

DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN ELECTRÓNICA PARA EL
SISTEMA LUBRICACIÓN DE UN MOTOR

JORGE ARMANDO ARBOLEDA ARBOLEDA
JORGE HERNÁN CULMA HURTADO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
PEREIRA
2014

DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN ELECTRÓNICA PARA EL
SISTEMA LUBRICACIÓN DE UN MOTOR

JORGE ARMANDO ARBOLEDA ARBOLEDA
JORGE HERNÁN CULMA HURTADO

Trabajo presentado para optar al título de Ingeniero en Mecatrónica

Director, Ingeniero Carlos Romero

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
PEREIRA
2014

NOTA DE ACEPTACIÓN

Calificación

Jurado Principal

Jurado Secundario

Pereira – Risaralda, Octubre de 2014

AGRADECIMIENTOS

Ante todo darle gracias a DIOS por regalarnos la vida y la oportunidad de terminar este proyecto para optar al título de Ingeniero Mecatrónico, porque es él quien nos regaló la sabiduría, la fortaleza y nos prestó la vida para terminar esta meta, que ha sido de muchos sacrificios, pero que gracias a tí padre celestial, ya se están viendo los resultados y las buenas oportunidades que van a llegar a nuestras vidas

A nuestros, padres, hermanos, novia, esposa, hija y demás familiares, expresarle nuestros deseos de gratitud por ese apoyo incondicional y por todos los buenos deseos que nos daban día tras día para que saliéramos adelante y se hiciera realidad este sueño. También Darle gracias a nuestros profesores por sus enseñanzas y al Ingeniero Carlos Romero por habernos adoptado en este proyecto, por toda la colaboración y el apoyo que nos dio durante la realización y ejecución del proyecto. Además, para todos aquellos que estuvieron presentes en este proyecto y que aportaron su granito de arena, un DIOS les pague por ese granito de arena para la realización de este gran paso en nuestras vidas y darles nuestros más sinceros agradecimientos...

CONTENIDO

	pág.
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABLAS	13
RESUMEN	14
INTRODUCCIÓN	15
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	16
OBJETIVOS	17
ESTADO DEL ARTE	18
MARCO TEÓRICO	20
1.1 SISTEMA DE LUBRICACIÓN	20
1.2 SISTEMA DE VENTILACIÓN DEL CÁRTER.	22
1.3 CONTROL DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS VÁLVULAS (VTC)	22
1.4 CÁLCULO DE LA BOMBA DE LUBRICACIÓN	27
1.5 BOMBA DE ACEITE	28
1.6 FUNCIONAMIENTO CONVENCIONAL DE LA BOMBA DE ACEITE.	32
1.7 TIPOS DE BOMBAS CONVENCIONALES	36
1.7.1 <i>Bombas de engranajes.</i>	37
1.7.2 <i>Bombas de engranajes internos.</i>	39
1.7.3 <i>Bombas de paletas.</i>	40
1.8 FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE ACEITE ELÉCTRICA	41

1.9 SISTEMA DE LUBRICACIÓN CONVENCIONAL.	43
1.10 ENFOQUE DE LA BOMBA LUBRICACIÓN ELÉCTRICA.	46
1.11 BENEFICIOS DE LOS SISTEMAS DE BOMBAS ELÉCTRICAS.	47
1.12 FILTRADO DEL ACEITE.	48
1.13 REGULACIÓN DE LA PRESIÓN DE ACEITE.	50
1.14 RADIADOR DE ACEITE.	51
1.15 CÁLCULO DEL COJINETE DE DESLIZAMIENTO.	52
1.16.1 <i>Tipos de lubricación y de cojinetes.</i>	64
1.16.2 <i>Condiciones de operación y modos de falla de los cojinetes de deslizamiento</i>	65
1.16.3 <i>Regímenes de fricción y criterios de cálculo.</i>	66
1.17 TEORÍA HIDRODINÁMICA. CONDICIONES PRINCIPALES PARA LA FORMACIÓN DEL RÉGIMEN DE FRICCIÓN LÍQUIDA	67
1.17.1 <i>ESPECIFICACIONES, VARIABLES Y CARGAS</i>	70
1.17.2 <i>Cálculo y diseño de los cojinetes.</i>	74
1.17.3 <i>Los cojinetes en los motores de combustión interna</i>	77
1.17.4 <i>Materiales para cojinetes</i>	80
2. DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN ELECTRÓNICA AL SISTEMA DE LUBRICACIÓN DEL MOTOR NISSAN SENTRA B14	83
3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN ELECTRÓNICA EN EL SISTEMA DE LUBRICACIÓN	87
3.1 SENSOR DE PRESIÓN DE ACEITE.	87

3.2 TARJETA DE DESARROLLO ARDUINO UNO.	89
3.3 PANTALLA TÁCTIL	100
3.4 PROGRAMA PARA LA PANTALLA TÁCTIL	102
3.5 PROGRAMA ARDUINO UNO.	109
3.5.1 <i>DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DEL ARDUINO</i>	111
3.5.2 <i>Esquema de conexión eléctrica Arduino uno.</i>	116
4. RESULTADOS	117
5. CONCLUSIONES	122
6. BIBLIOGRAFÍA	123
7. ANEXOS	124

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: VISTA EN CORTE LONGITUDINAL DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN DEL MOTOR A GASOLINA VAZ 2105	20
FIGURA 2: VISTA EN CORTE TRANSVERSAL DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DEL CÁRTER DEL MOTOR A GASOLINA VAZ 2105.	21
FIGURA 3: LÍNEA DE SEÑALES DE ENTRADA/SALIDA EN EL SISTEMA DE VÁLVULAS VARIABLES NISSAN.	23
FIGURA 4: FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE VÁLVULAS VARIABLES DE NISSAN.	25
FIGURA 5: SISTEMA DE LUBRICACIÓN DEL MOTOR NISSAN SENTRA B14.	27
FIGURA 6: BOMBA DE ACEITE NISSAN SENTRA.	30
FIGURA 7: VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN DE ACEITE.	31
FIGURA 8: HOLGURA DE PIEZAS DE LA BOMBA DE ACEITE.	32
FIGURA 9: EFECTO DEL ALIVIO DE PRESIÓN Y LA VELOCIDAD EN LA PRESIÓN DE SALIDA DE LA BOMBA.	33
FIGURA 10: EL EFECTO DE LA DESCARGA DE PRESIÓN EN EL FLUJO DE ACEITE NETO PARA EL MOTOR COMO UNA FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE LA BOMBA.	34
FIGURA 11: CONSUMO DE ENERGÍA DE LA BOMBA DE ACEITE, MEDIDA EN EL EJE DE ENTRADA A VELOCIDAD Y RESTRICCIÓN CONSTANTE.	35
FIGURA 12: AHORRO POTENCIAL DE ENERGÍA PARA UN SISTEMA DE LUBRICACIÓN CONTROLABLE MEDIANTE LA ELIMINACIÓN DE LOS TRABAJOS PERDIDOS EN EL SISTEMA DE ALIVIO DE PRESIÓN.	36
FIGURA 13: CARACTERÍSTICAS DE LA PRESIÓN DE ACEITE DEL MOTOR.	37

FIGURA 14: ILUSTRACIÓN DE UNA BOMBA DE ACEITE DE ENGRANAJES EXTERNOS Y LOS PRINCIPIOS OPERATIVOS ASOCIADOS CON LA BOMBA.	38
FIGURA 15: ILUSTRACIÓN DE UN ENGRANAJE INTERNO TÍPICO O CONFIGURACIÓN DE LA BOMBA DE ACEITE "GEROTOR" Y LA OPERACIÓN DEL SISTEMA.	39
FIGURA 16: ILUSTRACIÓN DE UNA SECCIÓN DE LA BOMBA DE PALETAS Y EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.	41
FIGURA 17: ESQUEMA DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN DE UN MOTOR DIESEL.	42
FIGURA 18: COMPONENTES DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN CONVENCIONAL.	43
FIGURA 19: MUESTRA LA SENSIBILIDAD DE LA VISCOSIDAD DEL ACEITE CON EL CAMBIO DE TEMPERATURA.	44
FIGURA 20: EFECTO DE LA TEMPERATURA DEL ACEITE DEL MOTOR EN LA PRESIÓN DE SALIDA DE LA BOMBA DE ACEITE PARA UNA VELOCIDAD DE BOMBA Y RESTRICCIÓN FIJAS.	45
FIGURA 21: DIAGRAMA SISTEMA DE LUBRICACIÓN NISSAN SENTRA B14.	46
FIGURA 22: ESQUEMA DE LOS ACCIONAMIENTOS ACTIVO (A) Y REACTIVO DE LA CENTRIFUGADORA.	49
FIGURA 23: SISTEMA DE LUBRICACIÓN CON BOMBA DE DOS SECCIONES, CENTRIFUGADORA Y RADIADOR DE ACEITE.	50
FIGURA 24: ÁRBOL Y COJINETE.	54
FIGURA 25: DEPENDENCIA DE LA EXCENRICIDAD RELATIVA χ ES FUNCIÓN DEL COEFICIENTE DE CARGA ϕ DEL COJINETE: A) VALORES MEDIOS B) VALORES MAYORES	56

FIGURA 26: COEFICIENTE B EN FUNCIÓN DE LA EXCENRICIDAD RELATIVA X: A. VALORES MEDIOS B. VALORES MAYORES.	58
FIGURA 27: RELACIÓN DE LOS COEFICIENTES ξ Y χ .	59
FIGURA 28: DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA DEL ACEITE.	63
FIGURA 29: COMPATIBILIDADES TRIBOLÓGICAS DE LOS METALES.	66
FIGURA 30: PRINCIPIO DE FORMACIÓN DE LA CUÑA HIDRODINÁMICA EN LOS COJINETES PLANOS	68
FIGURA 31: ESQUEMA DE CÁLCULO DE COJINETE SIMPLE	68
FIGURA 32: PRESIÓN DE LA CAPA LUBRICANTE A LO LARGO DEL EJE DEL COJINETE.	69
FIGURA 33: ESPESOR RELATIVO DE LA CAPA LUBRICANTE EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE SOMMERFELD	71
FIGURA 34. MAGNITUD INVERSA AL NÚMERO DE SOMMERFELD COMO FUNCIÓN DE LA EXCENRICIDAD RELATIVA DEL COJINETE PARA DIFERENTES VALORES DE LA RELACIÓN L/D	71
FIGURA 35: EJEMPLOS DE REFERENCIA DE VISCOSIDADES DE ACEITES A DIFERENTES TEMPERATURAS.	72
FIGURA 36: EL COEFICIENTE DE FRICCIÓN F COMO FUNCIÓN DEL FACTOR CARACTERÍSTICO DEL COJINETE λ .	73
FIGURA 37: VISCOSIDAD MÍNIMA REQUERIDA DEL ACEITE COMO FUNCIÓN DE LA PRESIÓN ESPECÍFICA Y LA VELOCIDAD DEL MUÑÓN.	76
FIGURA 38: PLANOS (1 Y 2) TECNOLÓGICOS DEL BLOQUE DE UN MOTOR EN V.	78
FIGURA 39: SISTEMA DE LUBRICACIÓN NISSAN SENTRA B14	84

FIGURA 40: MOTOR NISSAN SENTRA.	85
FIGURA 41: CONEXIÓN SENSOR DE PRESIÓN DE ACEITE.	88
FIGURA 42.1: SENSOR DE PRESIÓN DE ACEITE.	88
FIGURA 43: MEDIDA APROXIMADA DE PRESIÓN DE ACEITE Vs. RPM NISSAN B-14	89
FIGURA 44: COMPONENTES DEL MICROCONTROLADOR ARDUINO.	93
FIGURA 45: ESQUEMA ELÉCTRICO ARDUINO UNO.	94
FIGURA 46: MONTAJE MICROCONTROLADOR ARDUINO UNO	94
FIGURA 47: RELEVADORES DE VOLTAJE.	95
FIGURA 48: FUENTES DE PODER.	96
FIGURA 49: CAJA DE FUSIBLES.	97
FIGURA 50: COMPUTADORA DE NISSAN SENTRA.	98
FIGURA 51: ESQUEMA ELÉCTRICO DEL NISSAN SENTRA B14.	99
FIGURA 52: CIRCUITO INTEGRADO DE PANTALLA TÁCTIL.	101
FIGURA 53: PANTALLA TÁCTIL.	101
FIGURA 54: PROGRAMACIÓN DE LA PANTALLA TÁCTIL.	102
FIGURA 55: CAJA METÁLICA CON DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS.	103
FIGURA 56: TACÓMETRO DE REVOLUCIONES	104
FIGURA 57: GRÁFICO DIGITAL DE MEDICIÓN DE PRESIÓN DE ACEITE.	105
FIGURA 58: MENÚ PRINCIPAL.	106
FIGURA 59: ALARMAS DE PROTECCIÓN DEL MOTOR, POR LUBRICACIÓN O TEMPERATURA	107
FIGURA 60: SIMULACIÓN DEL CAMBIO DE VELOCIDADES.	107
FIGURA 61: VISTA GENERAL DE LOS DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS EN EL SISTEMA DIDÁCTICO DEL MOTOR NISSAN SENTRA	108

FIGURA 62: PANTALLAZO DE LA PROGRAMACIÓN DEL ARDUINO	110
FIGURA 63: PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR ARDUINO UNO.	111
FIGURA 64: ESQUEMA DE CONEXIÓN MICROCONTROLADOR ARDUINO UNO.	116
FIGURA 65. PRESIÓN DE ACEITE SIN ENCENDER EL MOTOR.	117
FIGURA 66: MEDICIÓN DE PRESIÓN DE ACEITE EN EL MANÓMETRO SIN ENCENDER EL MOTOR.	118
FIGURA 67: PRESIÓN DE ACEITE A 4,3 BAR VISUALIZADA EN LA PANTALLA TÁCTIL.	119
FIGURA 68: PRESIÓN DE ACEITE A 3,7 BAR EN 1600 RPM.	120
FIGURA 69: PRESIÓN DE ACEITE A UN RÉGIMEN DE 650 RPM EN 1,4 BAR	121

LISTA DE TABLAS

TABLA 1: VARIABLES PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE AVANCE VALVULAR.	24
TABLA 2: HOLGURAS DE VÁLVULAS NISSAN SENTRA.	26
TABLA 3: CAPACIDAD DE ACEITE DE ALGUNOS MOTORES.	29
TABLA 4: MEDIDAS NOMINALES DE LOS MUÑONES DE LOS ÁRBOLES CIGÜEÑALES Y LOS APOYOS DE LOS COJINETES.	53
TABLA 5: VALORES DE LAS PRESIONES CONVENCIONALES MEDIA Y MÁXIMA SOBRE EL MUÑÓN DEL ÁRBOL CIGÜEÑAL.	55
TABLA 6: VISCOSIDAD DE LOS ACEITES A 100°C.	57
TABLA 7: HUELGOS DIAMETRALES EN LOS COJINETES DE BIELA Y DE BANCADA.	61
TABLA 8. VALORES PERMISIBLES DE VELOCIDADES, CARGAS ESPECÍFICAS Y SUS PRODUCTOS, PARA ALGUNOS MATERIALES COMUNES EN LA FABRICACIÓN DE COJINETES	75
TABLA 9: TABLA DE EQUIVALENCIAS DE ALGUNAS VISCOSIDADES.	77
TABLA 10: CARACTERÍSTICAS ARDUINO.	90

RESUMEN

En este proyecto se realizó la implementación de un sistema de protección al sistema de lubricación de un motor de combustión interna, esto con el fin de darle una alternativa al usuario que tiene un vehículo de gama baja y que no tiene como observar los datos de su sistema de lubricación: exponiéndolo a posibles fallas mecánicas y sobrecostos en las reparaciones, que pueden ser prevenidas por un sistema que transmita en un intervalo de tiempo los datos de la presión del aceite a una pantalla táctil que pueda ver el usuario.

En el sistema de lubricación los datos del sistema de lubricación son adquiridos por un sensor que está en el bloque del motor y que posteriormente envía la información a una pantalla táctil que le muestra al usuario el comportamiento del sistema de lubricación del motor de su vehículo, el conductor va a estar enterado del comportamiento de las variables de operación internas del motor. En el momento que la información llega del sensor, ésta es procesada por un microcontrolador que se encarga de verificar si las variables del sistema están dentro de los rangos establecidos, sino se presenta ninguna novedad en los datos, el sistema sigue funcionando normalmente; pero en el momento en que la presión del sistema de lubricación llegue a fallar o descender, inmediatamente será generada la alarma. Esta alarma será una alerta al usuario indicando que posiblemente va a tener un daño grave en su vehículo; y si la presión sigue descendiendo a niveles muy bajos, el microcontrolador enviará una señal al relé de la bomba de combustible para que se apague el motor.

INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios los motores de combustión interna siempre han estado complementados por varios sistemas auxiliares que han jugado roles muy importantes en su rendimiento. Las altas temperaturas que genera la combustión de los combustibles pueden producir daños irreversibles en su estructura mecánica y el desgaste excesivo de las piezas mecánicas puede generar ruidos y problemas de rotura en cada conjunto mecánico y el frenado del motor.

Uno de los sistemas más importantes en la estructura mecánica del motor de combustión interna es el sistema de lubricación, el cual, limita el desgaste del conjunto mecánico del motor y regula la temperatura de las piezas mecánicas, reduciendo la fricción de los metales.

El sistema de lubricación desde su nacimiento hasta la actualidad siempre ha tenido los mismos principios y funcionalidades, siempre ha sido un sistema mecánico que ha regulado una presión de aceite para limitar el desgaste en el conjunto de piezas mecánicas del motor; pero con la aparición de la electrónica se ha tratado de mejorar cada sistema.

Actualmente se venden automóviles de línea económica que vienen equipados sin sistemas de seguridad en los motores, el sistema de temperatura es monitoreado a través de un indicador análogo y el sistema de lubricación es monitoreado por un sensor que envía una señal a un testigo luminoso, que cuando se prende alerta que se debe de apagar el motor del vehículo. Debido a este inconveniente mecánico en los motores de combustión interna, vamos a implementar un sistema de protección electrónico de lubricación en un motor de un Nissan Sentra, para que en el momento en que el motor vaya a tener problemas por pérdida de lubricación, éste le indique al usuario las variables del sistema y, en el momento que la presión del sistema baje del valor establecido, el microcontrolador inmediatamente enviará una señal al relé de la bomba de combustible para que apague el motor, para que no se vayan a producir problemas irreparables en el conjunto motor. Los datos del sistema se van a enviar a una pantalla digital que va a mostrar los valores generados por el sistema.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Desde hace muchos años, las reparaciones de los motores de combustión interna por fallas en los sistemas de lubricación han sido muy reiterativas y de mucho costo para los propietarios de los vehículos, ya que el sistema no cuenta con instrumentos electrónicos que controlen las variables involucradas, debido a que dichos dispositivos son principalmente mecánicos y no se tienen instrumentos de medición que estén informando a tiempo la presión del sistema de lubricación, para estar preparados y ante una eventual pérdida de lubricante como en el caso probable de la ruptura de una manguera o un tubo de circulación de aceite. Se requiere de un sistema electrónico que informe la variación de la presión de aceite y no permita que el sistema se quede sin aceite de motor, evitando que se ocasione un frenado en el tren móvil del motor.

Como este tipo de fallas son recurrentes en los talleres y en las rectificadoras, lo cual le ha significado a los usuarios de vehículos de gama media- baja costos que han sido muy altos en las reparaciones y mantenimientos de sus vehículos, decidimos implementar un sistema de protección electrónico en un sistema de lubricación de un motor de combustión interna, con el fin de que el motor del vehículo sea monitoreado por un microcontrolador que se encargue de verificar en muy corto tiempo los datos del sistema de lubricación y ante cualquier anomalía envíe una señal de alerta al usuario del vehículo y tome la decisión de parar, y si el daño persiste el microcontrolador enviará una señal al relé de la bomba de combustible para que se apague el motor.

Al tener este sistema automatizado y controlado se va a ofrecer al usuario mayor tranquilidad en sus viajes y en la utilización de su vehículo, ofreciéndole un sistema a un precio muy económico, los niveles de reparación por problemas de lubricación se van a reducir y el cliente va a tener menos inconvenientes mecánicos y menos gastos económicos.

OBJETIVOS

Objetivo General.

Diseñar un sistema de protección electrónica para el sistema de lubricación de un motor a gasolina.

