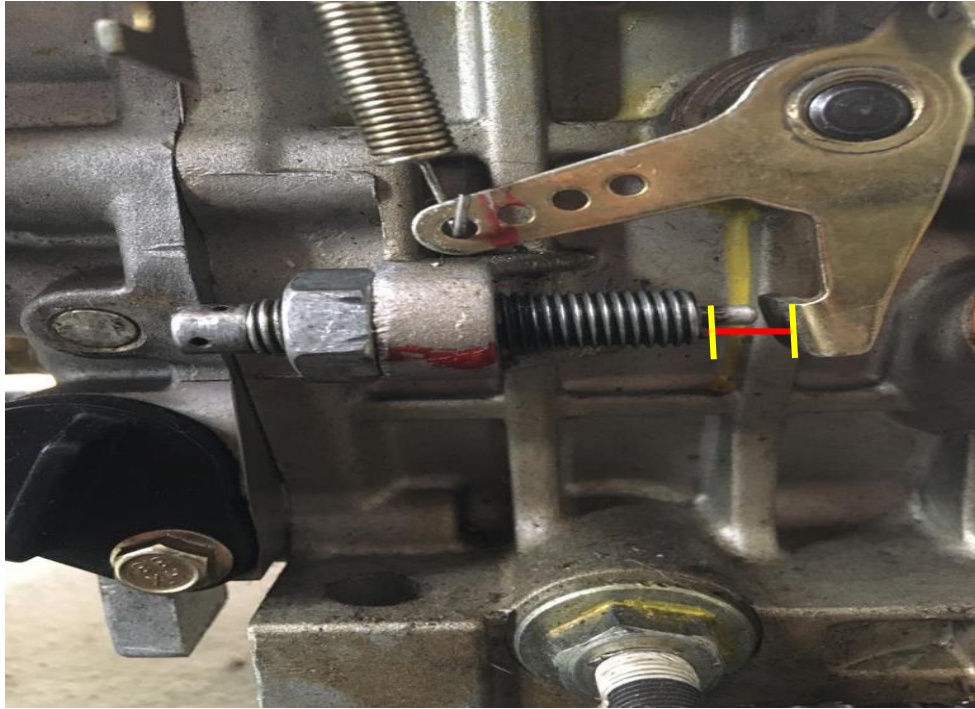


Ilustración 3 Desplazamiento leva de aceleración.

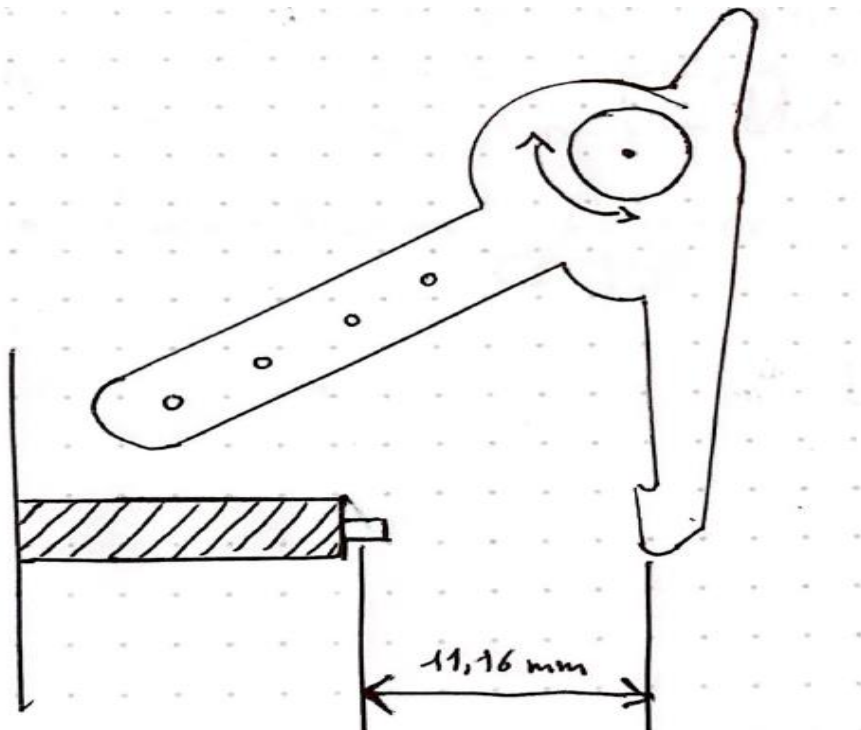


Ilustración 4 Longitud máxima de desplazamiento leva de aceleración.

- Dimensiones de tornillo de ajuste manual de RPM del motor a compresión.

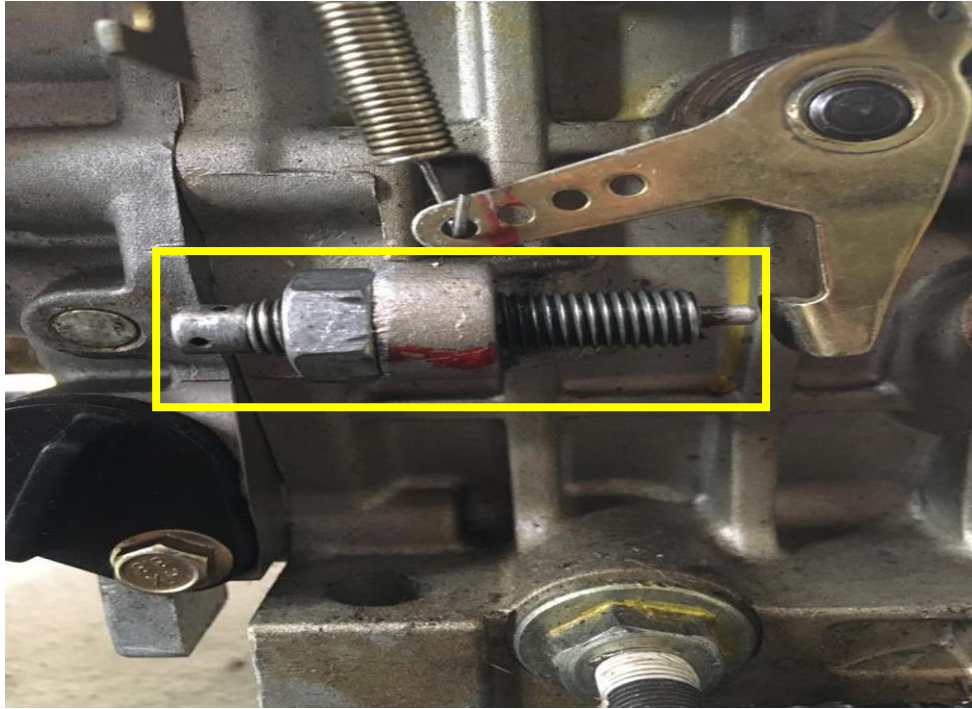


Ilustración 5 Tornillo de ajuste manual de RPM motor a compresión.