Objetivos Específicos

- Describir los sistemas de lubricación de los motores modernos y sus modos de fallos.
- Diseñar el sistema de protección electrónica de lubricación para un motor.
- Implementar el sistema de protección electrónica de lubricación en un motor de combustión interna.
- Evaluar el sistema de protección de lubricación en el motor de combustión interna Nissan Sentra.

ESTADO DEL ARTE

A través de la historia se han ejecutado miles de proyectos industriales que han causado gran impacto en la sociedad mejorando los sistemas de producción en el sector industrial, todo con el fin de suplir las necesidades de los seres humanos para tener un mejor estilo de vida. Esto ha sido posible por el desarrollo del sector automotriz que ha tenido una fuerza de crecimiento muy grande durante los últimos años, a través de ella, hoy en día se realiza el transporte de alimentos, minerales, combustibles, madera y de personas de un lugar a otro; lo cual significa que diariamente hay millones de motores que están trabajando bajo durísimas jornadas laborales y que pueden estar en riesgo de sufrir una avería.

El sistema de lubricación en los motores de combustión interna es uno de los puntos más críticos y de mayor cuidado de un motor, ya que a través de este sistema se realiza la lubricación de todas las piezas móviles y fijas para reducir desgaste excesivo por el contacto metal – metal. Además, el aceite del sistema de lubricación ayuda al refrigerante para tener un rango normal de temperatura que ayude a mantener refrigeradas todas las piezas y así estas no lleguen a concentrar puntos calientes en todo el sistema del motor, puntos que pueden generar una avería gravísima en la estructura y funcionalidad.

Las diferentes marcas de vehículos han mejorado progresivamente los sistemas de lubricación de sus motores para garantizar su fiabilidad bajo las más exigentes jornadas de trabajo; se han perfeccionado los enfriadores de aceite, los filtros, las válvulas de alivio de presión, las bombas de aceite, los ductos de lubricación internos en los motores de combustión interna y los medios que le advierten al usuario el estado de su sistema de lubricación, indicativos que en algunos casos, deben de ser leídos y comprendidos para determinar si su motor se encuentra bajo condiciones normales de trabajo o si se está generando una avería.

Hoy en día los vehículos de gama media - baja tienen sistemas de alertas muy básicos y en algunos casos aún siguen siendo de señales análogas que simplemente le generan una señal débil y de poca veracidad al usuario, lo cual ha llevado a que los usuarios tengan averías graves y de costosas reparaciones, pudiendo ser prevenidas por sistemas electrónicos que supervisen el sistema de lubricación del vehículo. Sólo los autos de gama alta ofrecen equipos completos que están supervisando en tiempo real todo el comportamiento del motor, cada uno de los sistemas y los está comparando constantemente con los datos suministrados por el fabricante al momento del ensamble. Cuando los datos están

fuera de los parámetros de referencia, la computadora envía señales de bloqueo al motor y al vehículo, generando una secuencia de acciones que ayudan a prevenir un daño más grave en el motor. Estos vehículos son muy costosos y sólo pueden ser adquiridos por usuarios que pueden suplir los constantes mantenimientos que un usuario de un automotor de gama baja no puede realizar.

A través del presente trabajo queremos implementar en un motor de un Nissan Sentra B14 de la Universidad Tecnológica de Pereira, un sistema que verificará algunas las variables del sistema de lubricación y estará enviando los datos a un sistema microcontrolado acompañado de una pantalla táctil para ser leídos por el usuario.

MARCO TEÓRICO

1.1 SISTEMA DE LUBRICACIÓN

Para explicar mejor un sistema de lubricación clásico puede seguirse el ilustrado en las figuras 1 y 2. La lubricación de las superficies en rozamiento en el motor, reduce la fricción y eleva el rendimiento mecánico del motor, disminuye el desgaste de las piezas rozantes; enfría las piezas del motor y evacúa los productos del desgaste de los pares. El sistema de lubricación garantiza, además, la limpieza del aceite circulante de las partículas mecánicas y otras partículas dañinas.

El sistema de lubricación de los motores es, generalmente, combinado: por salpique y por presión. Los apoyos de bancada y de biela, los apoyos del árbol de levas y del árbol de la bomba de aceite se lubrican a través de canales, bajo presión. El aceite que brota de los huelgos y el salpicado lubrica las paredes de los cilindros, el pistón con sus anillos, los bulones de los pistones en sus asientos, los apoyos de los balancines y también los impulsores y los balancines.

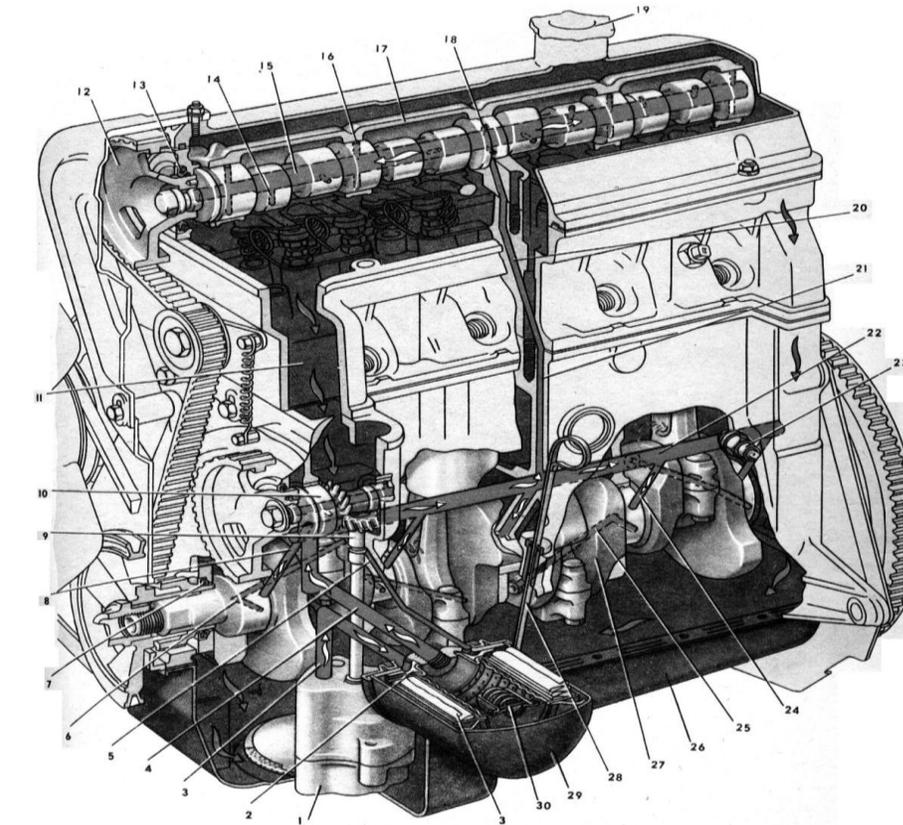


Figura 1: Vista en corte longitudinal del sistema de lubricación del motor a gasolina VAZ 2105

La circulación del aceite ocurre así: la bomba de aceite 1 accionada por el par de engranajes helicoidales, succiona el aceite del cárter 26 a través de un tamiz filtrador y lo manda por el canal 3 al filtro de flujo total. El aceite filtrado por el canal 4 en el bloque, llega al canal longitudinal mayor 22 (vía principal) y de allí por los canales 8 y 24, se suministra al soporte delantero del árbol accionador de la bomba de aceite, a los apoyos de la bancada del cigüeñal y el árbol distribuidor. En los casquetes de bancada se tienen orificios a través de los cuales, el aceite cae a las ranuras anulares de los cojinetes. De los canales, parte del aceite lubrica los cojinetes de bancada y otra parte, a través de los canales 6 y 25 taladrados en los muñones y caras del cigüeñal, llega a los muñones de biela; y de ellos a través de los orificios practicados en cada cabeza de biela, el chorro de aceite salpica el espejo del cilindro, en el momento en que coinciden los orificios del cojinete con el canal en el muñón de biela. Al cojinete trasero del árbol de accionamiento de la bomba de aceite, el aceite llega desde el cojinete delantero por un canal practicado en el mismo árbol.

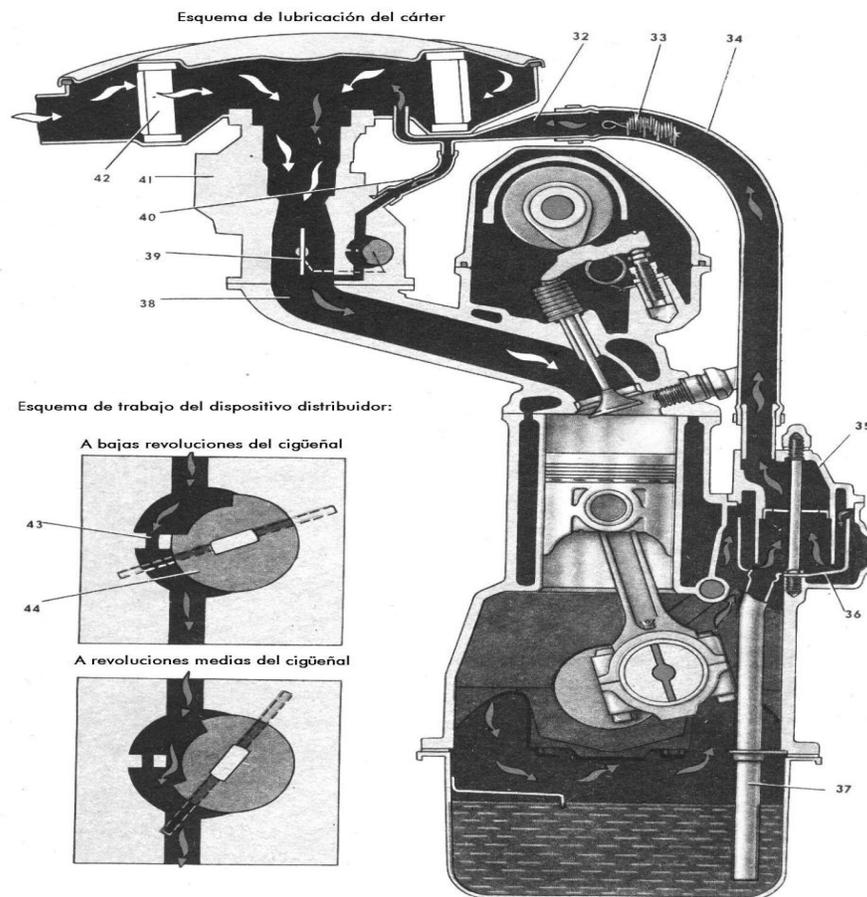


Figura 2: Vista en corte transversal del sistema de ventilación del cárter del motor a gasolina VAZ 2105.

La válvula 33 permite el paso de los vapores del cárter al ducto de admisión.

Al apoyo central del árbol de levas, el aceite llega por el canal 21 del bloque y el canal 20 de la culata. Los canales 21 y 20 se comunican entre sí a través de un orificio en el empaque de culata. El aceite que se acerca al apoyo central del árbol de levas a través de la ranura 18 del apoyo, cae al canal central 15 del árbol de levas y de él, a través de los canales 14 en las levas y 16 en los apoyos, llega a las levas, balancines y apoyos del árbol. Por el canal 5, situado antes del filtro de aceite en la cavidad del bloque de cilindros, el aceite llega al buje del piñón 9 de accionamiento de la bomba.

Con el fin de garantizar la presión suficiente de aceite en la vía principal (cualquiera que sea el régimen de funcionamiento), y también para compensar el caudal adicional de aceite durante el desgaste, la bomba de aceite se calcula para una capacidad caudal mayor que la necesaria.

Para prevenir el crecimiento de la presión por encima del valor permisible, el sistema tiene una válvula reductora calibrada. El filtrado del aceite se realiza a través de un filtro de papel 31. El filtro tiene una válvula antidrenaje 2, que previene del escurrimiento del aceite durante la parada del motor y una válvula de trasiego 30, que trabaja al obstruirse el filtro.

1.2 Sistema de ventilación del cárter.

Este sistema garantiza la succión de los gases del cárter, los cuales interactuando con el aceite, empeoran sus cualidades lubricantes y disminuyen su vida útil. Además de eso, la ventilación previene el crecimiento de la presión debido al paso de los gases de escape al cárter. Los gases del cárter bajo la presión del vacío en el ducto de admisión 38 se extraen del cárter a través de la manguera 34, introducida en la guía de la tapa del separador del aceite 35. Allí, los gases del cárter llegan pasando por el separador de aceite 36. El aceite separado de los gases, se escurre por el tubo 37 al cárter.

Los gases succionados llegan a la toma 32, situada bajo el filtro de aire. De allí los gases pueden succionarse por dos vías; hacia arriba tras el filtro 42 y de allí a través del carburador o cuerpo de aceleración en los vehículos de inyección electrónica, al múltiple de admisión; la segunda vía, a través del Cuerpo de aceleración o en la válvula de mínima en los vehículos electrónicos.

1.3 Control de la distribución de las válvulas (VTC)

El sistema de control de distribución de válvulas se utiliza para aumentar el rendimiento del motor. Hay casos en los que La computadora controla el tiempo de apertura y cierre de las válvulas de admisión de acuerdo con las condiciones de funcionamiento del motor. Se utilizan las señales de temperatura del fluido de refrigeración del motor, la velocidad del motor, la cantidad de aire de admisión, la posición de la mariposa, la velocidad del vehículo y la posición de la caja de

cambios para calcular la regulación de las válvulas de admisión. La posición de la polea del árbol de levas de admisión se regula mediante presión de aceite, la cual está controlada por la válvula solenoide de control de distribución de válvulas.

En los motores Nissan, se emplea un sistema de distribución variable que constantemente es registrado por la computadora del vehículo donde se recogen una serie de señales de los sensores y son procesadas por la computadora para el control de los solenoides, que están realizando el tiempo de distribución válvulas, en el siguiente gráfico se ve claramente el tipo de señales:

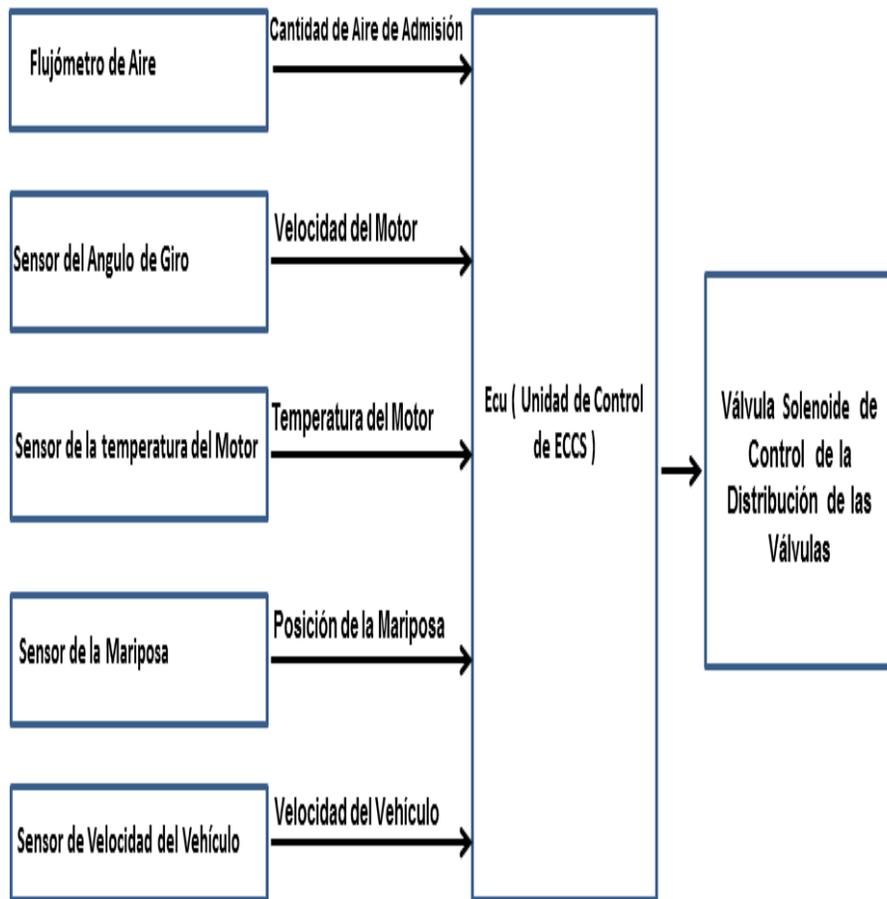


Figura 3: Línea de señales de entrada/salida en el sistema de válvulas variables Nissan.

En el momento que la computadora empieza a recoger estos datos reales y a registrar las determinadas revoluciones por minuto que gira el motor, se empieza a procesar esta información y a determinar el avance valvular, en las válvulas de admisión, para darle un mejor rendimiento al motor y poder obtener mayor

potencia, a continuación se registra del manual del Nissan, la forma detallada cómo funciona el sistema de válvulas variables:

Tabla 1: Variables para el funcionamiento del sistema de avance valvular.

Estado de funcionamiento del motor	Válvula Solenoide de Control de la distribución de las válvulas	Tiempo de apertura y cierre de la válvula de admisión	Traslado de válvulas	Curva de par motor
<ul style="list-style-type: none"> La temperatura del motor es 70°C(158°F) o mas Velocidad del motor está alta La velocidad del motor esta entre 1500 rpm y 5100 rpm 	ON	Avance	Aumenta	(II)
<ul style="list-style-type: none"> La velocidad del motor es 6800 rpm o más 				
Otros diferentes a los indicados	OFF	Normal	Normal	(I)

Fuente: Autores.

Las válvulas solenoides son las encargadas de recibir la señal que envía la computadora para actuar sobre las válvulas de admisión, para dar el avance valvular, estas a su vez funcionan de manera sincronizada porque dependiendo de la exigencia del motor se van aumentando o disminuyendo los grados de avance, donde se debe de manejar un tiempo muy preciso para que en el momento en que se genere el tiempo de traslapo en - 2° ó en 18 grados no se vaya a descompensar el rendimiento del motor y se pueda perder la potencia, a continuación se registra este procedimiento:

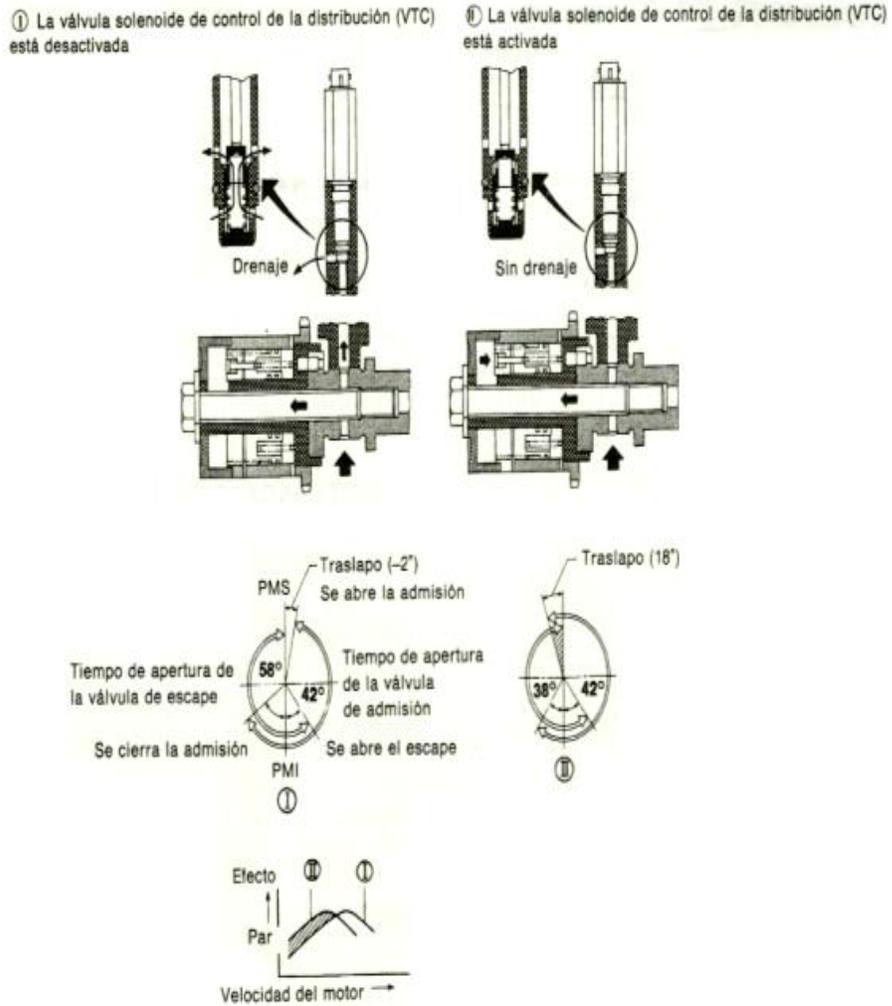


Figura 4: Funcionamiento del sistema de válvulas variables de Nissan.
Fuente: Manual motor Nissan Sentra B14.