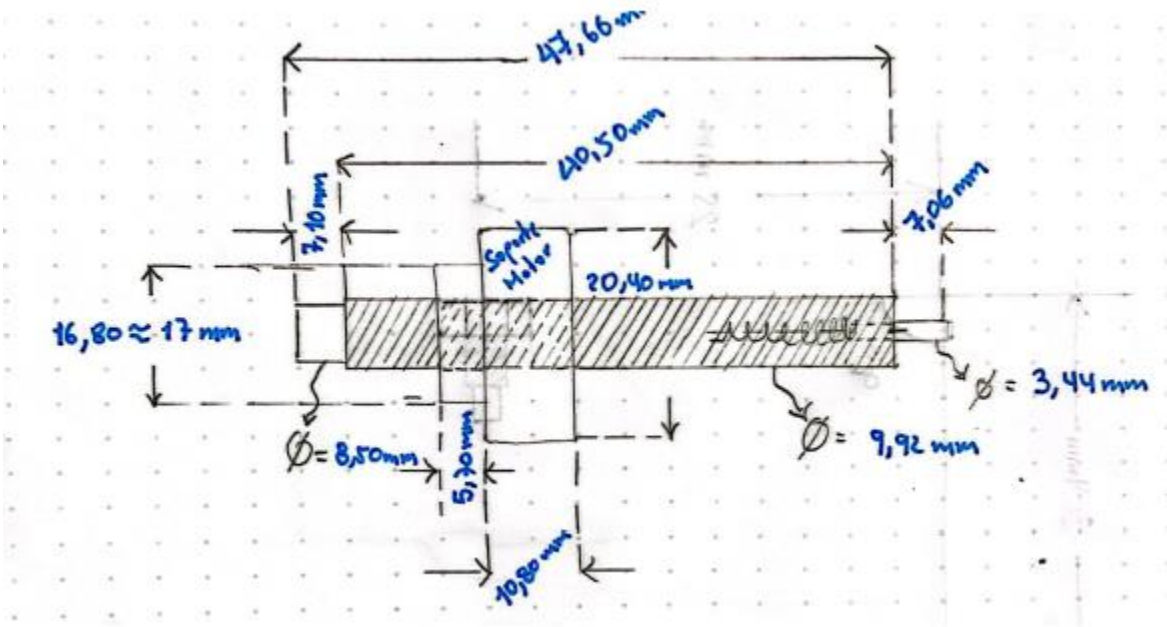


Ilustración 6 Dimensiones de tornillo de ajuste manual RPM motor a compresión.

6.1.2 Calculo de fuerzas y torque necesario para accionar leva de aceleración.

Para hallar la fuerza que se debe ejercer para vencer el muelle de posicionamiento de la leva de aceleración se utilizara un dinamómetro con capacidad máxima de 25 kg o aproximadamente 56 Lbs, el cálculo de esta fuerza es necesaria para poder implementar el motor con las características de torque ideales para vencer el muelle de posicionamiento de la leva de aceleración.

A continuación, se dará muestra del proceso de medición y cálculo de fuerza con el dinamómetro:

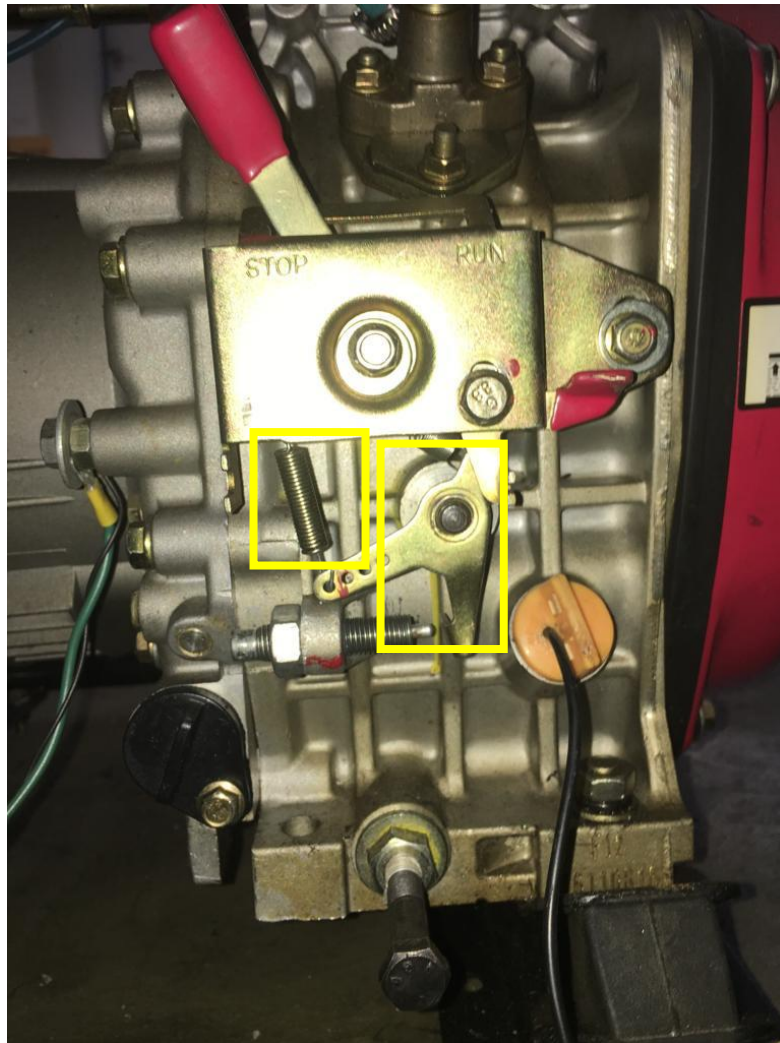


Ilustración 7 Muelle de posicionamiento y leva de aceleración.

La carga mínima a la cual fue sometido el dinamómetro para vencer la fuerza del muelle de posicionamiento de la leva de aceleración es de 4 kg aproximadamente 8 Lbs.

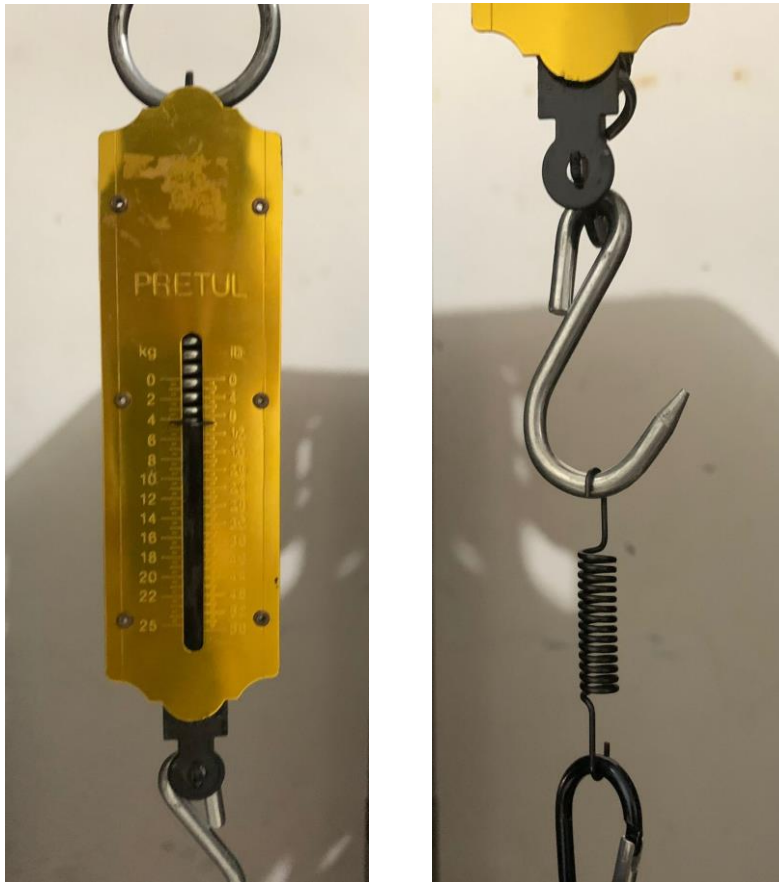


Ilustración 8 Carga a la cual fue sometido el dinamómetro para vencer el muelle de posicionamiento de leva de aceleración.