En este motor de Nissan Sentra que se trabajó, no utiliza el sistema de válvulas variables y tampoco tiene impulsadores que calibren el tiempo de apertura de las válvulas, este sistema es completamente mecánico y los datos requeridos para ser calibradas las válvulas de admisión y escape son los siguientes:

Tabla 2: Holguras de válvulas Nissan Sentra.

HOLGURAS DE VÁLVULAS			
	AJUSTE EN CALIENTE	AJUSTE EN FRIO (20°C APROX.)	PARA COMPROBACIÓN EN CALIENTE
ADMISIÓN	0,32 - 0,40 mm. 0,013 - 0,016 pulg.	0,25 - 0,33 mm 0,010 - 0,013 pulg.	0,21 - 0,49 mm. 0,008 - 0,019 pulg.
ESCAPE	0,37 - 0,45 mm. 0,015 - 0,018 pulg.	0,32 - 0,40 mm 0,013 - 0,016 pulg.	0,30 - 0,58 mm. 0,012 - 0,023 pulg.

Fuente: Manual Nissan Sentra.

Cuando las holguras de las válvulas se ajustan según los valores en frío, se debe de comprobar que las holguras cumplan con las especificaciones en caliente, y si no cumple se debe de volver a realizar el procedimiento, porque si no el motor no va a desarrollar su máxima potencia y puede tener problemas de rendimientos y fallas.

Circuito de lubricación

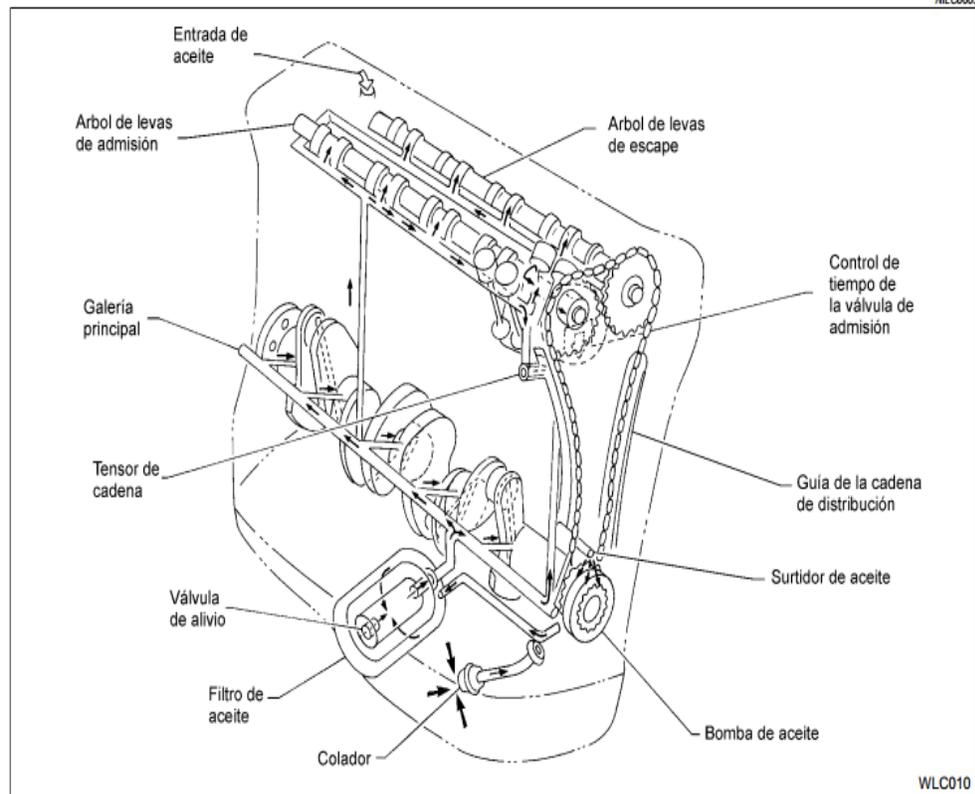


Figura 5: Sistema de lubricación del motor Nissan Sentra B14.

1.4 Cálculo de la bomba de lubricación

Generalidades. El sistema de lubricación de los motores está hecho para disminuir las pérdidas por fricción entre las superficies de las piezas (creación de una capa lubricante portante sobre la superficie de las piezas en contacto), para el enfriamiento de estas superficies y la evacuación de los procesos de desgaste. El aceite, además, mejora el estancamiento de los anillos del pistón en el espacio intercilíndrico y protege de la corrosión las piezas del motor.

El aceite, lavando las superficies en contacto, evacúa de éstas una parte significativa del calor de fricción y del calor de los gases calientes, transmitiéndolo al medio ambiente. Este es también el método de enfriamiento de algunas piezas que no tienen contacto directo con el líquido enfriador. Entre éstas se encuentran: el pistón, la carcasa del turbo compresor (en las zonas de rodamiento), los piñones y otros.

En la mayoría de los motores modernos para automóviles se emplea el sistema de lubricación combinado, según el cual el aceite se suministra bajo presión a los apoyos (cojinetes) del árbol cigüeñal y del árbol de levas, a los piñones a las piezas del accionamiento del mecanismo de distribución –los seguidores y los balancines (a veces al bulón del pistón); las demás piezas en contacto se lubrican por salpique.

Para aumentar el tiempo de servicio del aceite en todos los motores se instalan dispositivos para su purificación. Con este mismo fin el aceite del cárter del motor se toma a través de un colector con malla. En los motores con régimen de trabajo severo, sobre todo automóviles de carga, se emplean radiadores para el enfriamiento del aceite.

Fuera de los elementos nombrados (colector, filtros y radiador), el sistema de lubricación incluye una bomba de aceite, una válvula reductora, una válvula de descarga y otras válvulas, conducto vertedero del aceite, dispositivos para el control de la presión y el nivel de aceite en el sistema de lubricación.

1.5 Bomba de aceite

Es la pieza más importante del sistema de lubricación de un motor de combustión interna. Su función es la de succionar aceite del cárter e impulsarlo a través del filtro y las galerías de aceite hacia los cojinetes del cigüeñal y del árbol de levas, y a las superficies en fricción de las partes del motor. Para el buen funcionamiento del sistema se requiere de un constante suministro de aceite para soportar y enfriar a los casquetes. Si por alguna razón la bomba no puede mantener la circulación del aceite, esto significa el fin del motor. Las bombas más utilizadas en los motores de automóviles son las de engranajes internos y externos.

Las bombas de aceite está diseñada para durar la vida del motor, lo cual en modelos recientes de carros y camiones livianos es de 240 mil kilómetros, pero al igual que cualquier otro componente mecánico, la bomba de aceite está sujeta a desgaste. De hecho, la bomba de aceite sufre más desgaste que la mayoría de los otros componentes del motor, ya que es el único que trabaja con el lubricante sin filtrar.

El cálculo de la bomba de aceite consiste en la determinación del caudal necesario y las medidas de los piñones. A este cálculo lo antecede la determinación del caudal de aceite de circulación en el sistema. El problema sobre el consumo (caudal) de aceite se resuelve a partir del balance térmico del motor ya que la cantidad de calor evacuada del motor por el aceite circulante depende del régimen térmico de los cojines y de la carga del motor. En los motores de automóviles y tractores modernos la entrega de calor al aceite Q_a en el régimen nominal de trabajo constituye 1,5...3,0% de Q_0 –el calor de combustión del combustible en los cilindros del motor, si los pistones no se enfrían con aceite. En los motores con

enfriamiento de los pistones por aceite (por ejemplo los motores de dos tiempos a gasolina) la entrega de calor al aceite puede alcanzar $0,06 Q_0$.

Por el valor de Q_a se determina el caudal de aceite, que debe bombearse a través del motor, es decir, el así llamado caudal de circulación, V_{lc} (l/seg):

$$V_c = \frac{Q_a}{\rho_a c_a \Delta t_a}, \quad (1)$$

Donde ρ_a , c_a –son correspondientemente la densidad y el calor específico del aceite: $\rho_a=0,9...0,92 \text{ ton/m}^3$, $c_a=1,88...2,09 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{°C)}$; Δt_a –es el grado de calentamiento del aceite: $\Delta t_a=10...15\text{°C}$.

Tabla 3: Capacidad de aceite de algunos motores.

Motor	$V_{a,l}$
Chevrolet Sail	4,0
Nissan Sentra B14	4,0
Twingo	3,5
Chevrolet NPR	10
Luv DMAX	5,0
Nissan Tilda	4,0
Toyota Prado	5,0
Spark Gt	3,5

El caudal real (l/s) de la bomba de aceite

$$V_r = (2...3,5) \cdot V_c \quad (1.1)$$

El elevado (sobredimensionado) caudal de la bomba es necesario para crear la presión exigida del aceite en la vía durante el trabajo del motor en todos los regímenes y a cualquier temperatura del aceite. El aceite sobrante, cuando se estabiliza la presión, se retorna a través de una válvula reductora (o de descarga). Además, el elevado caudal de la bomba garantiza una presión normal en el sistema aún después que se aumentan los huelgos y se inicia el desgaste de las

piezas del motor. Con el aumento de los huelgos la cantidad de aceite retornada, a través de las válvulas reductoras o de descarga, disminuye.

El motor del Nissan Sentra B14 funciona con una bomba de engranajes internos que se ilustra en la siguiente gráfica, donde se pueden apreciar las diferentes partes internas, las cuales, son las encargadas de enviar el aceite a presión por todo el circuito de lubricación, se muestra así:

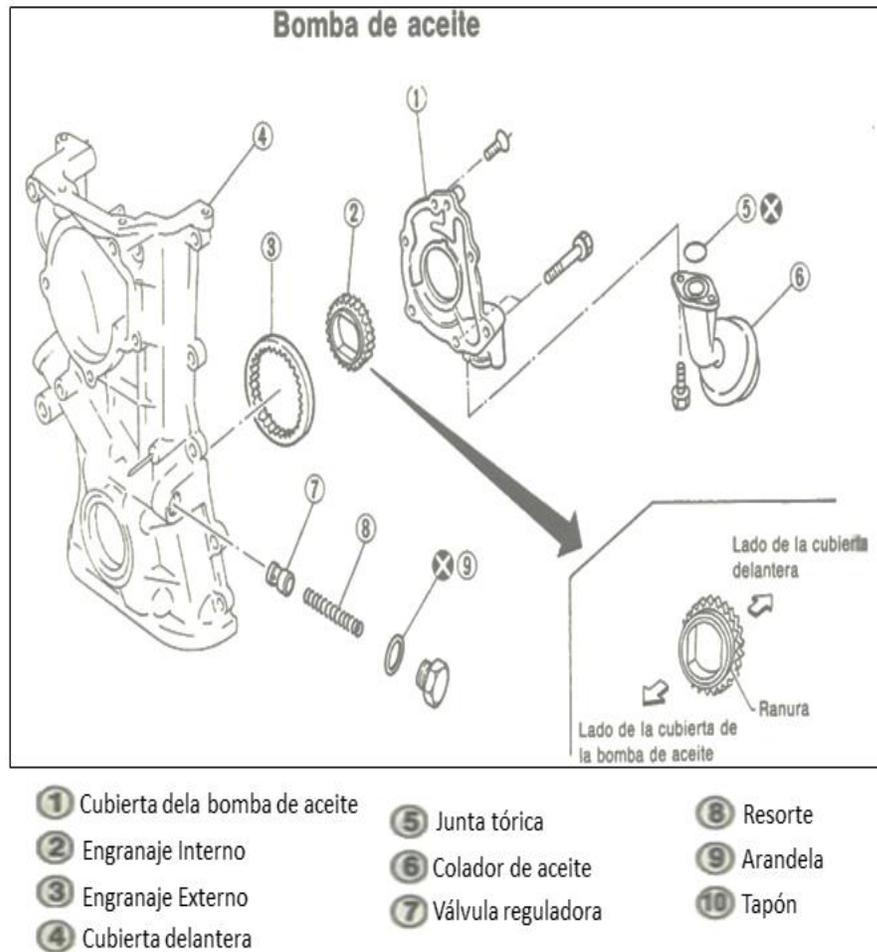


Figura 6: Bomba de Aceite Nissan Sentra.

Cuando el aceite es impulsado por la bomba, este llega a una válvula reguladora que debe de mantener la presión del sistema bajo regímenes normales para que no se vaya sobre presionar el circuito de lubricación, se ilustra de la siguiente manera:

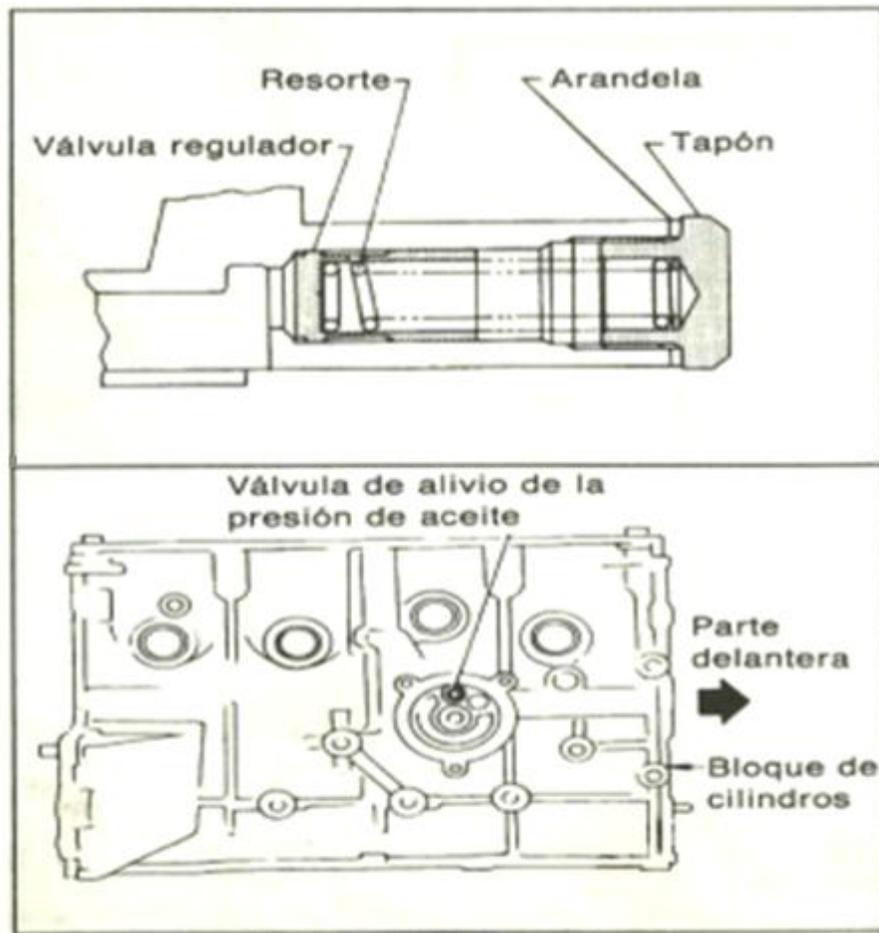


Figura 7: Válvula reguladora de presión de aceite.

La presión que debe de manejar el sistema de lubricación en ralentí es de aproximadamente 0,49 bar, y a 3000 RPM debe de estar aproximadamente en 3,43 bar, todo esto con el fin de que se supervise la presión del sistema en cualquier momento de prácticas y se pueda tener certeza de que la bomba de aceite está trabajando en condiciones normales; si los datos tienen una variación del 10% significa de que se está empezando a tener dificultades en el sistema y se debe de verificar en el menor tiempo posible.

La bomba de lubricación maneja una serie de medidas en sus engranajes que se deben de tener presentes en el momento de que se vaya a realizar una inspección o se esté teniendo un problema por fallas de presión de aceite.

		Unidad: mm (pulg.)
Holgura entre el cuerpo y el engranaje externo	①	0,110 – 0,200 (0,0043 – 0,0079)
Holgura entre el engranaje interno y las aristas	②	0,217 – 0,327 (0,0085 – 0,0129)
Holgura entre el engranaje externo y las aristas	③	0,21 – 0,32 (0,0083 – 0,0126)
Holgura entre el cuerpo y el engranaje interno	④	0,05 – 0,09 (0,0020 – 0,0035)
Holgura entre el cuerpo y el engranaje externo	⑤	0,05 – 0,11 (0,0020 – 0,0043)
Holgura entre el engranaje interno y la parte fija de la envoltura	⑥	0,045 – 0,091 (0,0018 – 0,0036)

Figura 8: Holgura de piezas de la bomba de aceite.

El motor del Nissan Sentra B14 necesita de 4 cuartos de aceite 20 W 50 para el correcto funcionamiento del sistema de lubricación, se debe de reemplazar cada 5000 kilómetros junto con su respectivo filtro de aceite, ya que si se pasa este kilometraje puede varias las características del aceite y puede ocasionar que en algún momento el vehículo se quede sin lubricación, ya sea porque se quemó por las altas temperaturas del motor o porque su viscosidad cambia y puede generar falta de lubricación en el sistema del tren móvil del motor

1.6 Funcionamiento convencional de la bomba de aceite.

Las Bombas de aceite del motor son impulsadas ya sea directamente desde el cigüeñal del motor o en alguna relación por la velocidad de una cadena que esta enlazada con un piñón del cigüeñal que gira a unas determinadas revoluciones. Las bombas deben de suministrar un caudal suficiente a bajas revoluciones, pero debe evitar la sobre presurización del sistema de lubricación a altas velocidades del motor. Por lo general un circuito de derivación activado por presión para limitar el flujo y la presión resultante a altas velocidades del motor es la que se muestra en la figura 9, donde se ilustra la presión de salida de la bomba de aceite como una función de la velocidad del motor para un motor diesel 15 litros. El alivio es interno a la bomba y por lo general vuelve a dirigir el flujo de exceso de aceite de vuelta al puerto de entrada de la bomba de aceite. La figura 10, muestra el flujo de salida de la bomba resultante a través del motor como resultado de las válvulas de

regulación de la presión. El flujo se eleva casi linealmente con la velocidad de la bomba, (la razón de que no es lineal es el cambio de la eficiencia volumétrica)

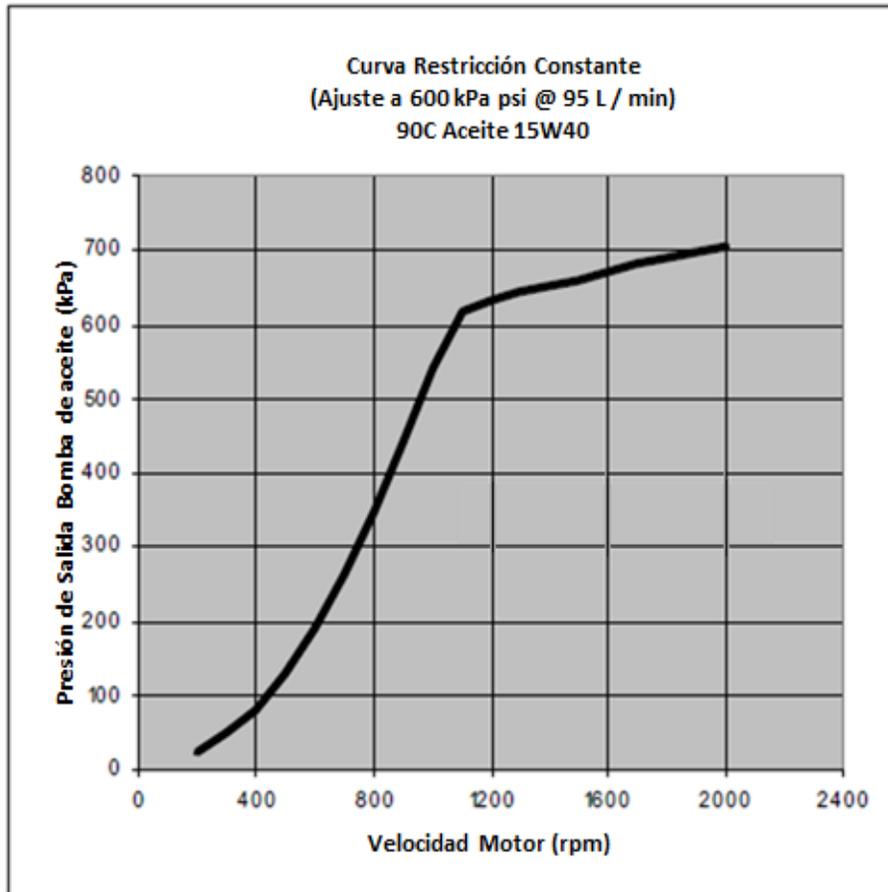


Figura 9: Efecto del alivio de presión y la velocidad en la presión de salida de la bomba.