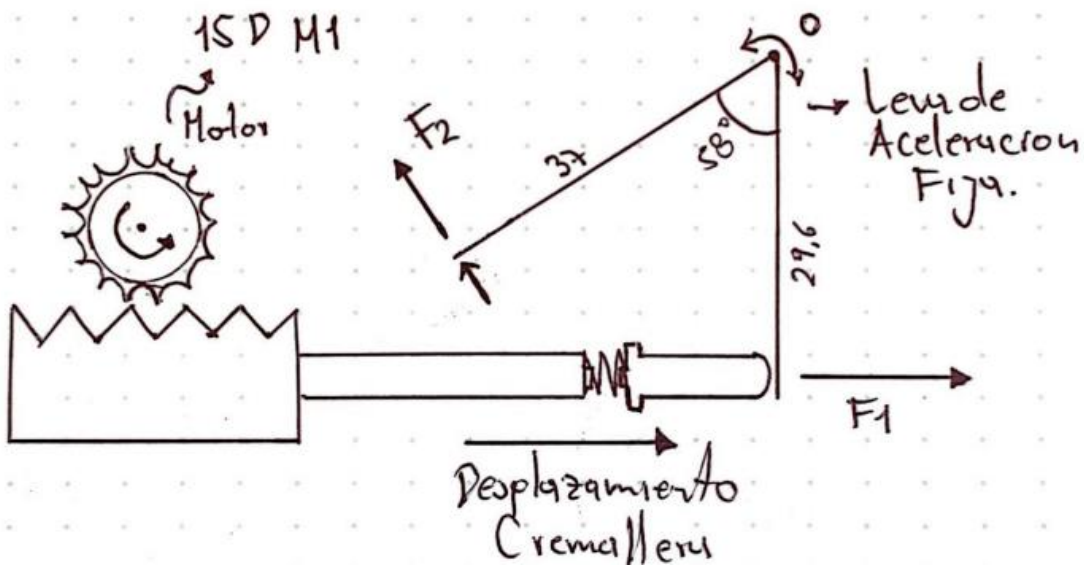


Ilustración 9 Mecanismo de accionamiento leva de aceleración (engranaje-cremallera-leva-muelle)

Para determinar el torque que debe hacer el motor para llevar a F_2 hasta su fuerza máxima, se debe hallar \vec{F}_1 tal que iguale toda la fuerza ejercida por \vec{F}_2 para estirar el muelle 11mm.

Esto quiere decir que la sumatoria de torques en el punto \bullet es igual a cero, matemáticamente:

$$\sum \tau = \tau_1 - \tau_2 = 0 \quad \text{Ec. 1}$$

Recordar que el torque es positivo para \vec{F}_1 y negativo para \vec{F}_2 por regla de la mano derecha en el cálculo del producto cruz entre la fuerza y el brazo.

Para hallar \vec{F}_2 sabemos que:

$$F = kx \quad \text{Ec. 2}$$

Se midió un estiramiento del muelle de 8mm para una fuerza aplicada de 4kg-F, convirtiéndolo a Newton, esta fuerza es de $4kg * \frac{9.8m}{s^2} = 39.2N$. Despejando k de la ec.2 y reemplazando los valores conocidos, obtenemos que:

$$k = \frac{F}{x} = \frac{39.2N}{0.008m} = 4900N/m \quad \text{Ec.3}$$

$$k = 4900 N/m$$

Con esta información, hallaremos la fuerza para realizar el desplazamiento máximo del muelle, la cual sería \vec{F}_2

$$\vec{F}_2 = kx_{max} = 4.900 \left[\frac{N}{m} \right] * 0.0116m = 56.84N \quad \text{Ec.4}$$

$$\vec{F}_2 = 56.84N$$

Como tanto \vec{F}_1 como \vec{F}_2 son tangentes a los brazos L_1 y L_2 . El torque se calcula como

$$\tau_1 = F_1L_1 = 0.0296F_1[Nm] \quad \text{Ec. 5}$$

$$\begin{aligned} \tau_2 &= F_2L_2 = 56.84N * 0.037m \\ &= 2.1[Nm] \end{aligned} \quad \text{Ec.6}$$

Reemplazando la Ec.5 y Ec.6 en Ec.1, obtenemos que:

$$\tau_1 - \tau_2 = 0 \quad \text{Ec. 7}$$

$$0.0296F_1[Nm] - 2.1[Nm] = 0$$

Despejamos F_1 , tal que:

$$F_1 = \frac{2.1}{0.0296}[N] = 70.9N \quad \text{Ec. 8}$$

$$F_1 = 70.9N = 7.2kgF$$

Calculemos el torque que necesita el motor para mover la cremallera con una fuerza de 70.9N dada una distancia del eje de rotación del motor al punto donde se hace mover la cremallera con el piñón de 7.5mm

$$\begin{aligned} \vec{\tau}_{motor} &= \vec{F}_1 \times \vec{x} = Fx \text{sen}90^\circ = 70.9N * 0.0075m \\ &= 0.53Nm \end{aligned} \quad \text{Ec. 8}$$

$$\vec{\tau}_{motor} = 0.53Nm = 5.4kgcm$$

6.1.3 Selección de motor paso a paso para el control de las RPM del motor a compresión.

Al determinar las fuerzas y el torque necesario para accionar la leva de aceleración del motor estacionario se verifica en el mercado que tipo de motor eléctrico cumple con las características necesarias para accionar el dispositivo que se desea implementar; al momento de la búsqueda se obtiene una amplia gama de servomotores, pero según la ficha técnica del motor paso a paso NEMA 17 da cumplimiento a los requerimientos de diseño.

La elección de este motor se justifica por las siguientes razones:

1. Disponibilidad Comercial: El motor NEMA 17 es ampliamente disponible en el mercado, lo que facilita su adquisición y reemplazo en caso de ser necesario.
2. Cumplimiento de Requisitos de Torque: El motor NEMA 17 posee un torque de 5.6Kg/cm, el mecanismo a implementar necesita un torque de 5.4 kg/cm para accionar la leva de aceleración por ende el motor no queda sobredimensionado.
3. Versatilidad: Este tipo de motor es conocido por su versatilidad y capacidad de operar de manera precisa, lo que lo hace ideal para aplicaciones de control de velocidad.
4. Voltaje Nominal: El voltaje nominal del motor NEMA 17 es un factor crítico que determina su capacidad de funcionamiento en el sistema dado. El motor NEMA 17 tiene un voltaje nominal de 12 V.
5. Corriente Nominal: La corriente nominal es la corriente máxima que el motor puede consumir de manera continua sin sobrecalentarse. El motor elegido tiene una corriente de 6.7A
6. Ángulo de Paso: El ángulo de paso se refiere al ángulo en grados que el rotor del motor se desplaza con cada pulso de energía. El motor NEMA 17 tiene un ángulo de paso de 1.8 grados por paso completo (200 pasos por revolución), este dato nos ayudara a calcular más adelante el avance lineal del mecanismo en cada paso de motor.
7. Holding Torque (Torque en Reposo): El torque en reposo es la fuerza que el motor puede ejercer cuando está detenido y se encuentra energizado. El torque de este motor es de 5.6Kg/cm, esto garantiza que el mecanismo no sufra ningún retroceso por acción del muelle que sujeta el brazo L1 de la leva de aceleración.

8. Inercia del Rotor: La inercia del rotor es un factor importante si se requieren movimientos rápidos y precisos. Una menor inercia del rotor permite aceleraciones y desaceleraciones más rápidas. La inercia de este motor es de 68.
9. Tipo de Eje: El eje del motor es simple y mide 18mm medido en la salida y diámetro de 5mm lo que lo hace compatible con piñones comerciales.



Ilustración 10 Motor paso a paso NEMA 17.