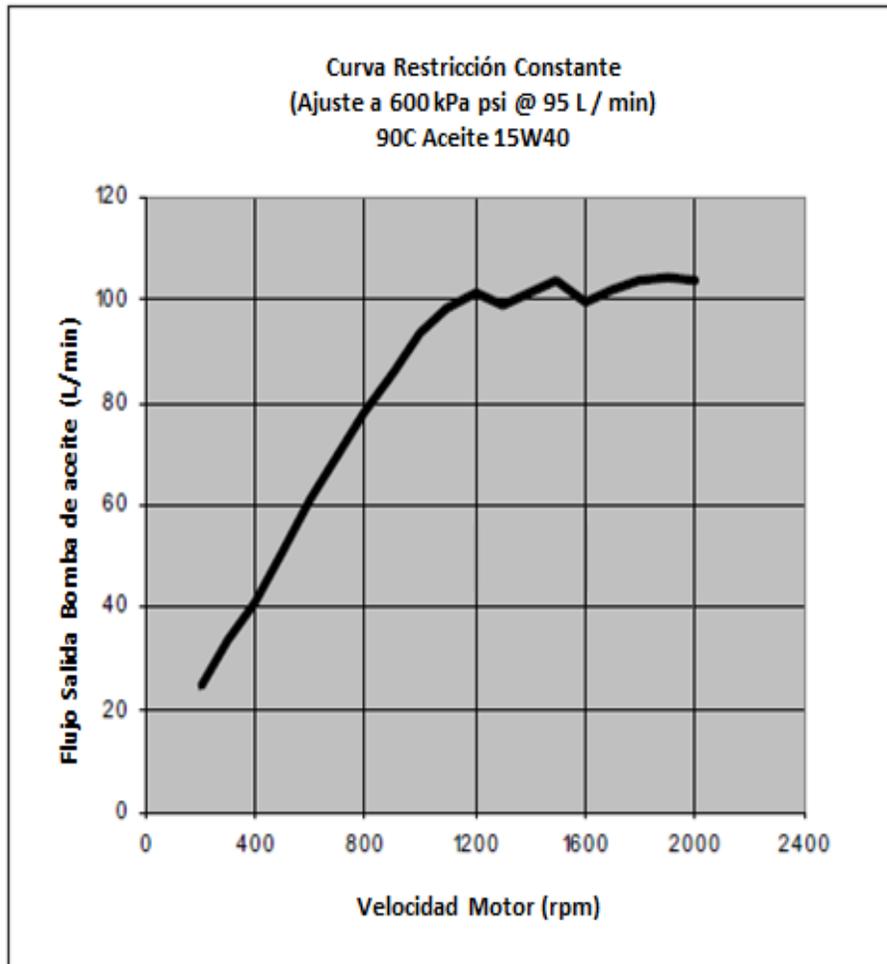


Figura 10: El efecto de la descarga de presión en el flujo de aceite neto para el motor como una función de la velocidad de la bomba.

El alivio en la presión es necesario para regular el flujo de aceite en el motor, pero hay una penalización energética asociada. La Figura 11 proporciona una idea de la cantidad de energía en el sistema desde el volante del motor. En el punto donde la bomba de aceite entra en la regulación de presión, se están consumiendo 2500 vatios de energía mecánica. A medida que el motor y la bomba de aceite aumentan la velocidad, la bomba continúa consumiendo energía adicional, no porque el motor necesite más aceite, sino debido a que el flujo de la bomba recircula internamente. Lo ideal sería entregar una cantidad igual de aceite a la que el motor está exigiendo. En última instancia, se lograría reducir la potencia consumida por el sistema de lubricación.

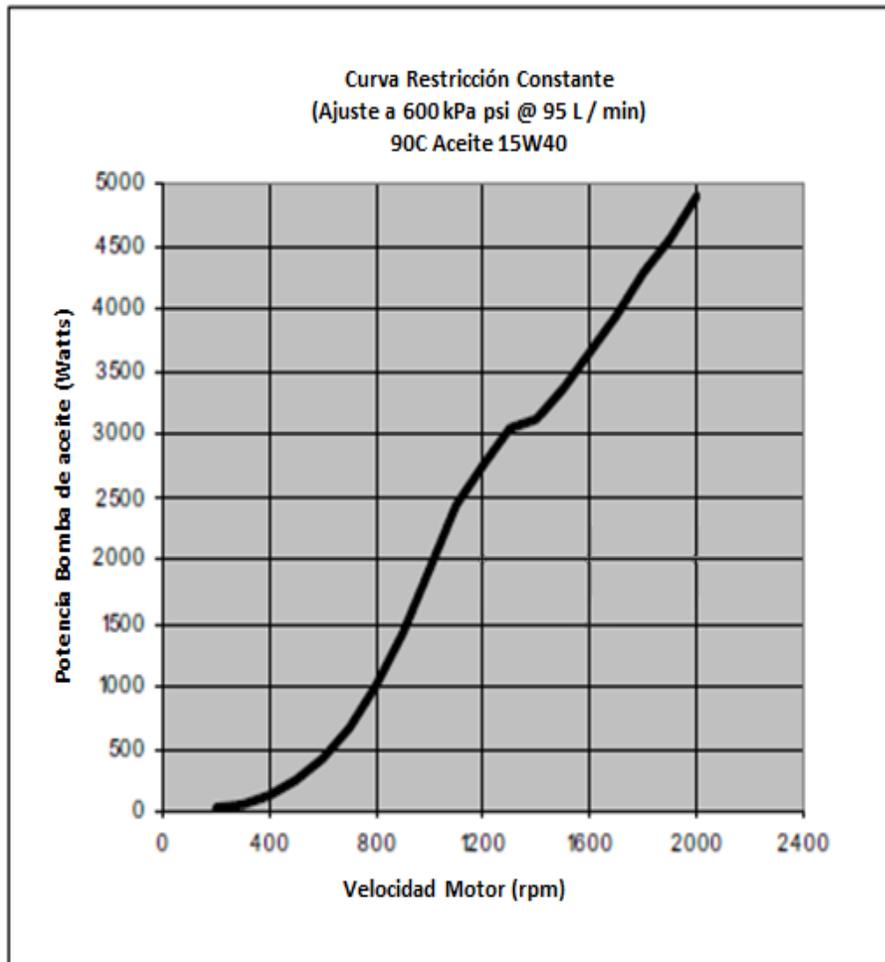


Figura 11: Consumo de energía de la bomba de aceite, medida en el eje de entrada a velocidad y restricción constante.

El consumo de energía de la bomba se muestra en la eficiencia de los motores como las pérdidas de potencia por fricción del motor y de bombeo. Una reducción en la potencia de bombeo del motor se traducirá en una mejor eficiencia energética, como el motor requerirá menos potencia para girar y por lo tanto menos combustible para operar. La figura 12 muestra el potencial de ahorro energético de una bomba de accionamiento eléctrico que funciona con el alivio de presión.

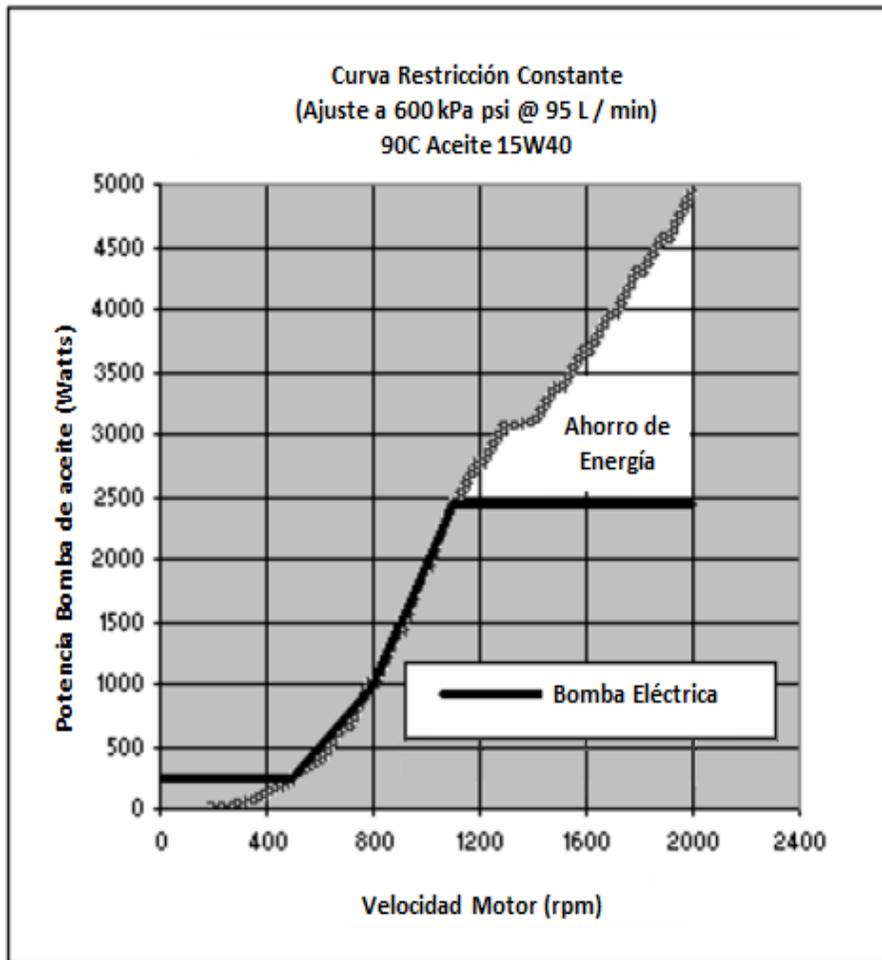


Figura 12: Ahorro potencial de energía para un sistema de lubricación controlable mediante la eliminación de los trabajos perdidos en el sistema de alivio de presión.

La optimización adicional del sistema de lubricación del motor con respecto a las cargas de los cojinetes debe ofrecer mayor ahorro de energía. Las bombas que se desarrollan actualmente para los motores diesel de baja velocidad, donde el punto de la regulación, la velocidad y la potencia nominal del motor se encuentran dentro de 1000 rpm del motor, y para los motores que operan a velocidades más altas y regulan a velocidades más bajas, los ahorros de energía serán más significativos y un mayor porcentaje de la carga total del motor.

1.7 Tipos de bombas convencionales

Las bombas se clasifican en dos categorías principales, de desplazamiento positivo y las bombas no positivas o impulsoras. Hay una amplia variedad de bombas de desplazamiento positivo, Los tres tipos más comunes son las de engranajes, de paletas y de pistón. Estos tres tipos desplazan una cantidad fija de

fluido por revolución del elemento de bombeo y la salida de la bomba es constante para una velocidad de funcionamiento dado, que no se ve afectada significativamente por la resistencia a fluir. En lugar de ello, la resistencia al flujo dictará la presión de salida de la bomba. Esta es la característica más importante de una bomba de desplazamiento positivo, los otros dos tipos de bombas son más aplicables para utilizarlas con sistemas eléctricos, las cuales son la bomba de engranajes y la bomba de paletas.

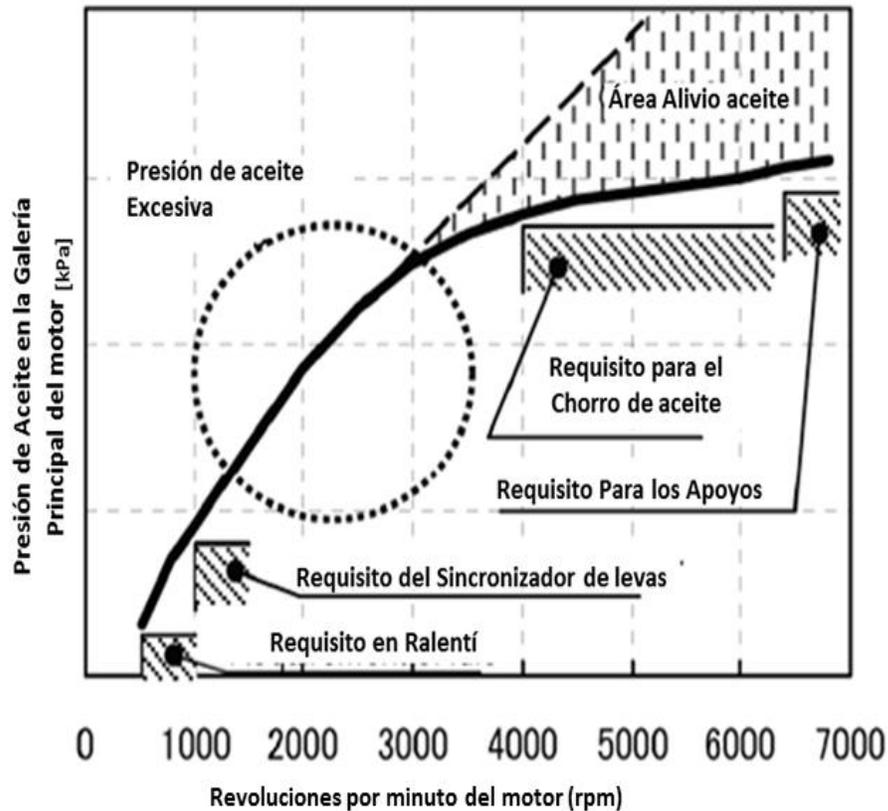


Figura 13: Características de la Presión de aceite del motor.

1.7.1 Bombas de engranajes.

La bomba de desplazamiento positivo más utilizada es la bomba de engranajes. Esto se debe en gran parte a la simplicidad y la robustez de su diseño. Hay dos tipos básicos de bombas de engranajes. El primer tipo es la bomba de engranajes externa. Se denomina así porque los dientes de los engranajes son externos a la superficie del cubo de la rueda dentada. El tipo más común de una bomba de engranajes externos es la bomba de engranajes rectos. El segundo tipo de bomba de engranajes es una bomba de engranajes internos. Aquí un engranaje externo se sustituye con un engranaje interno donde los dientes de los engranajes son

internos al cubo de la rueda dentada. El tipo más común de una bomba de engranajes internos es la bomba Gerotor.

En la Figura 14 se ilustra la construcción y el funcionamiento de una bomba de engranajes externa. La construcción típica de una bomba de engranajes externa se compone de dos o más engranajes de dientes rectos, un eje de accionamiento, y una carcasa para contener todo. Los engranajes de dientes rectos se fijan en la carcasa entre el lado de baja presión y el lado de alta presión de la bomba. Estos lados se denominan la entrada o lado de aspiración y la salida o lado de presión, respectivamente. El primero de los dos engranajes está conectado al eje de accionamiento. Este engranaje se denomina el engranaje impulsor. La segunda marcha se llama el engranaje loco, se engrana con el engranaje de accionamiento y es accionado por ella. Hay muchas variaciones posibles del tipo bomba de engranajes externa. Se extienden de múltiples engranajes, para diferentes tipos de engranajes como helicoidal y espina de pescado.

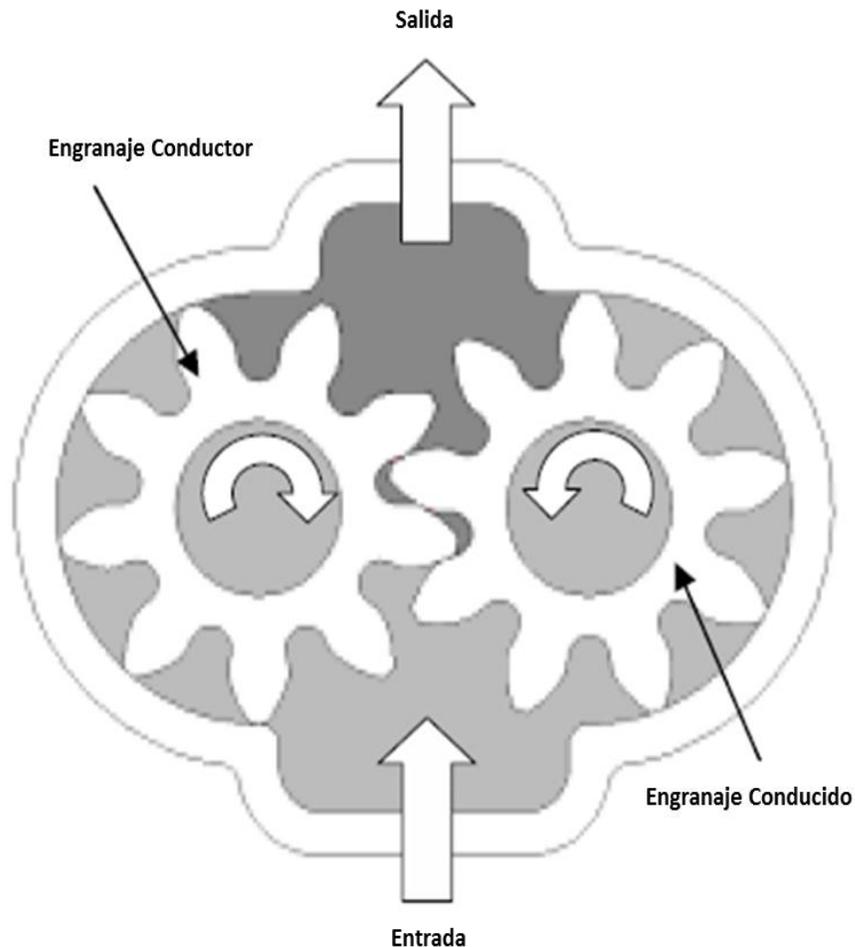


Figura 14: Ilustración de una bomba de aceite de engranajes externos y los principios operativos asociados con la bomba.

1.7.2 Bombas de engranajes internos.

La construcción típica de una bomba de engranajes internos es muy similar a la bomba de engranajes externa. Se compone de un engranaje externo, un engranaje interno, un eje de accionamiento, y una carcasa para contener todo. El engranaje con dientes externos se encuentra en el interior del engranaje con dientes internos, por lo tanto se denominan; engranaje interior y engranaje exterior, respectivamente. El engranaje interior tiene un diente menos que el engranaje exterior. El engranaje interior está conectado típicamente con el eje de accionamiento y por lo tanto el engranaje exterior está impulsado por el engranaje interior. Para la bomba estilo Gerotor, los elementos de engranaje tienen una forma especial de diente que asegura que el engranaje interior y exterior permanezca siempre en contacto. Esto permite un sellado continuo durante la operación. La portabilidad de una bomba de engranajes internos difiere de la bomba de engranajes externos. La portabilidad de la bomba de engranajes externos consiste en pasajes de fluido que corren paralelos a las caras de engranajes en la línea de acople.

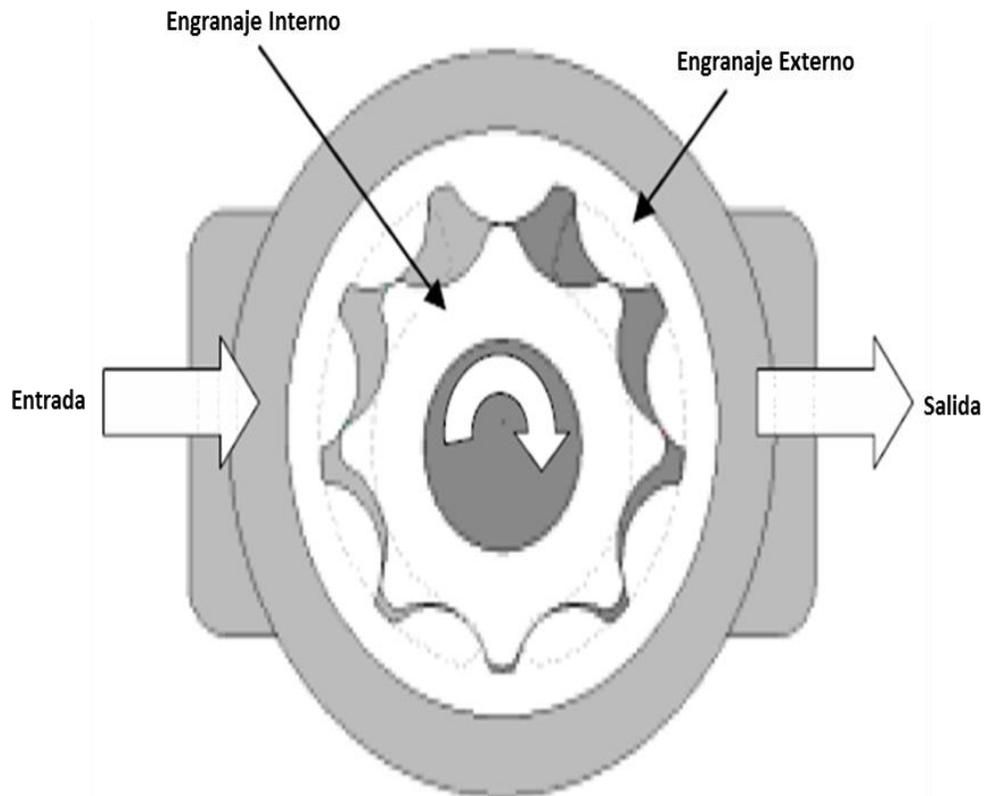


Figura 15: Ilustración de un engranaje interno típico o configuración de la bomba de aceite "gerotor" y la operación del sistema.

1.7.3 Bombas de paletas.

El segundo tipo más común de la bomba de desplazamiento positivo es la bomba de paletas. La construcción básica de una bomba de paletas consta de un anillo de levas, paletas, un rotor con ranuras, un eje de accionamiento, y una carcasa. El rotor ranurado se encuentra en el interior del anillo de leva y es excéntrico a la misma. El rotor también está conectado al eje de accionamiento. Las paletas se encuentran dentro de las ranuras del rotor. La Figura 16 muestra la construcción, así como el principio de funcionamiento básico de una bomba de paletas típico. Las aberturas entre las paletas, el rotor y el anillo de leva forman las cámaras de bombeo reales. A medida que el rotor comienza a girar, a una velocidad específica, las paletas serán forzadas a ponerse en contacto con el anillo de leva. La fuerza centrífuga se asegurará del contacto constante de las paletas y la formación de un anillo de sello positivo. Al igual que la bomba gerotor, al girar el rotor, se crea en la entrada un volumen cada vez mayor durante la mitad de cada rotación. En el lado de entrada las cámaras de bombeo aumentan el tamaño lo cual crea un vacío parcial. La presión atmosférica obliga al aceite a ingresar a las cámaras. El aceite se transfiere entonces al lado de salida, donde se crea un volumen decreciente. Como las cámaras de bombeo disminuyen de tamaño, se descarga el aceite de la bomba a través de la salida. Los puertos de entrada y salida se encuentran bastante separados de la misma manera que la bomba gerotor. Los puertos de entrada y salida proporcionan un paso de fluido perpendicular a la cara del rotor, manteniendo así el flujo de entrada y salida separado. El puerto de entrada está posicionado en el lugar donde se crea el aumento de volumen, y el puerto de salida se ubica donde se crea la disminución de volumen. También hay que señalar que en aplicaciones de alta presión, la presión de aceite se suministra a las aletas a través de las ranuras para ayudar a forzar las paletas contra el anillo de leva.

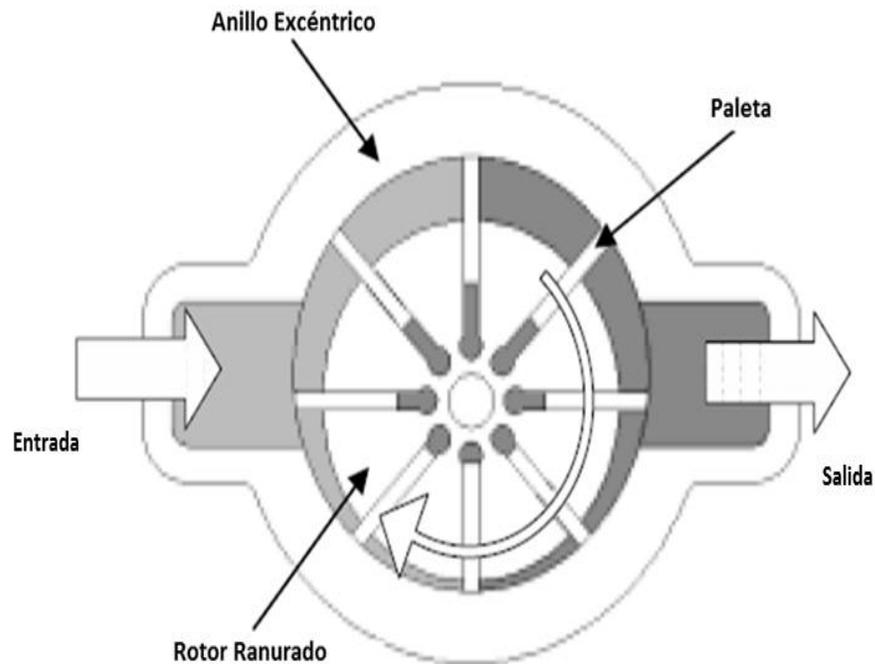


Figura 16: Ilustración de una sección de la bomba de paletas y el funcionamiento del sistema.

La bomba de engranajes tiene varias ventajas sobre el estilo de la bomba de paletas. Estas ventajas son más alto flujo de salida, capacidad de velocidad más alta, una mayor eficiencia mecánica, capacidad de servicio más simple, mayor tolerancia a la contaminación, y, finalmente, un menor costo. La bomba de paletas es comparable a la bomba de engranajes en términos de nivel de presión de salida. Sin embargo, una bomba de paletas tiene la ventaja de una mayor eficiencia volumétrica en comparación con la bomba de engranajes.

1.8 Funcionamiento de la bomba de aceite eléctrica

El principio para el desarrollo del sistema de la bomba de lubricación eléctrica es proporcionar un flujo de aceite adecuado a las revoluciones del motor, donde el aceite se encargará de crear las películas lubricantes en cada una de las piezas del motor y, por consiguiente, refrigerarlas para tener una temperatura constante y que no se llegue a recalentar las piezas más de lo normal. La ganancia de estas bombas eléctricas es la eficiencia en el flujo de aceite y la eliminación de la operación del sistema de alivio de presión.

Las Bombas de aceite eléctricas proporcionan características funcionales como pre - y post- lubricante que no son posibles hoy en día sin sistemas adicionales, así como muchos otros beneficios. Antes de diseñar un sistema de lubricación

alternativa, el diseñador debe entender el funcionamiento del sistema de lubricación actual y las condiciones externas que influyen en el rendimiento del sistema para optimizar el flujo de aceite en cada una de las cavidades y zonas donde el sistema de lubricación convencional falla por no cumplir con las presiones de aceites adecuadas durante el funcionamiento del motor, las cuales se deben de encargar desde el encendido en frío hasta en las altas temperaturas del motor y las revoluciones por minuto a las que se encuentra exigido, sin perder ninguna variable de lubricación en el sistema.. Los sistemas actuales no proporcionan la flexibilidad necesaria para optimizar el flujo de aceite para condiciones de funcionamiento individuales.

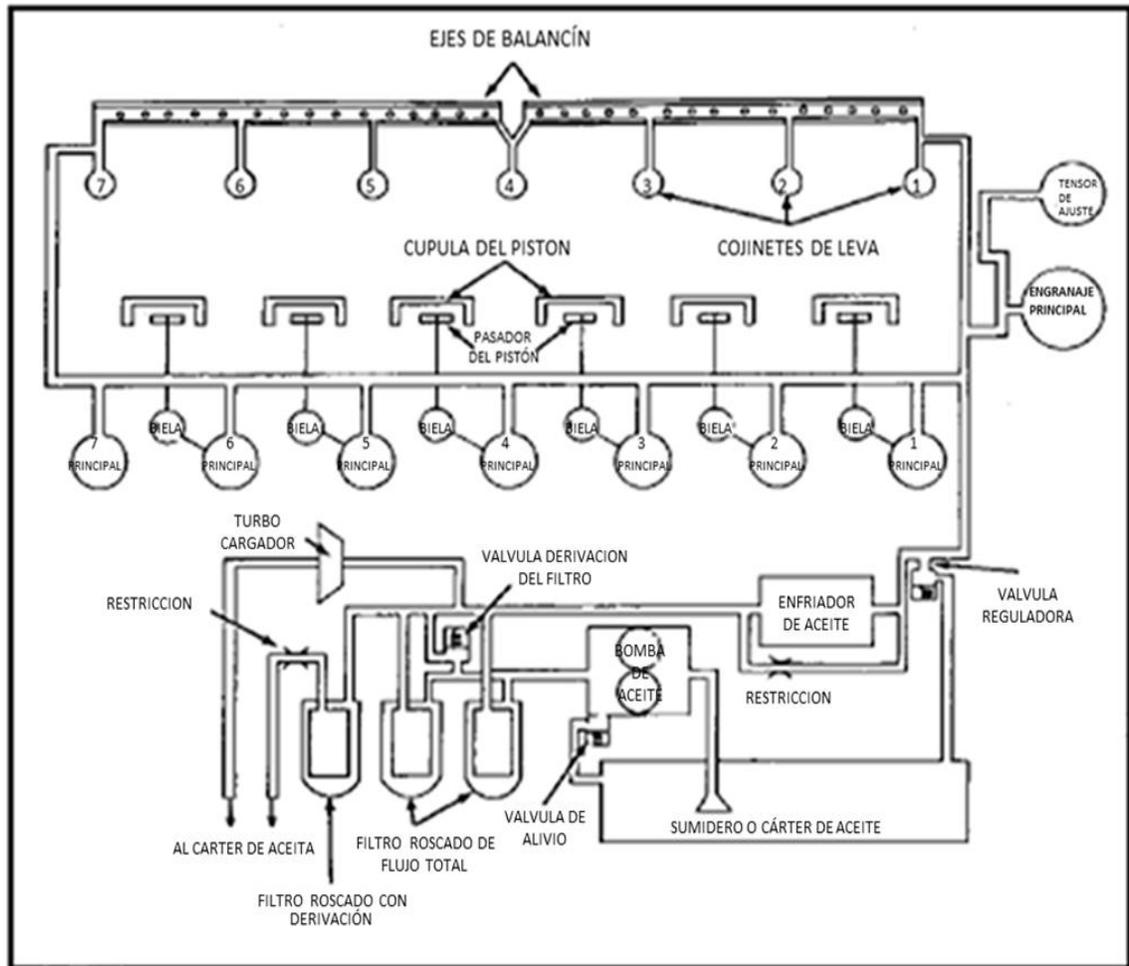


Figura 17: Esquema del sistema de lubricación de un motor Diesel.

1.9 Sistema de lubricación convencional.

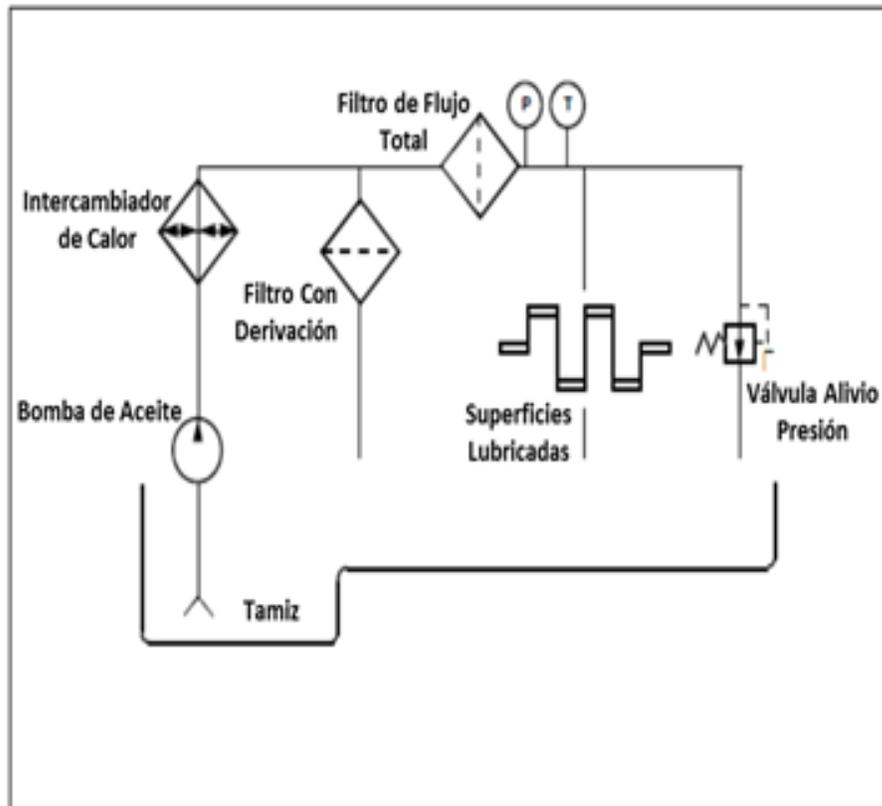


Figura 18: Componentes del sistema de lubricación convencional.

El esquema del sistema de lubricación en la Figura 17 muestra los subsistemas en un motor de serie DDC 60. La lubricación del motor comienza con la bomba de aceite en un depósito (cárter de aceite o sumidero) donde se bombea el aceite a través de filtros, enfriadores, llegando a la galería principal donde se divide para suministrar varios circuitos. El aceite que sale de la bomba pasa a través de un proceso de filtrado, la temperatura del aceite es controlada por un enfriador antes de llegar a la galería principal. Desde la galería principal, el flujo se divide entre el enfriamiento de los pistones a chorros y los circuitos de lubricación. Puede haber varios reguladores de presión en el sistema de lubricación, incluso después de la derivación interna en la bomba. El filtro de aceite tiene un sistema de purificación de las partículas del aceite para evitar daños en el enfriador antes de que el aceite llegue a las partes internas del motor, también puede tener un bypass que podría ser ya sea térmicamente o con control de presión.

El sistema requiere los dispositivos de alivio de presión debido a la manera en que es establecida la geometría del sistema de lubricación, el caudal de la bomba se determina directamente por la velocidad de la bomba de aceite como una función del desplazamiento de la bomba y la velocidad del motor. Para ayudar a visualizar

el efecto del motor en el flujo de la bomba, dibujamos el sistema de lubricación del motor como un orificio fijo en una tubería. La bomba es de desplazamiento positivo, lo que significa que si la bomba aumenta la velocidad, el flujo también aumenta. Sin un alivio, 100% del flujo se vería forzado a través del orificio creando una mayor presión en la tubería. Una analogía simple es un grifo de agua y la boquilla de la manguera. La boquilla es su restricción fija y la apertura de la espiga permitirá que más flujo hacia la boquilla. La apertura de la espiga corresponde al aumento de la velocidad de la bomba, resultando en un mayor flujo y la presión en la manguera. La temperatura y la viscosidad del aceite añaden otra complicación para el funcionamiento de la bomba y el sistema. Cuando el aceite está frío, la viscosidad es alta, y resulta en un aumento de la presión a una velocidad inferior de la bomba (inferiores caudales de bombeo). La figura 19 muestra la sensibilidad de la viscosidad del aceite con el cambio de temperatura. El cambio de viscosidad como una función de la temperatura es un factor muy importante en la regulación del flujo con un dispositivo de presión reactiva.

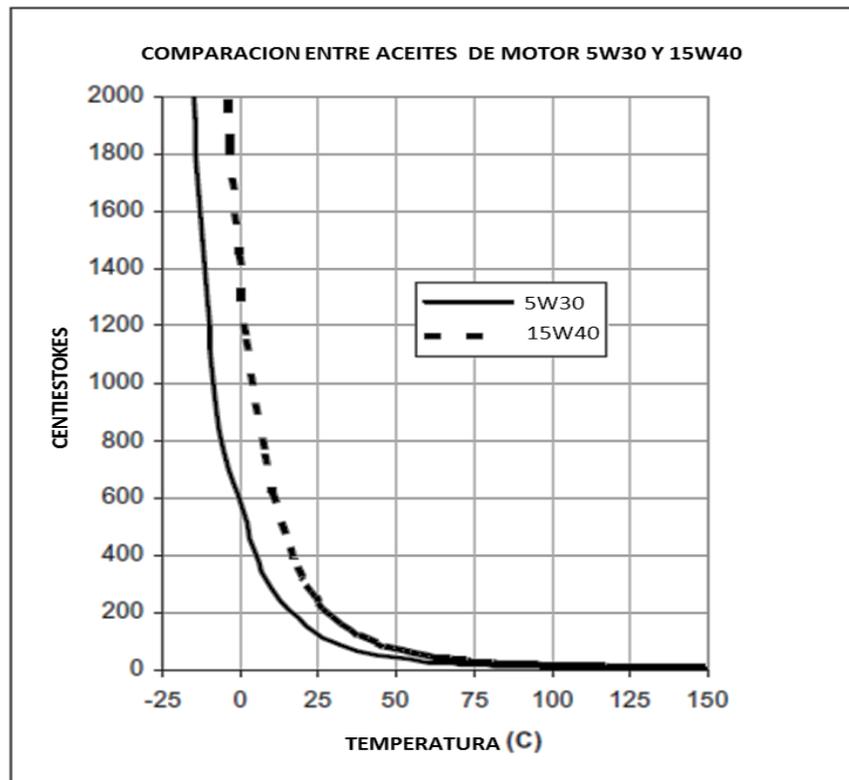


Figura 19: Muestra la sensibilidad de la viscosidad del aceite con el cambio de temperatura.

En la figura 20 se muestra el efecto de la temperatura del aceite en el rendimiento de salida de una bomba de velocidad fija. Se debe de tener en cuenta que no hay un alivio de presión en el sistema por lo que no se regula la presión de salida de la

bomba. La curva ilustra el comportamiento de arranque en frío del aceite de una bomba Gerotor a 2000 rpm. La viscosidad del aceite disminuye a medida que la temperatura del aceite aumenta, y para la bomba de velocidad fija, la presión de aceite resultante cae.

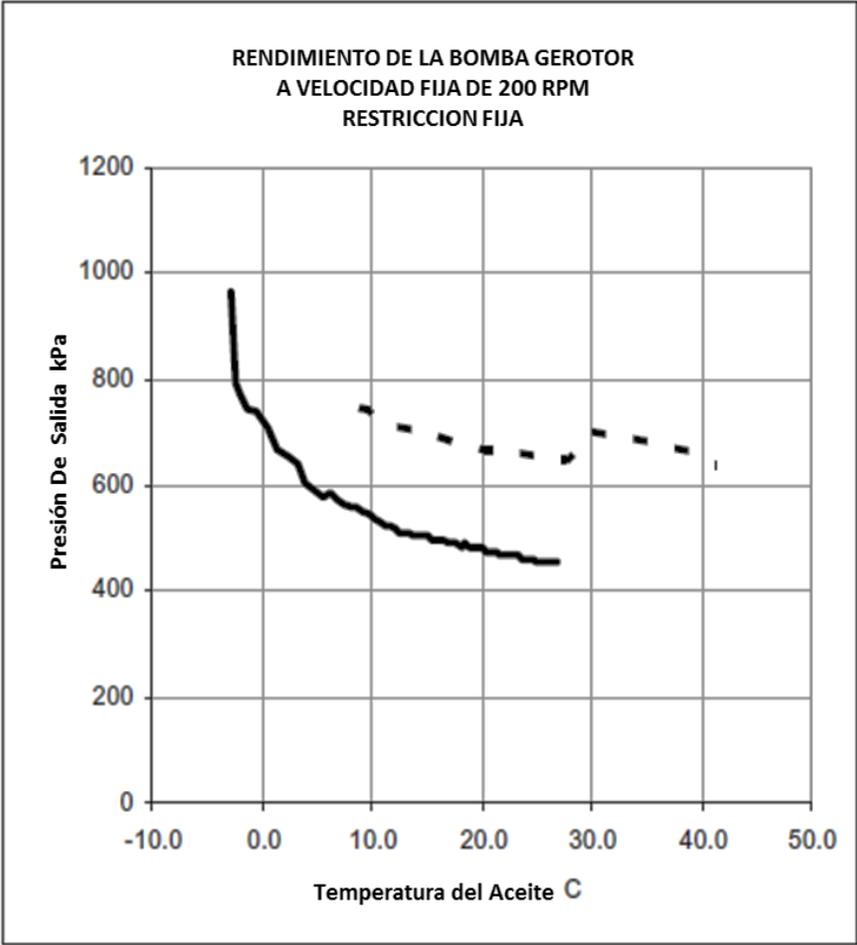


Figura 20: Efecto de la temperatura del aceite del motor en la presión de salida de la bomba de aceite para una velocidad de bomba y restricción fijas.