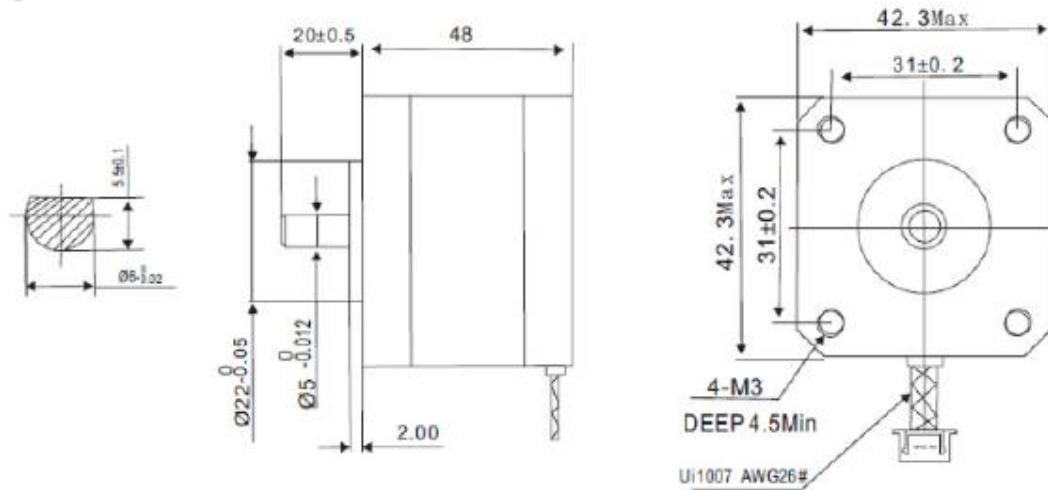
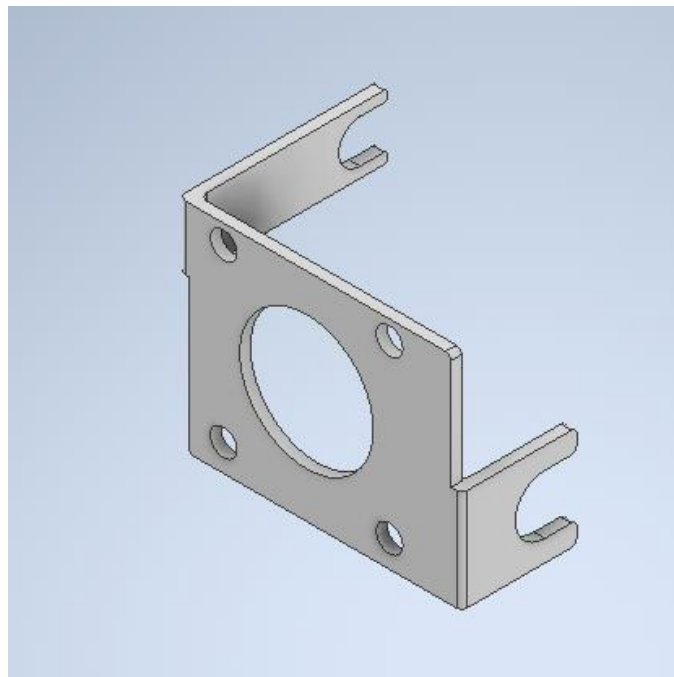


Ilustración 11 Plano y dimensiones motor paso a paso NEMA 17.

6.1.4. Etapa de Diseño del Mecanismo.

El mecanismo diseñado consta de los siguientes componentes principales:

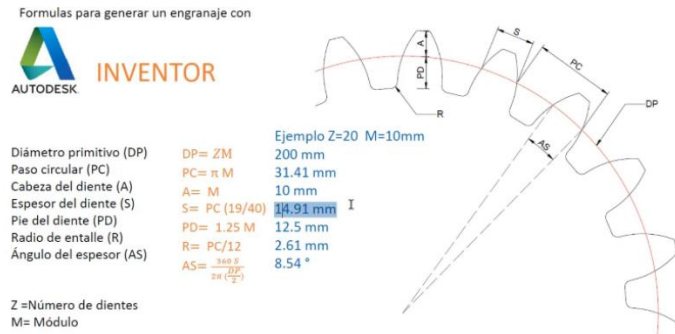
1. Base para motor paso a paso: Se ha diseñado una base personalizada para que se ajuste de manera óptima al bloque del motor diésel. Esta base sirve como soporte para la instalación del motor paso a paso.



• *Ilustración 12 Base para motor paso a paso NEMA 17.*

2. Engranaje Conductor: En el motor paso a paso, se ha instalado un piñón de 15 dientes módulo 1, montado en un eje de 5mm. Este piñón desempeña la transmisión del movimiento del motor paso a paso a la cremallera.

- Calculo de Engranaje:



$$Z = 15 \quad M = 1 \text{ mm}$$

$$Dp = Z \times M \quad Dp = 15 \text{ mm}$$

$$Pc = \pi \times M \quad Pc = 3,1416 \text{ mm}$$

$$\text{Cabeza diente} = A = M = 1 \text{ mm}$$

$$\text{Esesor del diente} = S = Pc \frac{19}{40} = S = 1,492 \text{ mm}$$

$$\text{Pie del diente} = Pd = 1,25 \times M = 1,25 \text{ mm}$$

$$\text{Radio del entalle} = R = \frac{Pc}{12} = R = 0,2618 \text{ mm}$$

$$\text{Angulo del espesor} = As = \frac{360 \times 1,492 \text{ mm}}{2 \pi \left(\frac{15 \text{ mm}}{2}\right)} = As = 11,398^\circ$$

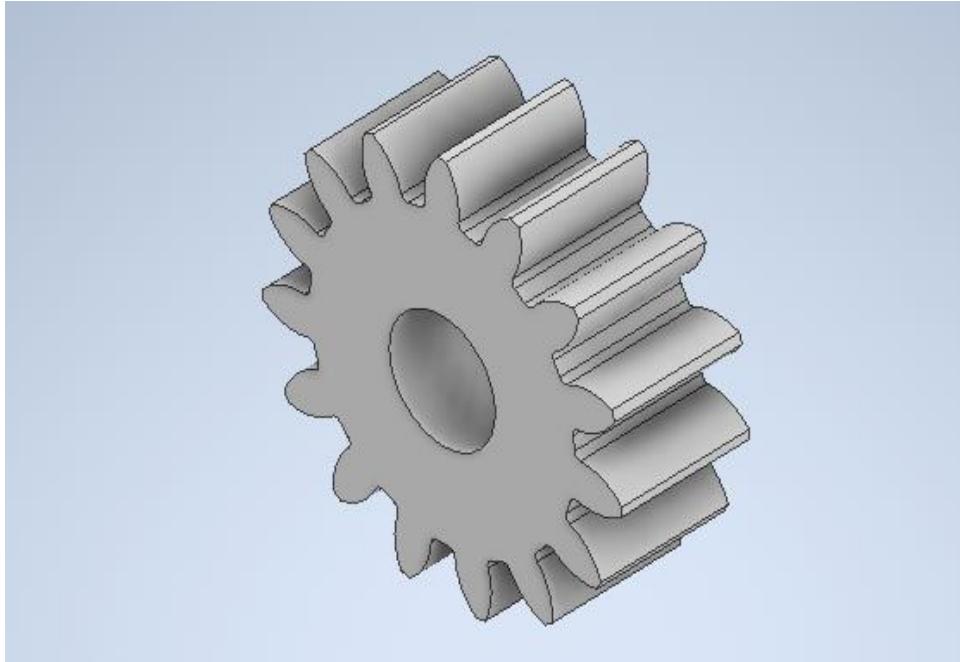


Ilustración 13 Engranaje de acople eje motor paso a paso NEMA 17.

3. Cremallera: Se ha diseñado una cremallera con un desplazamiento horizontal de 15mm. Esta cremallera está diseñada para ser movida por el engranaje conductor mencionado anteriormente.

La cremallera, a su vez, desplaza un punzón de accionamiento de la leva de aceleración, en busca de contrarrestar las vibraciones producidas por el motor diésel de la planta eléctrica, se diseña un muelle que une el punzón de accionamiento con la cremallera y así poder contrarrestar dicho inconveniente.

Para garantizar un funcionamiento preciso del mecanismo y ajustarse a la disponibilidad comercial, se han tenido en cuenta los parámetros de diseño que se describen a continuación:

La idea final de este cálculo es determinar cuál es el desplazamiento lineal mínimo que se puede lograr dado el motor paso a paso, lo que nos dará una información importante respecto a la resolución del control del motor Diesel.

Para ello calculemos una vuelta completa del motor, cuánto desplazamiento lineal produce y luego lo dividimos por el paso del motor para obtener la resolución deseada.

Las características más importantes para calcular el desplazamiento de la cremallera son los siguientes:

Característica	Nombre de la variable	Valor de la variable
Número de dientes del piñón	Z	15
Paso del piñón o distancia entre dientes	P	1mm

Para calcular el avance lineal L o avance de la cremallera se tiene que:

$$L = Z * P$$

Reemplazando con los valores de la tabla se obtiene que:

$$L = 15mm * 1mm = 15mm$$

Es decir el avance de la cremallera dada una vuelta completa de motor es de 15mm.

Ahora, según la ficha técnica del motor NEMA 17, el ángulo de paso del motor θ es de:

$$\theta = 1.8^\circ$$

Es decir, el motor puede dar:

$$\frac{360^\circ}{1.8^\circ} = 200 \text{ pasos por vuelta de motor}$$

Entonces si 15mm lineales son 200 pasos de motor, entonces un solo paso de motor equivale a:

$$200 \text{ pasos} * X = 15mm * 1 \text{ paso}$$

Despejando X:

$$X = 0.075 \text{ mm}$$

Desplazamiento lineal de un solo paso de motor.

Esto quiere decir que se puede hacer un control casi en continuo y que podemos usar esta configuración motor-piñón-cremallera para esta aplicación.

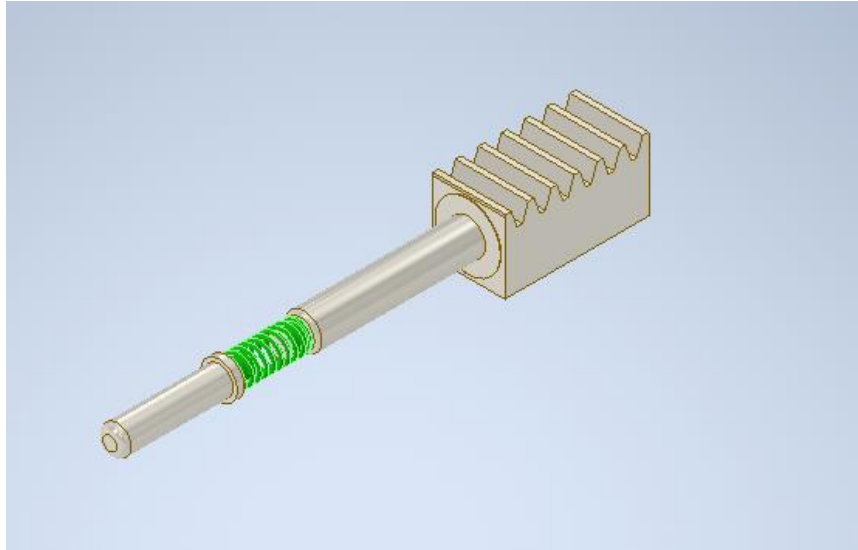


Ilustración 14 Cremallera de accionamiento de leva de aceleración.

4. Buje de Soporte: La cremallera se soporta mediante un buje especial. Este buje es un tornillo M10 de 30 mm de longitud con una rosca de 1.5 mm y una perforación central de 5 mm para permitir el paso del eje.

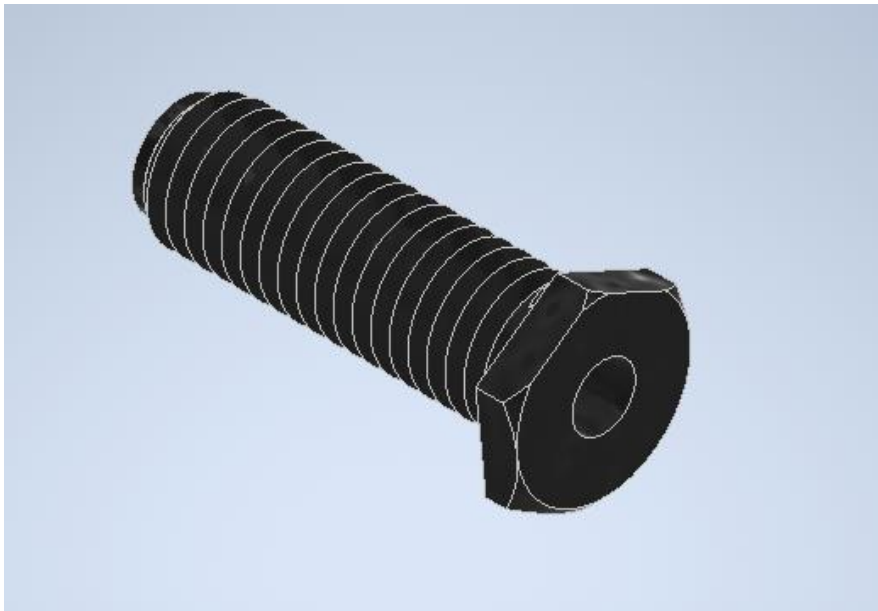


Ilustración 15 Buje de soporte del mecanismo de cremallera de accionamiento de la leva de aceleración.

5. Ensamble final del mecanismo para el control de las RPM del motor diesel de la planta electrica:

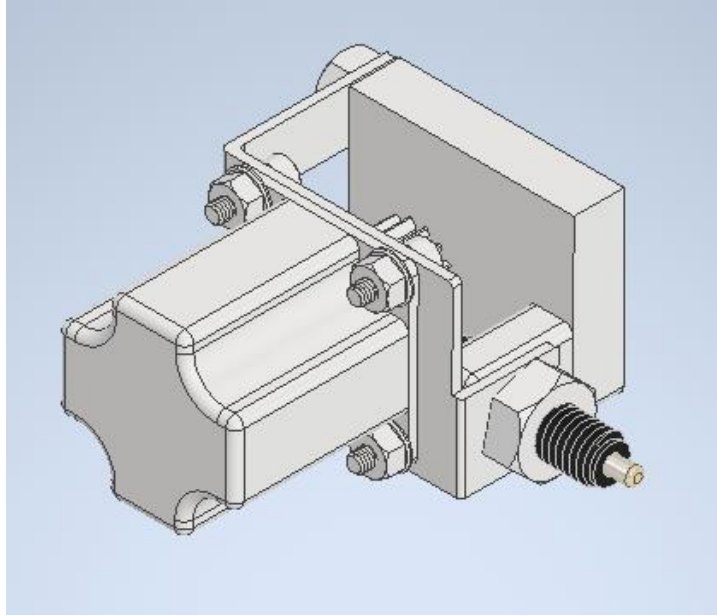


Ilustración 16 Vista lateral Ensamble mecanismo de control de RPM.

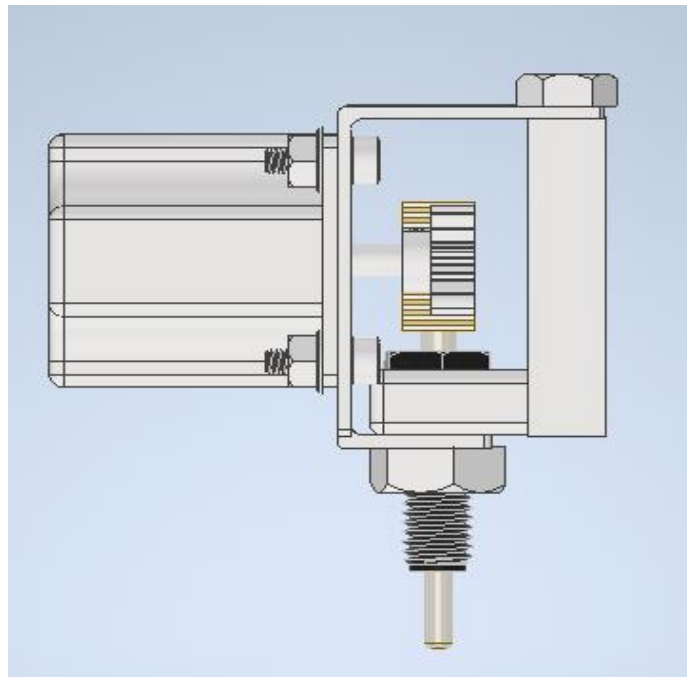


Ilustración 17 Vista superior Ensamble mecanismo de control RPM.