DIAGRAMA SISTEMA DE LUBRICACIÓN

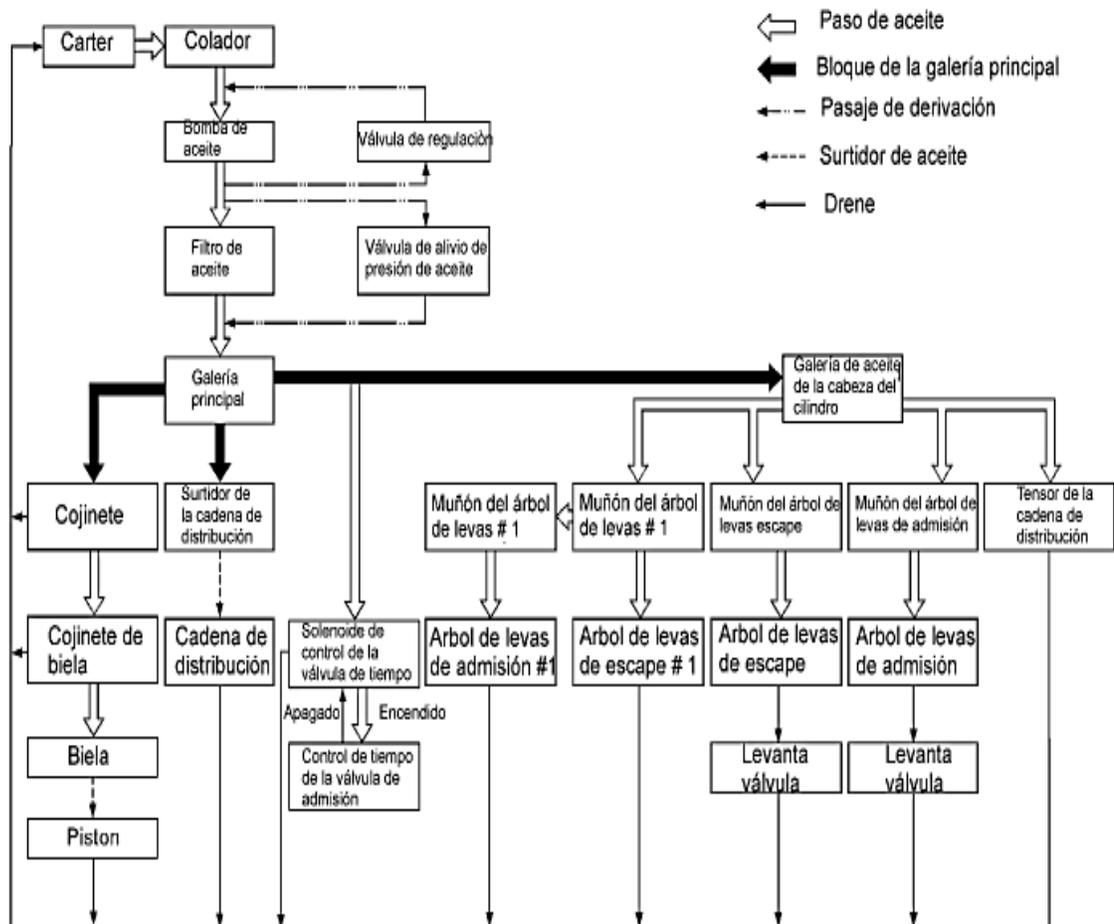


Figura 21: Diagrama sistema de lubricación Nissan Sentra B14.

1.10 Enfoque de la bomba lubricación eléctrica.

Para optimizar el sistema de lubricación del motor y reducir el consumo de energía del sistema, se emplean bombas de aceite de accionamiento eléctrico. El sistema de control eléctrico del motor proporciona la capacidad de operar la bomba a la velocidad de flujo deseada independiente de la velocidad del motor. La bomba eléctrica fue diseñada para que coincida con el rendimiento de la bomba mecánica en el punto de regulación. Estas bombas fueron utilizadas en un motor C15, y un motor Caterpillar 3126.

El control inicial de la bomba se hizo para hacer funcionar la bomba todo el tiempo en el más alto punto de lubricación a una velocidad variable. Esto

proporcionaría el flujo requerido para operar justo debajo de la regulación de la presión independiente de la velocidad del motor. El resultado fue una bomba de engranaje interna diseñado para operar entre 2000 y 2500 rpm, y eliminar el alivio de presión en el sistema. La bomba es impulsada por un motor de inducción a través de un puente de par para facilitar el proceso de selección del motor.

1.11 Beneficios de los sistemas de bombas eléctricas.

Los sistemas de bombeo eléctrico ofrecen muchos beneficios además de la obvia reducción en las pérdidas parásitas y una mejor economía de combustible. Estos sistemas son controlados electrónicamente con capacidad de diagnóstico. Debido a que están controlados electrónicamente, el flujo de aceite suministrado se puede adaptar al flujo de aceite exigido, por lo tanto el tamaño de la bomba puede ser minimizado y su rendimiento optimizado. También, haciendo coincidir precisamente el flujo de aceite, la calidad global del aceite se mejora mediante la minimización de re-circulación del aceite. Esto reduce la aireación y la generación de calor en el aceite extendiendo así su vida útil.

El sistema de bomba eléctrica ofrece opciones de embalaje muy flexibles. Estos sistemas pueden ser montados externos al motor, lo cual proporciona mayor facilidad en la instalación y el mantenimiento. Además, para ayudar en el mantenimiento del motor, los sistemas de bombeo eléctrico se pueden utilizar para drenar y suministrar el aceite durante el cambio.

La pre-lubricación y la post-lubricación también son posibles con un sistema de bomba eléctrica. Con la pre-lubricación el sistema proporcionará aceite a presión antes de que el motor se inicie. Esto reduce arranques en seco y reduce el desgaste del motor. Con la post-lubricación, el sistema puede proporcionar una refrigeración y lubricación al turbocompresor después de que el motor se apaga. Esto permite reducir el desgaste, así como reduce la coquización del aceite en el cojinete.

Por último, cuando se utiliza como un sistema de dos bombas, la principal bomba mecánica puede reducirse de tamaño. La bomba eléctrica complementaría la bomba mecánica para proporcionar la demanda máxima del flujo de aceite.

Cuando se combina con un sistema de refrigeración eléctrico, la temperatura del aceite del motor puede ser controlada luego de la parada continuando con la circulación de aceite y del refrigerante del motor a través del refrigerador de aceite para evitar la coquización en las zonas calientes del motor y para ayudar a enfriar esos puntos calientes. Con el desarrollo de estos sistemas, los diseñadores del motor tendrán la oportunidad de calibrar el flujo de aceite a través del motor. La calibración de flujo de aceite, no es posible con los sistemas mecánicos, razón por la cual el permitir la optimización del flujo de aceite, mejorará la vida del lubricante,

la vida del motor, y esto se verá reflejado en una mejor eficiencia del motor y en un mayor ahorro de combustible.

1.12 Filtrado del aceite.

Durante el trabajo del motor la calidad del aceite y su capacidad lubricadora disminuyen. Esto se debe a que el aceite se mezcla con los productos de desgaste, la carbonilla y también el polvo del aire circundante. Las partículas duras, al caer junto con el aceite a los huelgos de los pares en contacto, provocan su desgaste intensivo. Además, el aceite, poco a poco se deteriora por su combinación con el combustible y la humedad. La depuración correctamente organizada contribuye al incremento de la vida útil del aceite.

La limpieza del aceite debe ser continua. Los esquemas de filtrado existentes se pueden descomponer en dos grupos:

En el esquema del primer grupo el filtrado se realiza con la ayuda de los filtros de depuración basta. A través de este filtro pasa todo el flujo del aceite. Por su construcción los filtros de depuración basta pueden ser: de láminas en laberinto, de láminas perforadas y de mallas. Después del filtro de depuración basta el flujo de aceite se bifurca. La mayor parte del aceite se dirige a la vía principal y de allí a la lubricación de los pares de fricción y la otra parte (cerca del 10...15%) pasa a través del filtro de depuración fina y se vierte al fondo del cárter.

Los filtros de depuración fina realizan una separación más esmerada de las impurezas mecánicas y los productos de descomposición contenidos en el aceite. El elemento de trabajo en tales filtros puede ser masa prensada, papel, fieltro, mezcla de algodón-papel y otros.

En los esquemas del segundo grupo, todo el flujo de aceite pasa a través de los filtros de depuración fina. No hay filtro de depuración gruesa en este caso.

Fuera del filtrado superficial, se emplea ampliamente también la limpieza centrífuga del aceite, basada en la separación de las partículas duras contenidas en el aceite en un rotor, por medio de la fuerza centrífuga. Los filtros que limpian el aceite utilizando el campo de fuerzas (fuerzas centrífugas) se denominan centrífugas.

Por la forma como estén instaladas en el esquema de lubricación las centrifugadoras se dividen en dos grupos: de flujo total y de flujo parcial. La centrifugadora de flujo total se conecta al sistema de lubricación en serie. Todo el aceite pasa a través del rotor de la centrifugadora en este caso. En el rotor su flujo se bifurca: parte del aceite (la menor) se utiliza para el accionamiento del rotor, después de lo cual es llevada al cárter del motor; el flujo principal del aceite depurado es dirigido a la vía principal. La centrifuga de flujo parcial se conecta

paralela a la vía principal, y a través de ella para sólo el 10...15% del aceite suministrado por la bomba.

Actualmente en algunos motores se colocan centrífugas con accionamiento activo-reactivo (interno). La particularidad de este tipo de centrífugas con respecto a las reactivas, ampliamente conocidas, es la ausencia en ellas de elemento-tobera exterior. La rotación del rotor se realiza por la acción de fuerzas activas, creadas por dos flujos de aceite expulsados bajo presión a través de dos toberas de una cubierta 2 colocada en la parte inferior del rotor 1 (figura 22a.), y también de las fuerzas reactivas creadas a la salida del aceite del rotor al canal practicado en el eje, a través de las toberas tangenciales en la parte superior del cuerpo del rotor 3 (figura 22b).

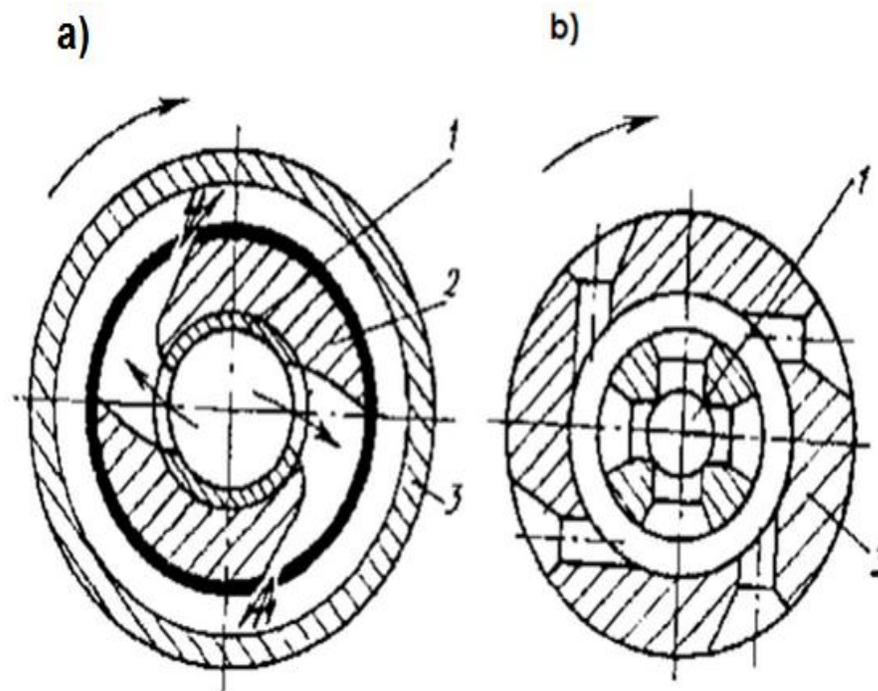


Figura 22: Esquema de los accionamientos activo (a) y reactivo de la centrifugadora.

En la figura 23 se muestra la ubicación de un filtro centrífugo (centrífuga) en un motor Diesel MAZ-504 de 180 hp; en el esquema puede apreciarse la presencia de un circuito paralelo, impulsado por una segunda sección de la bomba de engranajes, para el enfriamiento del aceite. En los motores turboalimentados el sistema de lubricación también debe lubricar los apoyos del árbol turbocargador.

El cálculo de la centrífuga se reduce a la determinación de la frecuencia de rotación del rotor, que garantice la buena limpieza del aceite y la presión del mismo a la entrada de la centrífuga.

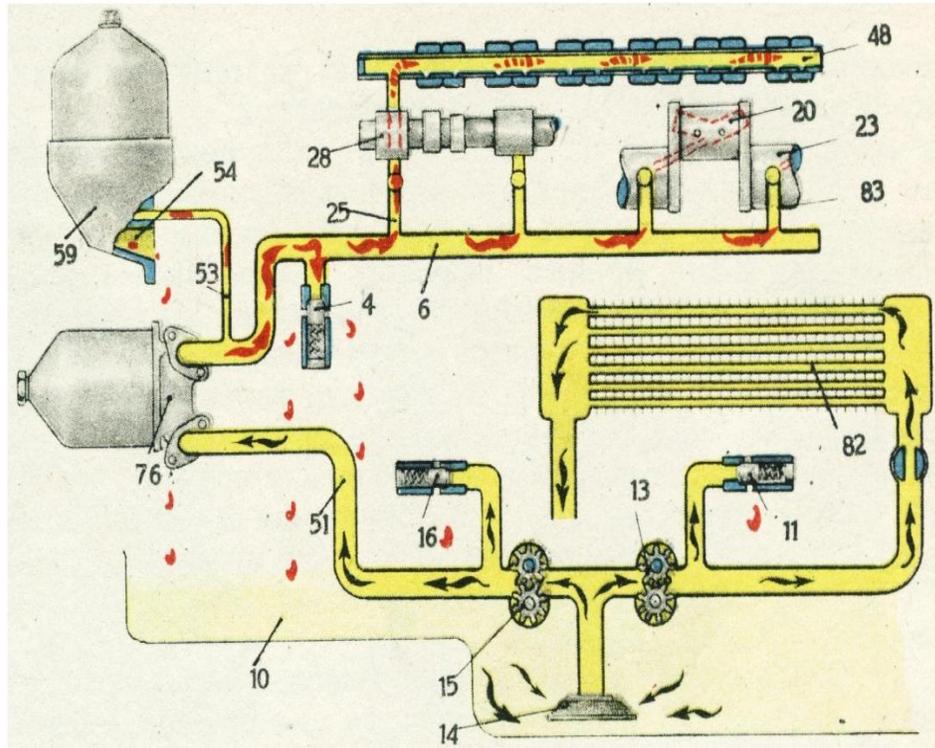


Figura 23: Sistema de lubricación con bomba de dos secciones, centrifugadora y radiador de aceite.

Válvula de descarga 4; Vía principal 6; Cárter del aceite 10; Válvulas reguladoras de presión de la bomba 11,16; Sección secundaria de bombeo 13; Colector de aceite 14; Sección del circuito principal de bombeo 15; Canales de lubricación en el cigüeñal hueco 20; Cigüeñal 23; Canales de lubricación de la vía principal a los muñones de apoyo del árbol de levas 25; Árbol de levas con ranura circular para paso del aceite al eje portabalancines o flauta 28; Eje portabalancines hueco 48; Canal de impulsión principal 51; 53 Derivación a la salida del filtro principal 76 hacia la centrifugadora 59; Retorno del aceite de la centrifugadora 54; Radiador del aceite 82.

1.13 Regulación de la presión de aceite.

Las bombas de aceite de desplazamiento fijo requieren la aplicación de un circuito de descarga de presión. La presión del aceite del motor se regula para evitar la sobre - presurización de los rodamientos y sellos en el sistema de lubricación. La regulación de la presión de aceite permite un porcentaje del flujo de aceite desde la bomba al motor y el exceso de aceite se desvía al cárter. El sistema de regulación de presión está regulando el flujo de aceite a través del motor para no

generar sobrepresiones y daños en los sellos de motor. El flujo de la bomba de aceite está directamente relacionado con la velocidad de la bomba, por lo que otra manera de controlar el flujo sería la de regular la velocidad de funcionamiento de la bomba de aceite. Cabe mencionar que el flujo puede ser controlado independiente de la velocidad del motor si la bomba de aceite utiliza un diseño de desplazamiento variable. Los diseños de caudal variable para aplicaciones de automoción y camiones se pueden encontrar en el equipo de inyección de combustible diesel, pero su aplicación a los sistemas de lubricación no son rentables económicamente.

El regulador de presión de aceite es típicamente un pistón mecánico que empuja contra un resorte. Cuando la presión comprime el pistón y el resorte, los puertos están expuestos permitiendo que el aceite de la salida de la bomba de aceite para volver a la entrada o cárter de aceite. Si el aceite del motor es inferior a la temperatura de funcionamiento normal, la viscosidad del aceite será más alta y la presión de salida de la bomba de aceite resultante será mayor para una velocidad de la bomba de aceite. Cuando el aceite está por debajo de la temperatura de funcionamiento normal, la restricción del aceite en el motor se aumentó proporcional al cambio en la viscosidad del aceite resultante en un mayor porcentaje de flujo total forzado a través del alivio y menos entregado al motor

1.14 Radiador de aceite.

Al trabajar el motor la temperatura del aceite del cárter no debe aumentar mucho, con el fin de que no disminuya su viscosidad. Cierta enfriamiento del aceite tiene lugar en el fondo del cárter y en los cuerpos de los filtros exteriores, debido a que se ventilan con el aceite del ventilador y con el aire de encuentro. Para un enfriamiento más intenso del aceite del cárter se emplean los radiadores de aceite.

Generalmente se emplean radiadores de tubos y láminas o de tubos y serpentín. Se instalan frente a los radiadores del sistema de enfriamiento y se enfrían con el aire de succión del ventilador.

En los últimos tiempos han obtenido difusión los radiadores de aceite con enfriamiento de agua. En este caso el radiador de aceite se introduce en un cuerpo a través del cual circula el líquido enfriador del sistema del motor. El radiador con enfriamiento de agua garantiza no sólo el enfriamiento del motor en condiciones difíciles, sino también un rápido calentamiento durante el arranque. El cálculo del radiador de aceite consiste en la determinación del área de su superficie enfriadora.

La cantidad de calor, entregada por el radiador (kJ/s),

$$Q'_a = c_a \cdot \rho_a \cdot V_{rad} (t_{rad\ entr} - t_{rad\ sal}), \quad (2)$$

Debe constituir 50...75% del calor de Q_a evacuada del motor por el aceite.

En la fórmula (1) V_{rad} es el caudal de circulación del aceite a través del radiador, l/s; $t_{rad\ entr}$, $t_{rad\ sal}$ son, correspondientemente, las temperaturas del aceite a la entrada del radiador y a la salida de éste, °C.

El área (m^2) de la superficie del radiador de aceite, bañada por el elemento enfriador.

$$F_{rad} = \frac{10^3 Q'_a}{k_l (t_{am} - t_{me})}, \quad (3)$$

Donde K_l es el coeficiente total de transferencia de calor del aceite al medio enfriador, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$, determinado por la fórmula; t_{am} , t_{me} -la temperatura media correspondientemente del aceite en el radiador y del medio enfriador,

$$^\circ C: t_{am} = (t_{rad\ entr} + t_{rad\ sal})/2. \quad (4)$$

La temperatura del aceite a la salida del radiador (es decir del aceite que ingresa al motor o que se contiene en el cárter) se puede tomar igual a 70...90°C.

1.15 Cálculo del cojinete de deslizamiento.

Al diseñar el motor sobre la base de los datos de su cálculo dinámico se encuentran las fuerzas que actúan sobre los apoyos del árbol cigüeñal y sobre la base del cálculo de resistencia y de la elaboración constructiva, se hallan las medidas de los apoyos y los cojinetes; el diámetro del muñón d_m y la superficie de apoyo del cojinete l .

Tabla 4: Medidas nominales de los muñones de los árboles cigüeñales y los apoyos de los cojinetes.

Marca de motor (vehículo)	Apoyo de biela		Apoyo de bancada			
	d _{m,b} ,mm	l _m ,mm	d _{m,a} ,mm	Longitud del apoyo		
				delantero	medio	trasero
Willys 52	48,45	15	58,35	49,2	50,8	49,2
Reanult 4	38	24,3	39,4	28	31	33,5
Fiat 147	43,25	23	47,4	20	32	20
Dodge 3-716	53,125	35	62,5	42	35	47
Dodge 318	53,125	43,25	62,5	25,4	30,16	44,45
VAZ-2101	47,8	25	50,8	21	22,5	21
Nissan patrol	56,25		68,125	42,2	43	52
Ford 391	61	42,5	68,75	30	25	29
Ford 8700	68,75	42,5	84,3	35	38,5	39
Cummins 155	68,75	68,5	87,5	31,5	36,5	36
Mercedes-B OM-70	90	70	103	33	39	39

Las medidas principales de los cojinetes de los conjuntos de cojinetes de los árboles cigüeñales de algunos motores se dan en la tabla 4.

Para los cálculos siguientes del cojinete cilíndrico hallamos una serie de parámetros: $\Delta = D' - d_m$ es el huelgo diametral- la diferencia entre el diámetro interior del cojinete y el diámetro d_m de muñón del árbol; $\delta = \Delta/2$ es el huelgo radial; igual a la mitad del diametral; $\psi = \Delta/d_m$ es el huelgo relativo; l/d_m es la longitud relativa del cojinete; e es la excentricidad (segmento OO_1 , en la figura 25,a); $\chi = e/\delta$ es la excentricidad relativa; h_{\min} es el espesor mínimo de la capa lubricante:

$$h_{\min} = \delta - e = \delta - \delta \cdot \chi = \delta(1 - \chi) \quad (5)$$

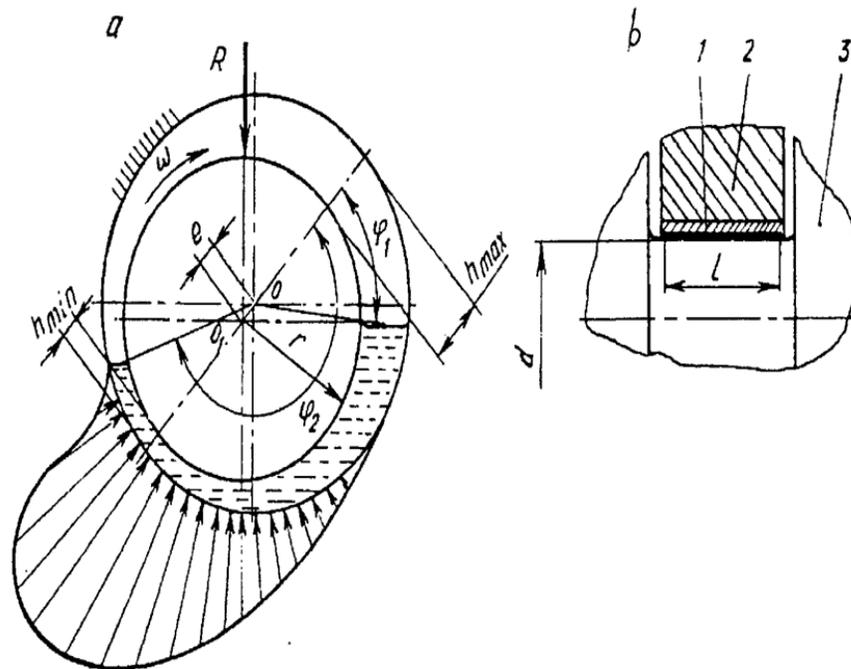


Figura 24: Árbol y Cojinete.

- a) Posición del árbol en el cojinete, formación de la cuña hidrodinámica
 b) Esquema constructivo del cojinete.
 1 – Cojinete; 2 – cuerpo del cojinete; 3 – árbol cigüeñal.

El cálculo hidrodinámico del cojinete consiste en lo siguiente: La presión hidrodinámica que surge en la capa del aceite depende de la presión convencional k , es decir de la carga externa transmitida al cojinete. Las presiones convencionales media k_m y máxima k'_m (MPa) se determinan como la relación de la carga media por ciclo de trabajo del motor $(R'_b)_m$ y en la rama de las máximas cargas $(R_b)_m$, actuantes sobre el muñón, sobre el área de la sección longitudinal del muñón,

$$k_m = \frac{(R_b)_m}{(d_m l)}; \quad k'_m = \frac{(R'_b)_m}{(d_b l)} \quad (6)$$

Aquí $(R_b)_m$ y $(R'_b)_m$ se obtienen del cálculo dinámico del motor por el diagrama polar de cargas sobre el muñón.

Los valores encontrados de las presiones convencionales se comparan con los que se presentan en los motores existentes (tabla 5).

Tabla 5: Valores de las presiones convencionales media y máxima sobre el muñón del árbol cigüeñal.

Motores	Cojinetes	k_m MPa	k'_m	MPa
Automóviles livianos	de biela	0,5...0,8	0,8	12
	de bancada	0,4...0,7	0,6	0,9
Automóviles de carga	de biela	0,5...0,7	0,7	11
	de bancada	0,4...0,6	0,6	0,8
De tractores	de biela	0,25...0,35	0,8	12
	de bancada	0,35...0,4	0,6	0,9
Diesel forzados	de biela	0,9...16	25	42
	de bancada	10...17	20	30

Es necesario tener en cuenta que la presión máxima convencional se limita principalmente porque ella determina la resistencia a la fatiga del material antifrictivo.

El análisis de K_m y K'_m es apenas una valoración previa de la capacidad de trabajo del cojinete. Después los cojinetes del motor que se está diseñando se calculan sobre la base de la teoría hidrodinámica de la lubricación. Durante el cálculo hidrodinámico determinan el espesor mínimo de la capa de aceite el cual depende de las deformaciones del árbol y el cojinete y de la altura de las irregularidades de sus superficies (rugosidad).

Se considera que la fricción con el material lubricante en el cojinete se garantiza si la distancia mínima h_{min} entre el árbol y el cojinete en la parte de la capa de mínimo espesor, es mayor o igual a la suma del espesor crítico h_{cr} y el espesor mínimo de trabajo h_{tr} de las capas del aceite:

$$h_{min} \geq h_{cr} + h_{tr} \quad (7)$$

Actualmente sobre la base de la teoría hidrodinámica de la lubricación y de investigaciones experimentales se han determinado relaciones generalizadas (figura 25) de la excentricidad relativa κ en función de la relación l/d_m y del coeficiente adimensional de carga ϕ del cojinete. El coeficiente ϕ es función de la presión media convencional k_m (MPa), del huelgo relativo ψ , de la viscosidad dinámica del aceite μ (Pa·s) y de la frecuencia de rotación del árbol n (min^{-1}):

$$\phi = 10^6 K_m \psi^2 / (\mu \cdot \pi \cdot n / 30) \quad (8)$$

El coeficiente ϕ es equivalente al inverso de número de Sommerfeld, en su concepción y teniendo cuidado de las unidades, se puede hallar una equivalencia.

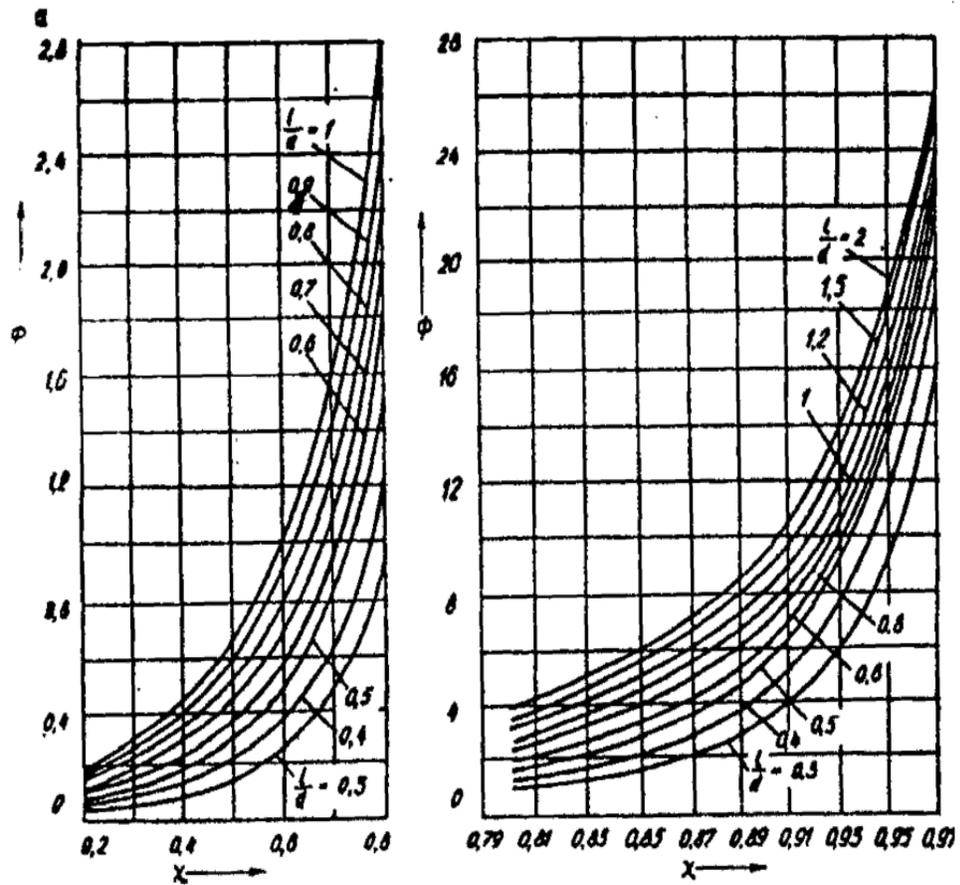


Figura 25: Dependencia de la excentricidad relativa χ es función del coeficiente de carga ϕ del cojinete: a) valores medios b) valores mayores

Tabla 6: Viscosidad de los aceites a 100°C.

Marca de aceite Parámetros	URSA SUPER PLUS				HAVOLINE MOTOR OIL			HAVOLIINE SUPER PREMIUM		FARO 4-80	PREMIUM AD-100
	15W40	30	40	50	30	40	50	20W50	27		
Viscosidad cinemática (mm ² /s)	14,5	11,7	15,2	18,3	14,4	15,5	18,8	18	11,8	14,7	20,0
Viscosidad dinámica (Pa·s)	0,01264	0,01033	0,01342	0,01616	0,01251	0,01358	0,01665	0,01574	0,01045	0,01310	0,01732
Grados API	27,5	25,5	25,5	25,5	28	25	25	27	25	24	28,6

Como se ve de la tabla 6 la viscosidad del aceite varía con la variación de la temperatura. Una de las características importantes de los aceites es el índice de viscosidad. A mayor índice de viscosidad, menos es la caída de ésta con el aumento de la temperatura.

Por consiguiente, antes de elegir la viscosidad del aceite, incluida en la expresión (8), es necesario determinar la temperatura en la parte cargada de la película de aceite. Para esto efectúan el cálculo técnico del cojinete de deslizamiento.

La cantidad de calor Q_{fr} (J/s), desprendida en el cojinete se toma igual a la potencia de fricción en el conjunto del cojinete N_{fr} (W);

$$N_{fr} = P v_0, \quad (9)$$

$$v_0 = \pi \cdot n \cdot d_m / 60000, \quad (10)$$

Donde P es la fuerza de fricción, N; $P = R_b \cdot f$; f es el coeficiente de fricción; v_0 es la velocidad periférica del muñón, m/s; d_m es el diámetro de muñón, mm. La ecuación 9 es la presentación condensada de la ecuación de Petroff.

La expresión definitiva para la determinación de la cantidad de calor desprendido (kJ/s) tendría la forma:

$$Q_{fr} = 5 \cdot 10^{-8} R_b f d_m \pi n/3 \quad (11)$$

El coeficiente de fricción se determina por la fórmula $F = \beta \psi$

La representación gráfica del coeficiente β en función de la excentricidad relativa para diferentes valores de l/d_m se da en la figura 26.

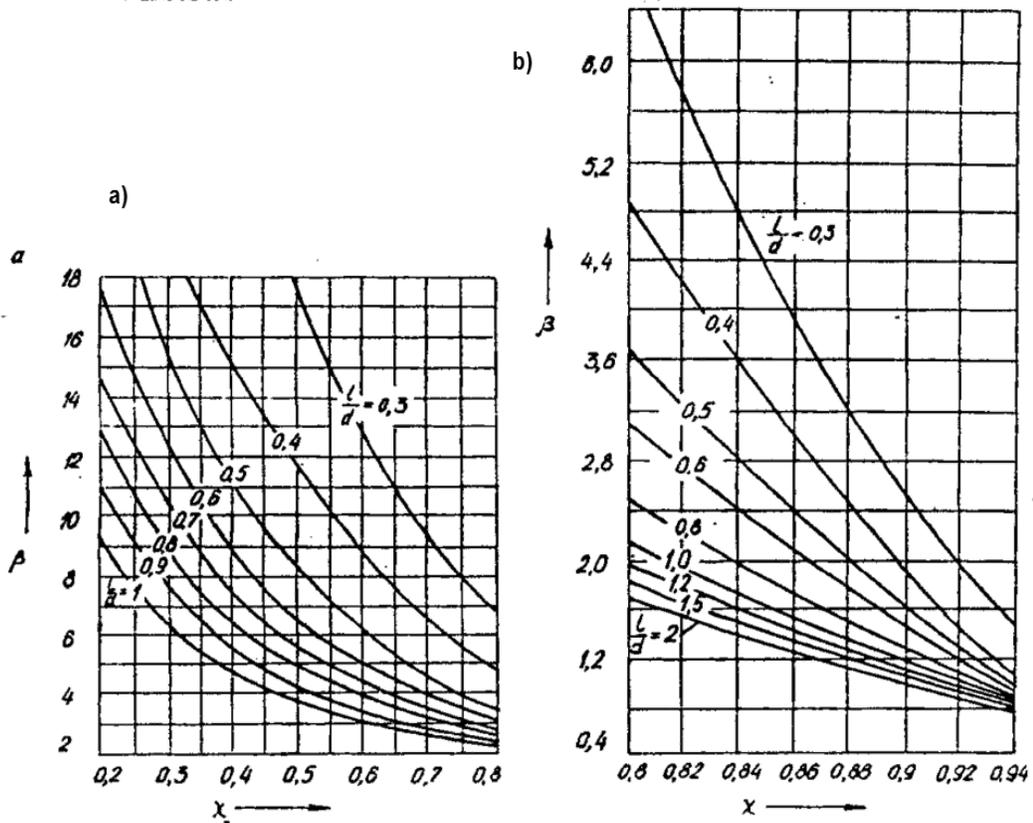


Figura 26: Coeficiente β en función de la excentricidad relativa χ : a. valores medios b. valores mayores.

Coeficiente β en función de la excentricidad relativa χ : a. valores medios b. valores mayores.

El calor del cojinete se evacua con el aceite que circula a través de él, y también se transmite a través del árbol y el casquete al medio exterior.

La cantidad de calor evacuada por el aceite (kJ/s)

$$Q_1 = 10^{-3} c_a \rho_a V'(t_{sal} - t_{entr}), \quad (12)$$

Donde V' es el caudal de aceite que circula a través del cojinete, cm^3/s ; t_{entr} , t_{sal} son, correspondientemente, las temperaturas del aceite a la entrada del cojinete y a la salida de éste.

Con el aumento de la temperatura la densidad de aceite cae y su calor específico aumenta. En el rango de las temperaturas de trabajo el producto $c_a \cdot \rho_a$ puede considerarse constante e igual a $1,8 \dots 1,88 \text{ MN}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

El caudal de aceite que circula a través del cojinete se determina separadamente para las partes cargada y descargada de su capa. El caudal volumétrico de aceite (cm^3/s), que fluye de la parte cargada.

$$V'_1 = \xi \cdot d m^2 \Delta \cdot \pi \cdot n / 3, \quad (13)$$

Donde ξ es un coeficiente determinado por la figura 27.

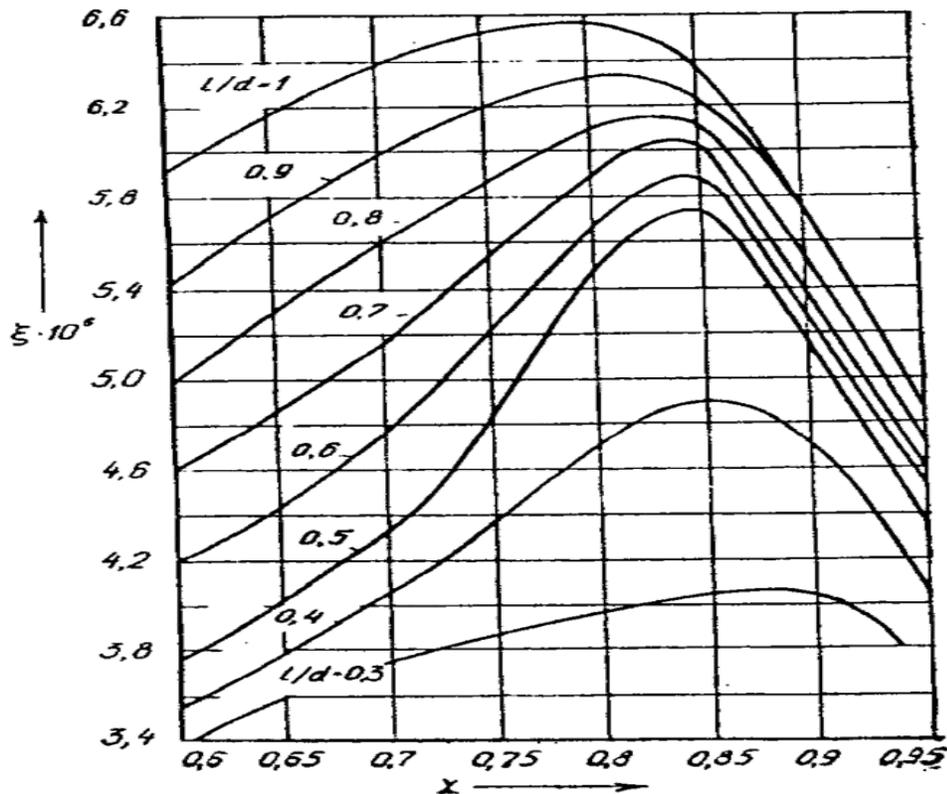


Figura 27: Relación de los coeficientes ξ y χ .

El caudal de aceite que fluye de la parte descargada de la capa se determina de la condición de su salida de la cuña estrecha (película convergente) bajo la presión p_b , creada por la bomba de lubricación:

$$V'_2 = 10^{11} \cdot A \cdot \alpha' \cdot p_b \cdot d_m \cdot \Delta^3 / (l \cdot \mu), \quad (14)$$

Donde A es un coeficiente que valora la extensión de la parte descargada de la capa; α' es un coeficiente que reduce el espesor variable de la película a una magnitud media constante:

Para el arco en 240°

$$\alpha' = 1 + 0,62\chi + 0,1285\chi^2 + 0,0088\chi^3; A = 8,73 \cdot 10^{-10}; \quad (15)$$

Para el arco en 230°

$$\alpha' = 1 + 0,57\chi + 0,11\chi^2 + 0,007\chi^3; A = 8,35 \cdot 10^{-10} \quad (16)$$

Los valores de α' , determinados por la fórmulas (15) y (16), difieren muy poco; en ambos casos puede utilizarse la relación, más sencilla $\alpha' = 0,924 + 0,823 \chi$

La cual es válida para $\chi = 0,4 \dots 1$

La cantidad de calor, transmitida a través de las paredes del cojinete y el árbol al medio ambiente, $Q_2 = (0,1 \dots 0,15)Q_{fr}$, para mayor reserva de seguridad en el trabajo del cojinete, puede tomarse $Q_2=0$

La particularidad del trabajo de los cojinetes de los motores de combustión interna consiste en que con el aumento de la frecuencia de rotación del árbol cigüeñal, correspondientemente crece también la carga media por ciclo de trabajo sobre los cojinetes, debido al crecimiento de las fuerzas de inercia, lo que particularmente es característico para los motores de cuatro tiempos.

Con el aumento de la carga, aumentando la frecuencia de rotación del árbol, crece el coeficiente de carga y empeora el régimen térmico del cojinete.

Es claro, que desde el punto de vista de la carga y del grado de calentamiento, el régimen más desfavorable para el trabajo de los cojinetes de biela y de bancada de árbol cigüeñal de los MCI es el régimen de máxima potencia, el cual debe ser el tomado para el cálculo.