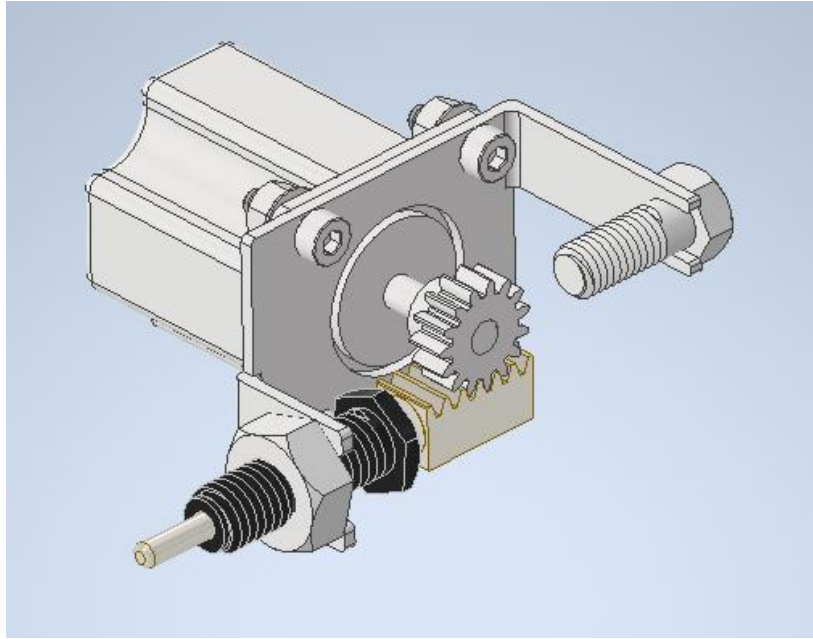


Ilustración 18 Vista frontal Ensamble mecanismo control RPM.

6.2. Segunda Etapa: Fabricación de piezas y ensamble de mecanismo.

6.2.1 Fabricación Engranaje Conductor.

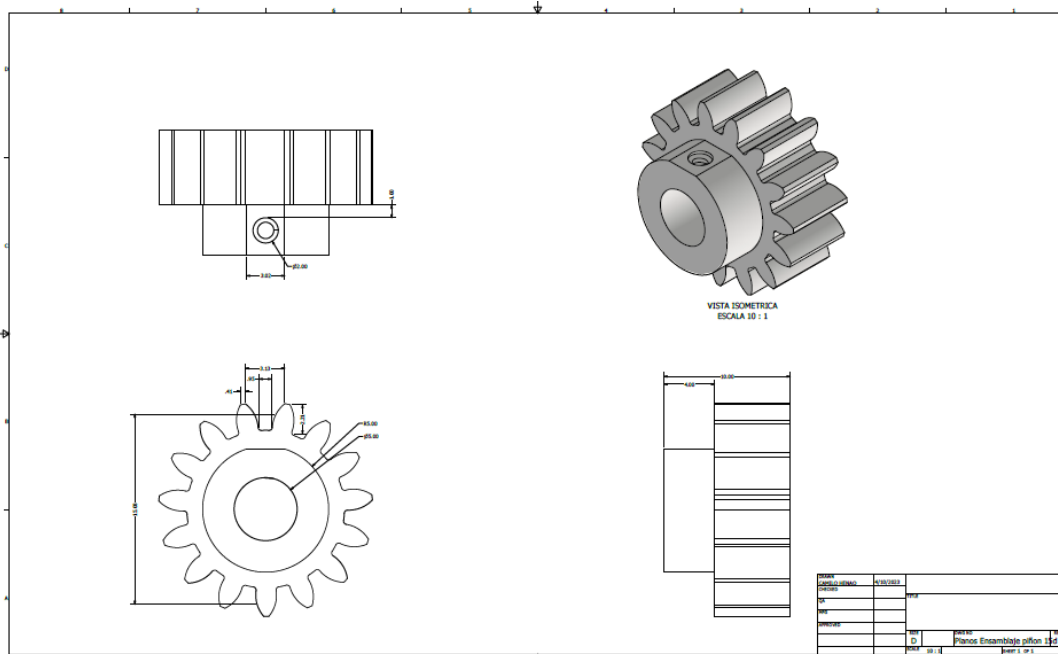


Ilustración 19 Plano de fabricación Engranaje Conductor

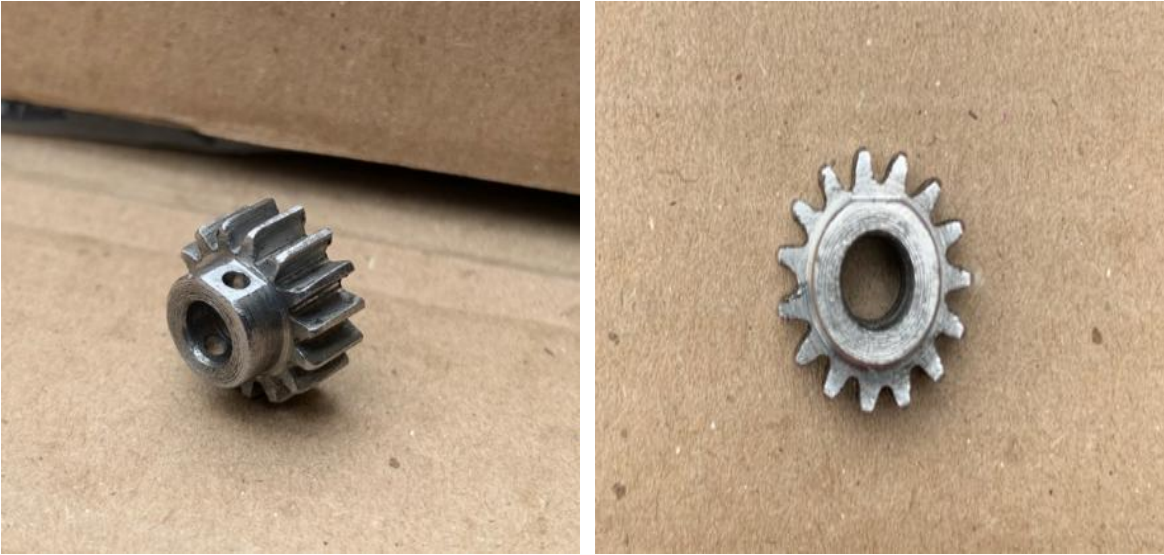


Ilustración 20 Engranaje conductor después de mecanizado.

6.2.2 Fabricación Punzón cremallera.

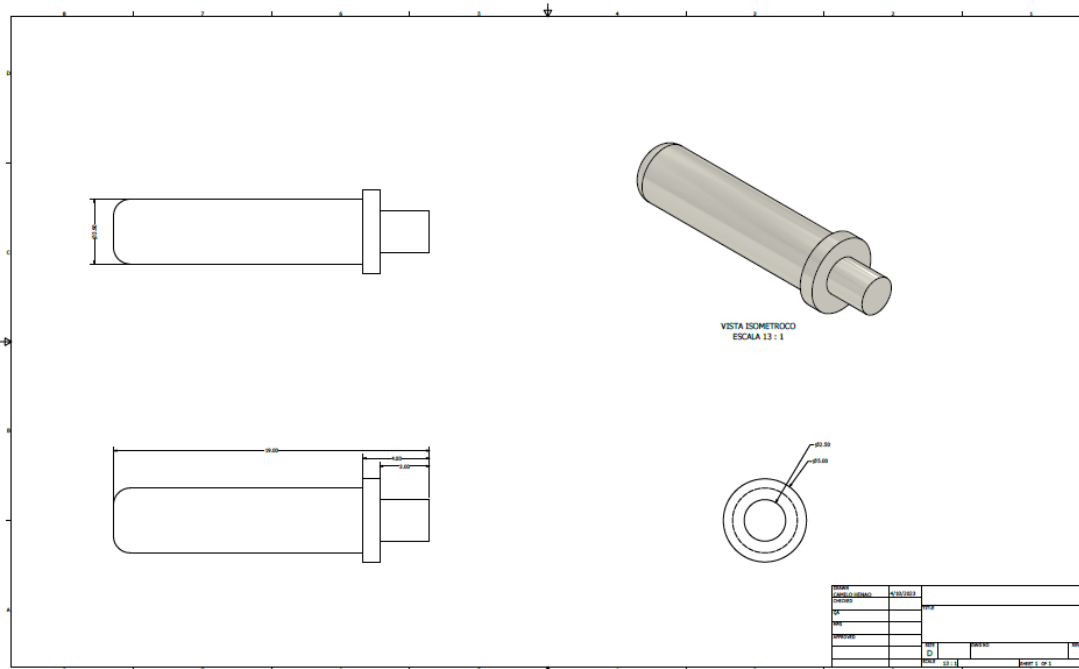


Ilustración 21 Plano de fabricación punzón cremallera.



Ilustración 22 Punzón cremallera después de mecanizado.

6.2.3 Fabricación Cremallera.

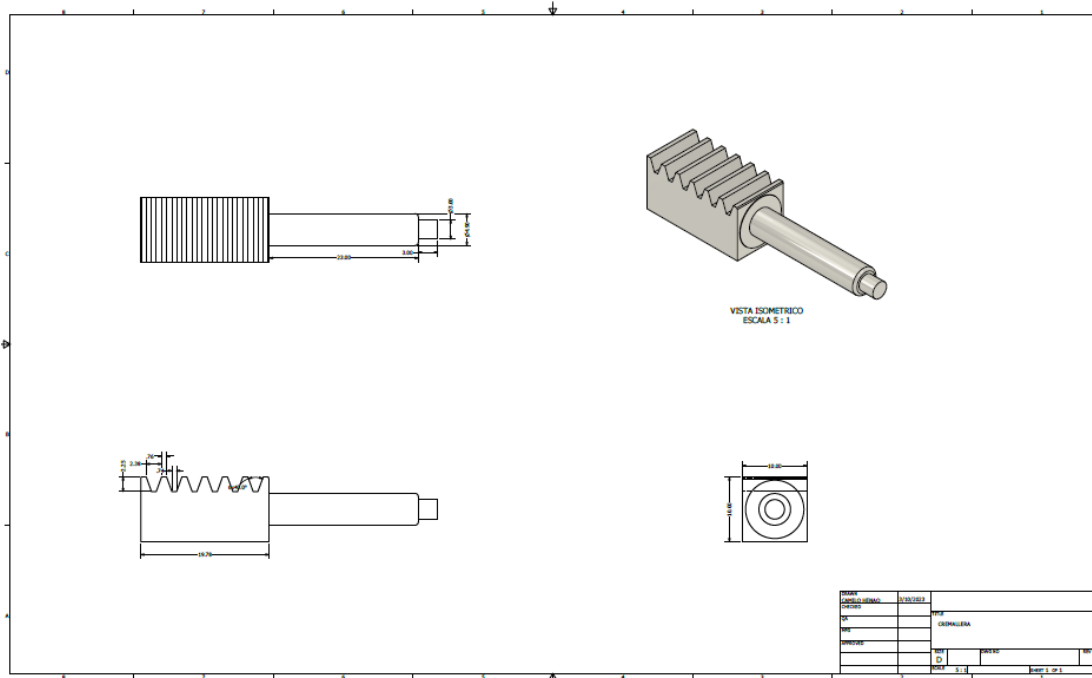


Ilustración 23 Plano de fabricación Cremallera.



Ilustración 24 Cremallera después de mecanizado.

6.2.4 Fabricación Base motor paso a paso.

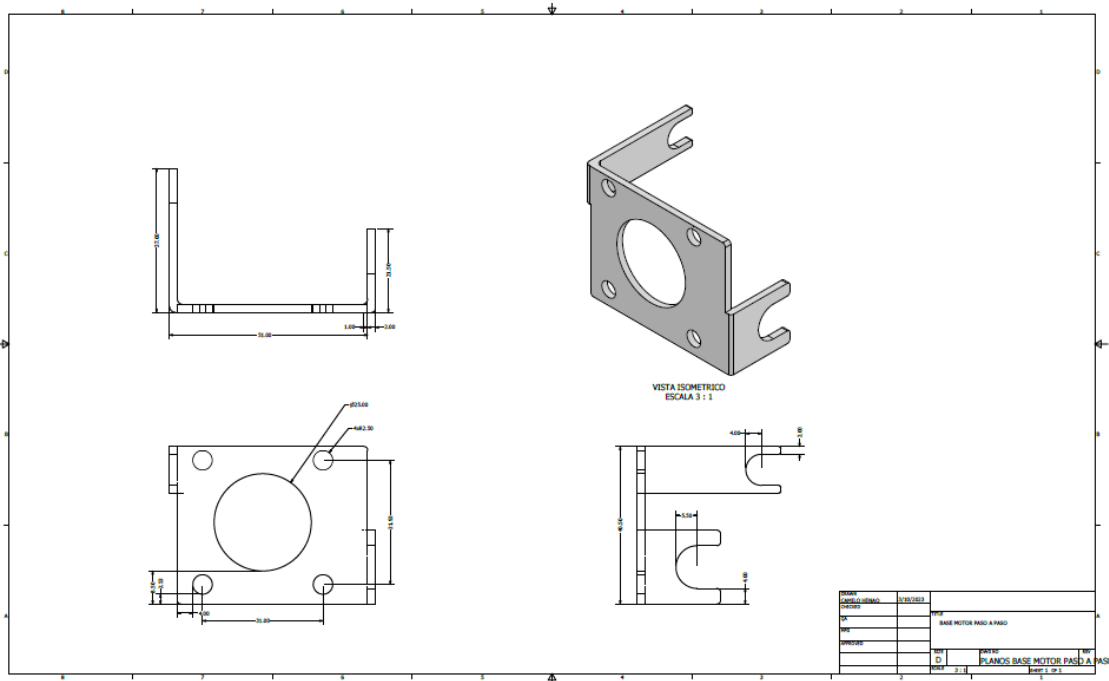
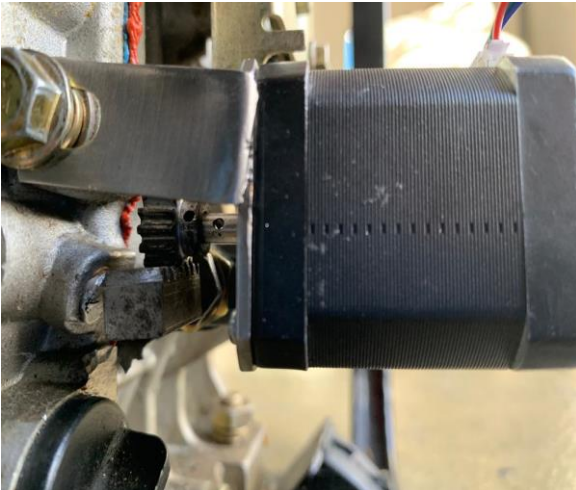


Ilustración 25 Plano de fabricación base motor paso a paso.



Ilustración 28 Buje pasante después de mecanizado.

6.2.6 Ensamble de mecanismo de control.



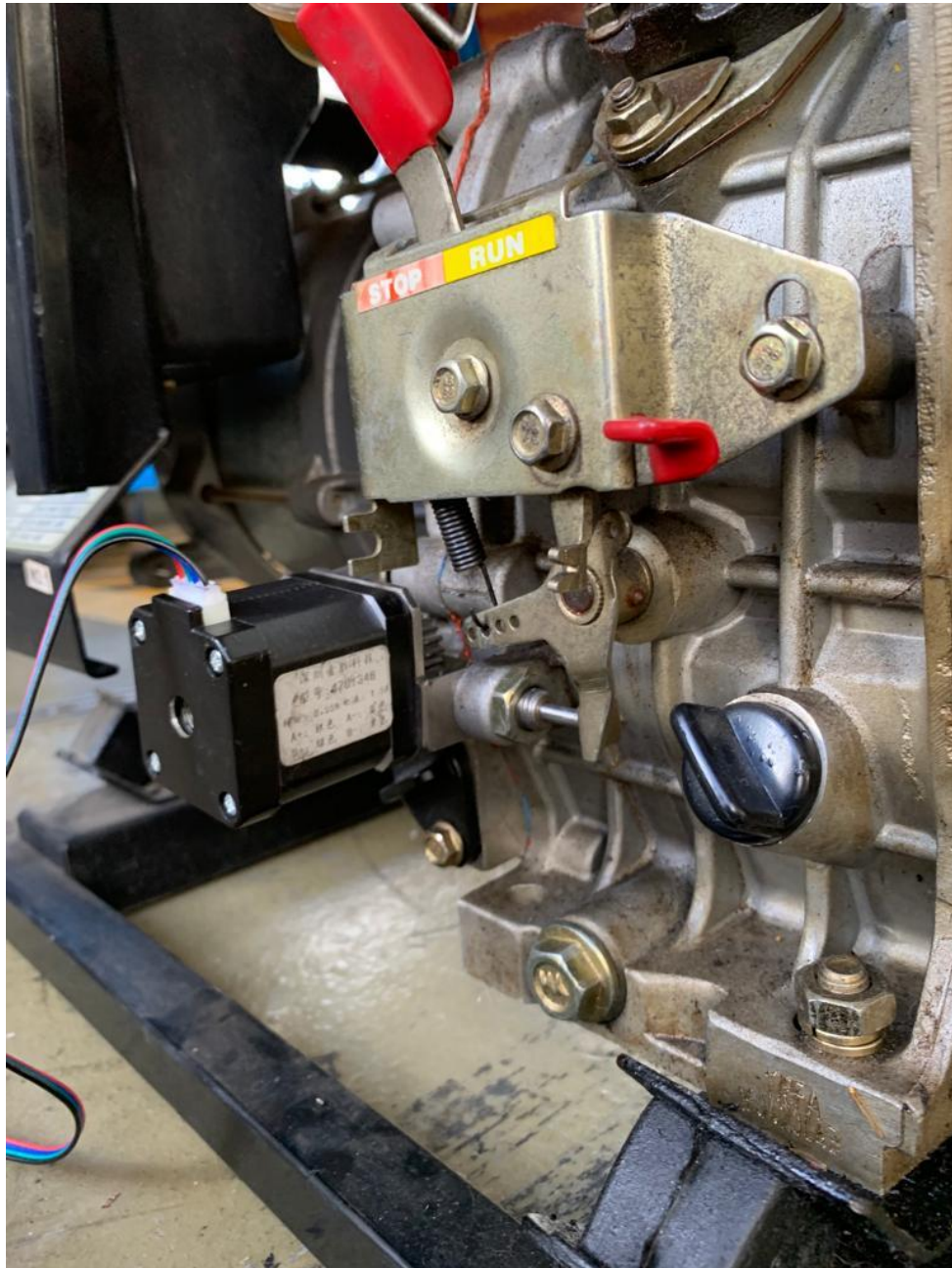



Ilustración 29 Ensamble final de dispositivo para el control de RPM en planta eléctrica.

6.3. Tercera Etapa: Desarrollo de sistema de control y automatización.

7. Presupuesto de desarrollo e implementación.

			PRESUPUESTO DE IMPLEMENTACIÓN MECANISMO PARA EL CONTROL DE LAS RPM DEL BANCO DE INVESTIGACIÓN EN MOTORES ENCENDIDOS POR COMPRESIÓN.			
ITEM	ETAPA	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	1	Calculo y diseño de componentes mecanicos de dispositivo para el control de las RPM en motores encendidos por compresion.	56	Hr	\$ 12500.0	\$ 700000.0
2	2	Motor paso a paso NEMA 17	1	Und	\$ 104200.0	\$ 104200.0
3		Engranaje	1	Und	\$ 120000.0	\$ 120000.0
4		Cremallera	1	Und	\$ 100000.0	\$ 100000.0
5		Base de motor	1	Und	\$ 50000.0	\$ 50000.0
6		Buje pasante	1	Und	\$ 45000.0	\$ 45000.0
7		Punzon cremallera	1	Und	\$ 30000.0	\$ 30000.0
8		Muelle	1	Und	\$ 1500.0	\$ 1500.0
9		Pin Cilindrico	1	Und	\$ 500.0	\$ 500.0
10		Tuerca buje pasante	1	Und	\$ 1500.0	\$ 1500.0
11	Tornillos sujecion motor	4	Und	\$ 500.0	\$ 2000.0	
12	3	Desarrollo de sistema de control y automatizacion de dispositivo de control de RPM en motores de encendido por compresion	40	Hr	\$ 13500.0	\$ 540000.0
OBSERVACIONES: El presupuesto aproximado para el desarrollo e implementacion de este dispositivo de control de RPM para motoresde encendido por compresion es de DOS MILLONES DIECISEIS MIL SEISCIENTOS NOVENTA					SUBTOTAL	\$ 1694700.0
					IVA	\$ 321993.0
					TOTAL	\$ 2016693.0

8. Tabla de Ilustraciones.

Ilustración 1 Puntos de sujeción para base de motor paso a paso.	9
Ilustración 2 Distancias puntos de sujeción para base de motor paso a paso.	10
Ilustración 3 Desplazamiento leva de aceleración.....	11
Ilustración 4 Longitud máxima de desplazamiento leva de aceleración.	11
Ilustración 5 Tornillo de ajuste manual de RPM motor a compresión.....	12
Ilustración 6 Dimensiones de tornillo de ajuste manual RPM motor a compresión.	12
Ilustración 7 Muelle de posicionamiento y leva de aceleración.	13
Ilustración 8 Carga a la cual fue sometido el dinamómetro para vencer el muelle de posicionamiento de leva de aceleración.....	14
Ilustración 9 Mecanismo de accionamiento leva de aceleración (engranaje- cremallera-leva-muelle).....	15
Ilustración 10 Motor paso a paso NEMA 17.	18
Ilustración 11 Plano y dimensiones motor paso a paso NEMA 17.	19
Ilustración 12 Base para motor paso a paso NEMA 17.....	19
Ilustración 13 Engranaje de acople eje motor paso a paso NEMA 17.....	21
Ilustración 14 Cremallera de accionamiento de leva de aceleración.....	23
Ilustración 15 Buje de soporte del mecanismo de cremallera de accionamiento de la leva de aceleración.	23
Ilustración 16 Vista lateral Ensamble mecanismo de control de RPM.....	24
Ilustración 17 Vista superior Ensamble mecanismo de control RPM.	24
Ilustración 18 Vista frontal Ensamble mecanismo control RPM.	25
Ilustración 19 Plano de fabricación Engranaje Conductor.....	25
Ilustración 20 Engranaje conductor después de mecanizado.	26
Ilustración 21 Plano de fabricación punzón cremallera.	26
Ilustración 22 Punzón cremallera después de mecanizado.	27
Ilustración 23 Plano de fabricación Cremallera.	27
Ilustración 24 Cremallera después de mecanizado.....	28
Ilustración 25 Plano de fabricación base motor paso a paso.	28
Ilustración 26 Base motor paso a paso después de mecanizado.....	29
Ilustración 27 Plano de fabricación buje pasante.	29
Ilustración 28 Buje pasante después de mecanizado.	30
Ilustración 29 Ensamble final de dispositivo para el control de RPM en planta eléctrica.....	31

9. Bibliografía

- Broomhead, T., Manzie, C., Hield, P., Shekhar, R., & Brear, M. (2017). Economic Model Predictive Control and Applications for Diesel Generators. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 25(2), 388–400. <https://doi.org/10.1109/TCST.2016.2574758>
- Li, X., Ahmed, Q., & Rizzoni, G. (2017). Nonlinear robust control of marine diesel engine. *Journal of Marine Engineering and Technology*, 16(1), 1–10. <https://doi.org/10.1080/20464177.2016.1254455>
- Lynch, C., Hagrass, H., & Callaghan, V. (2006). Using Uncertainty Bounds in the Design of an Embedded Real-Time Type-2 Neuro-Fuzzy Speed Controller for Marine Diesel Engines. In *2006 IEEE International Conference on Fuzzy Systems* (pp. 1446–1453). <https://doi.org/10.1109/FUZZY.2006.1681899>
- Source, G. (n.d.). Diesel Engine Generator Governors. Retrieved February 10, 2022, from https://www.generatorsource.com/Diesel_Engine_Generator_Governors.aspx
- Wang, R., Li, X., Zhang, J., Zhang, J., Li, W., Liu, Y., ... Ma, X. (2018). Speed Control for a Marine Diesel Engine Based on the Combined Linear-Nonlinear Active Disturbance Rejection Control. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/7641862>
- Xiros, N. I. (2004). Pid marine engine speed regulation under full load conditions for sensitivity h^∞ -norm specifications against propeller disturbance. *Journal of Marine Engineering and Technology*, 3(2), 3–11. <https://doi.org/10.1080/20464177.2004.11020179>
- Yuan, Y., Zhang, M., Chen, Y., & Mao, X. (2018). Multi-sliding surface control for the speed regulation system of ship diesel engines. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 40(1), 22–34. <https://doi.org/10.1177/0142331216649022>