Surge también la necesidad de elegir la presión de cálculo, ya que la carga sobre los muñones y sobre los cojinetes varía en su magnitud y sentido, incluso cuando el motor trabaja en un régimen de velocidad estabilizado. Esto se ve, por ejemplo al analizar el diagrama polar de las cargas sobre el muñón de biela. Es aceptado reemplazar la carga variable por una carga de cálculo constante.

El espesor medio de la película de aceite debe revisarse a la carga media $(R'_b)_m$, en la rama de las máximas cargas. En la expresión para el coeficiente de carga del cojinete debe reemplazarse el valor de viscosidad correspondiente a la temperatura media del aceite, determinada sobre la base del cálculo térmico.

El orden general de cálculo de los cojinetes es el siguiente:

Para la longitud y el diámetro de los muñones de biela y de bancada, encontrados a partir de las condiciones de resistencia y de composición general del motor, y del sistema adoptado de tolerancia para la fabricación del árbol cigüeñal y sombreretes, determinan las magnitudes máxima y mínima del huelgo diametral en el cojinete.

Al calcular los cojinetes de los motores proyectados, los huelgos mínimos pueden ser tomados, orientativamente para los motores a gasolina $\Delta_{\min} = 0,004 \sqrt{d_m}$; para los diesel $\Delta_{\min} = 0,007 \sqrt{d_m}$. El huelgo máximo $\Delta_{\max} = (2,2 \dots 2,5) \Delta_{\min}$

Los valores límites de los huelgos diametrales para los cojinetes de los árboles cigüeñales de algunos motores se dan en la tabla 7.

Tabla 7: Huelgos diametrales en los cojinetes de biela y de bancada.

Motor	Huelgo diametral (mm) en el cojinete	
	de biela	de bancada
Dodge Dart	0,0005 " - 0,0025 "	0,0005 - 0,002 "
Chevrolet Chevette	0,059 - 0,068 mm	0,076 mm
Ford Mustang	0,0006 " - 0,0015 "	0,0008 - 0,0015 "
Toyota Célida	0,0008 " - 0,0021 "	0,0013 - 0,0023 "
Lada 2101	0,036 - 0,086 mm	0,050 - 0,095 mm

Debe revisarse la fiabilidad de los cojinetes para los huelgos diametrales máximo y mínimo en el siguiente orden:

1. Partiendo del diagrama polar obtenido durante el cálculo dinámico, se determinan la carga media por ciclo y en la rama de las máximas cargas y con ellos los valores k_m y k'_m .

2. Se dan la presión y la temperatura del aceite a la entrada del cojinete. La temperatura del aceite a la entrada del cojinete puede tomarse igual a 70°C...75°C.
3. Se eligen el tipo de aceite (ver Tabla 5), que en mayor grado responde a las condiciones de trabajo del cojinete, a partir de los motores análogos existentes. Para el aceite elegido se construye la gráfica de la viscosidad dinámica en función de la temperatura.
4. Se dan varios valores de la temperatura media del aceite en la película (generalmente tres (3), por ejemplo 90, 100, 110°C) y se efectúa el cálculo térmico del cojinete.
 - a) Con la temperatura asumida del aceite se encuentra la viscosidad utilizando el gráfico de viscosidad-temperatura;
 - b) Tomando la presión media convencional k_m , por la fórmula (15), se determina el coeficiente de carga ϕ , y por este las excentricidades relativas χ ;
 - c) Se determina la cantidad de calor desprendida en el par y evacuada de él, para tres valores de χ correspondientes a Δ_{min} , y para tres correspondientes a Δ_{max} (fórmulas 11 a 14).

Los resultados del cálculo se llevan a una tabla. En resumen, para cada valor de la temperatura media se conocen la cantidad de calor desprendida en el cojinete Q_{fr} y la evacuada de él (Q_1+Q_2). Con estos datos se construye la característica de la cantidad de calor desprendido (evacuado) en función de la temperatura del aceite (Figura 28). El punto de intersección de las curvas, en el cual $Q_{fr}=Q_1+Q_2$ determina la temperatura media real en la película (correspondientemente para Δ_{min} , Δ_{max}).

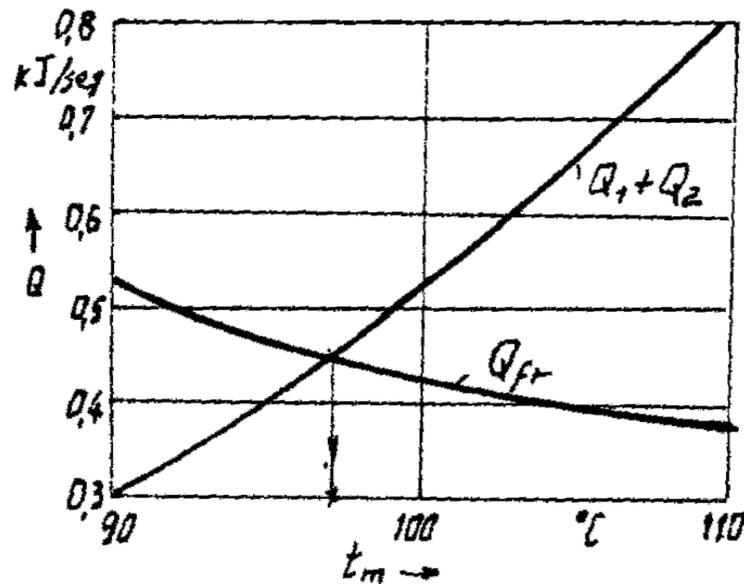


Figura 28: Determinación de la temperatura media del aceite.

5. Por el gráfico de la viscosidad en función de la temperatura, se determina los valores de la viscosidad correspondientes a las temperaturas medias de la película de aceite, obtenidos como resultado del cálculo térmico, y calculan el coeficiente de carga del cojinete ϕ por los valores de la presión convencional máxima k'_m .
6. Por el gráfico (ver figura 25), se determinan las excentricidades relativas χ , correspondientes a los coeficientes de carga obtenidos ϕ .
7. Utilizando la relación (7), se determina el espesor mínimo h_{\min} de las capas de aceite, correspondientes a Δ_{\min} y Δ_{\max} .
8. Se determinan el coeficiente $H = h_{\min}/h_{ir}$

Si $H > 1,5$ y la temperatura del aceite $t_{cr} \leq 110^{\circ}\text{C}$, el cálculo se considera concluido. En caso contrario deben tomarse otros huelgos diametrales o tomar otro tipo de aceite (más viscoso) y repetir el cálculo.

1.16 Apoyos de contacto deslizante o cojinetes.

Los cojinetes son elementos intermedios (tipo bujes, o casquetes, o sectores esféricos completos o parciales) entre los muñones y las bancadas de los ejes, que se instalan para evitar el contacto directo (y el desgaste) de las partes de los pares de rodadura y así posibilitar la reparabilidad e intercambiabilidad, o también cuando los materiales del par no poseen buena compatibilidad tribológica o de desgaste. Generalmente tienen que soportar y transmitir cargas radiales y axiales

aplicadas a los árboles y deben garantizar la posición de éstos en el espacio. Para evitar reducir el rendimiento del mecanismo, las pérdidas por fricción deben ser mínimas. De la calidad de los cojinetes depende la capacidad de trabajo y longevidad de las máquinas. Según la carga a soportar los cojinetes pueden ser axiales, radiales, o combinados. Según la forma del par de fricción pueden ser cónicos, cilíndricos o esféricos (rótulas, cojinetes de autoalineación).

En ocasiones el par deslizante se forma entre el muñón y la bancada, cuando sobre ésta se deposita la película delgada de material antifricción. La mayoría de las veces se emplea el elemento intermedio tipo casquete o tipo buje, el cual se instala, con ajuste de interferencia, cuidadosamente seleccionado, sobre la bancada. Los cojinetes se emplean donde las condiciones de ensamble lo ameritan, como es el caso de los utilizados en apoyos de cigüeñales en los motores de combustión; en las máquinas rápidas ($v > 30 \text{ m/s}$); en las máquinas en las que se requiere de montaje cuidadoso de los árboles, con posibilidades de regulación; en los apoyos de máquinas que operan en medios agresivos como agua, donde los rodamientos comunes se ven afectados por la corrosión; en las máquinas lentas de exactitud baja.

1.16.1 Tipos de lubricación y de cojinetes.

Para reducir la fricción y el calor en los pares formados por los apoyos y los árboles o ejes se requiere disponer la separación de las superficies mediante una capa lubricante o interponer entre dichas superficies elementos rodantes. En el primer caso se habla de cojinete un cojinete simple, mientras que en el segundo se habla de un rodamiento. Los lubricantes pueden ser gaseosos líquidos o sólidos. Los lubricantes líquidos son de uso más generalizado y los más comunes de estos son los aceites minerales. Las grasas son aceites mezclados con jabones para que formen un lubricante más espeso y más pegajoso para ser aplicados allí donde no es fácil suministrar o no se puede retener el lubricante líquido.

La lubricación puede ser de película completa (de fricción líquida), de película mixta (de fricción semilíquida) y de lubricación marginal (o de lubricación seca). La lubricación de película completa puede ser hidrostática, hidrodinámica o elastohidrodinámica.

Los denominados cojinetes planos o simplemente cojinetes pueden cumplir las mismas funciones que los rodamientos, pero para su funcionamiento eficiente requieren de una lubricación adecuada. Esencial para el cálculo de los cojinetes es el conocimiento de las cargas radiales y axiales que deben soportar. Un cojinete puede diseñarse para que soporte carga radial solamente, o carga axial solamente, o una combinación de carga axial y carga radial. El área de contacto puede ser plana, cilíndrica (bujes y casquetes) o esférica (esferas, rótulas, etc.) Los cojinetes de deslizamiento se emplean en aplicaciones como: 1) apoyos

partidos, requeridos por las condiciones de ensamble, por ejemplo en cigüeñales; 2) apoyos de elevadas para árboles y ejes de elevadas revoluciones ($v > 30$ m/s), en condiciones donde la duración de los rodamientos se reduce significativamente (por las vibraciones, el ruido, las elevadas cargas inerciales sobre los elementos de rodadura); apoyos para las máquinas de precisión, a las que se les exige una dirección especialmente exacta y la posibilidad de regular las holguras; 4) cojinetes que operan en condiciones especiales (agua, medios agresivos, etc.), en las cuales los rodamientos poseen baja capacidad de trabajo por la corrosión); 5) apoyos de algunos mecanismos de bajas revoluciones.

1.16.2 Condiciones de operación y modos de falla de los cojinetes de deslizamiento

En los cojinetes cilíndricos a la rotación del muñón en el cojinete se le opone el momento de fricción, determinado por la ecuación de Petroff:

$$M_f = F \cdot r = \frac{\eta \cdot A \cdot v}{h} \cdot r = \frac{\eta \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot v}{c_d/2} \cdot r = \frac{\eta \cdot \pi^2 r^3 \cdot L \cdot n}{7,5 \cdot c_r} \quad (17)$$

donde η es la viscosidad dinámica del aceite a la temperatura de operación, A es el área proyectada del cojinete, $F = F_r$ es la carga radial, D es el diámetro del cojinete, r es su radio, L (l) es la longitud, v es la velocidad periférica, c_d (S) es la holgura diametral, c_r es la holgura radial y n son las revoluciones por minuto del muñón. El trabajo de fricción calienta el cojinete y el muñón. De la superficie de fricción el calor se evacúa a través del cuerpo del cojinete (chumacera) y el árbol, y también se evacúa con el aceite lubricante. Para cualquier régimen estabilizado de trabajo del cojinete existe un equilibrio térmico: la entrega de calor es igual al desprendimiento de calor, con lo que se establece una temperatura determinada. Cuanto mayor es el desprendimiento de calor y deficientes las condiciones de disipación de calor, tanto mayor es la temperatura de equilibrio térmico. Esta temperatura no debe superar un valor límite dado, permisible para el material del cojinete y el tipo de aceite. Al aumentar la temperatura se reduce la viscosidad del aceite y aumenta la probabilidad de atascamiento del muñón en el cojinete. Finalmente el atascamiento genera la fusión del recubrimiento. El recalentamiento del cojinete es la principal causa de su destrucción.

La intensidad de desgaste puede ser baja si se seleccionan de manera apropiada los materiales del par, previendo que así se garantice la lubricación hidrodinámica en el régimen principal de operación, el par deberá generar el mínimo desgaste y calentamiento durante los regímenes transitorios como en las arrancadas; por esto durante el diseño del cojinete los materiales del par se seleccionan atendiendo a su compatibilidad tribológica. El trabajo del cojinete se acompaña del desgaste del recubrimiento y del muñón, lo que afecta el trabajo correcto del mecanismo y del mismo cojinete. Si el desgaste supera la norma, el cojinete debe reemplazarse. La intensidad del desgaste, asociada también al trabajo de fricción, determina la longevidad del cojinete. Bajo la acción de cargas variables (por ejemplo, en los

motores alternativos), la superficie del recubrimiento puede blanquearse debido a la fatiga. El blanqueado por fatiga es propio de los cojinetes con poco desgaste y se observa con poca frecuencia. En caso de acción de elevadas sobrecargas de corta duración con carácter de impacto el recubrimiento de los cojinetes puede presentar destrucción frágil. A daño frágil se someten los materiales antifricción de baja resistencia, tales como los babbitts y algunos plásticos.

	Mo	Cr	Ni	Fe	Cu	Ag	Al	Zn	Sn
Pb	3	4	4	4	4	2	4	4	1
Sn	-	4	2	3	2	1	3	2	
Zn	2	1	1	1	1	1	1		
Al	2	1	1	1	1	1			
Ag	3	4	4	4	2				
Cu	4	4	1	2					
Fe	1	1	1						
Ni	1	1							

Figura 29: Compatibilidades tribológicas de los metales.

1.16.3 Regímenes de fricción y criterios de cálculo.

La fricción determina el desgaste y calentamiento del cojinete, y también su rendimiento. Para reducir la fricción los cojinetes de deslizamiento se lubrican; en función del régimen de operación del cojinete en él puede darse la fricción semilíquida o líquida. Durante la fricción líquida las superficies de trabajo del árbol y del recubrimiento del cojinete están separados por una capa de aceite, cuyo espesor h es mayor que la suma de las rugosidades R_z de las rugosidades de las superficies:

$$h > R_{z1} + R_{z2} \quad (18)$$

Bajo esta condición el aceite soporta la carga externa, previniendo el contacto directo de las superficies y, en consecuencia, el desgaste. La resistencia al movimiento se determina solamente por la fricción interna en el lubricante. El valor del coeficiente de fricción se encuentra entre 0,001 ... 0,005 (lo que puede ser menor que el coeficiente de fricción de rodadura).

En la fricción semilíquida la condición (18) no se cumple, en el cojinete se tendrá fricción mixta, tanto líquida como de capa límite. Se denomina fricción de capa límite, cuando las superficies en contacto se cubren de una capa de lubricante muy fina, formada como resultado de las fuerzas moleculares y las reacciones químicas de las moléculas activas del lubricante y del material del recubrimiento. Esta propiedad se denomina lubricidad. Las capas límites son estables y soportan elevadas presiones. Sin embargo, en los lugares de presión concentrada se pueden destruir, tiene lugar el contacto de las superficies de metal limpio, su cruzamiento y el desprendimiento de partículas de material bajo la acción de movimiento relativo. La fricción semilíquida se acompaña del desgaste de las superficies en contacto incluso sin que caigan partículas abrasivas de afuera. El valor del coeficiente de fricción semilíquida depende no sólo de la calidad del aceite, sino también del material de las superficies en contacto. Para los materiales antifricción más difundidos el coeficiente de fricción semilíquida es igual a 0,008 ... 0,1.

Para el trabajo del cojinete el régimen más deseable es el régimen de fricción líquida. La formación del régimen de fricción líquida constituye el principal criterio de cálculo de la mayoría de los cojinetes de deslizamiento. Así se garantiza simultáneamente la capacidad de trabajo según los criterios de desgaste y atascamiento.

1.17 Teoría hidrodinámica. Condiciones principales para la formación del régimen de fricción líquida

Las investigaciones del régimen de fricción líquida en los cojinetes se basan en la teoría hidrodinámica de la lubricación. Esta teoría se basa en las soluciones de las ecuaciones diferenciales de la hidrodinámica del líquido viscoso, las cuales relacionan la presión, la velocidad y la resistencia a la cortadura viscosa.

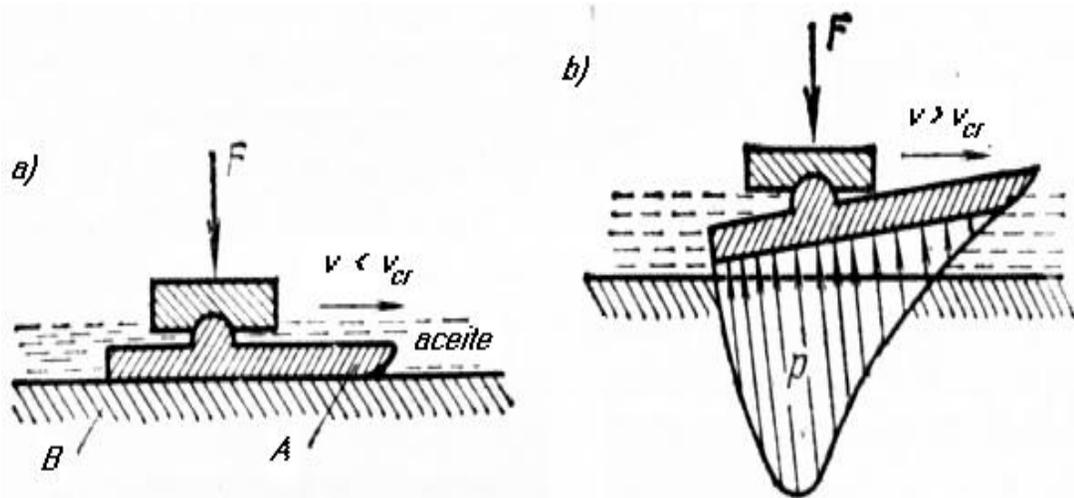


Figura 30: Principio de formación de la cuña hidrodinámica en los cojinetes planos

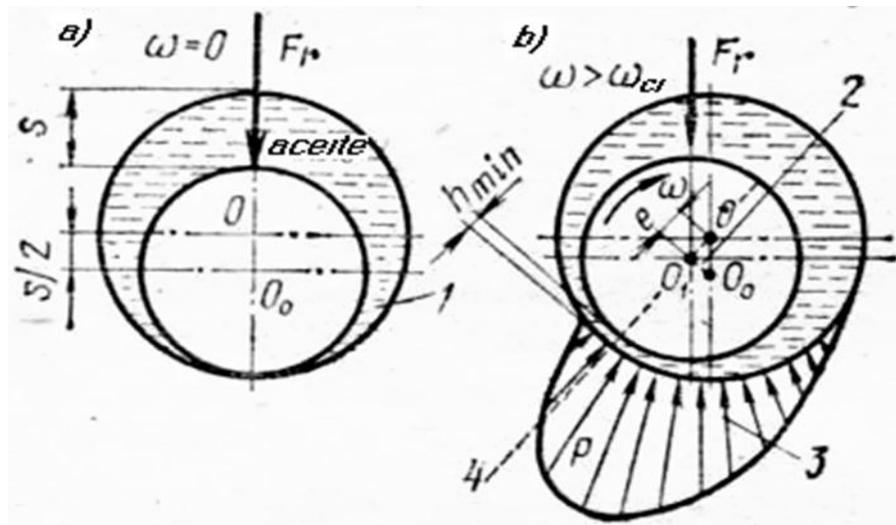


Figura 31: Esquema de cálculo de cojinete simple

El árbol, montado con holgura en el cojinete, bajo la acción de la carga constante F_r ocupa una posición excéntrica; a ambos lados del punto de máximo acercamiento del árbol y del cojinete la holgura toma una forma de cuña. Al rotar, el árbol transporta el aceite. La primera capa que moja la superficie del árbol se desplaza con éste por la absorción del aceite en la superficie metálica del árbol; las siguientes capas se desplazan a consecuencia de la viscosidad interna del aceite. De esta manera, el árbol actúa como una bomba que impulsa el aceite a la cuña formada. En el dominio de la lubricación líquida, la posición del árbol está determinada por el parámetro $\eta n/p$.

En la figura 30 se muestran dos placas A y B impregnadas en aceite y cargadas con la fuerza F . La placa A se mueve con relación a la placa B con velocidad v . Si la velocidad v es pequeña (figura a)), entonces la placa A desplaza el aceite de la placa B. Las superficies de las placas entran en contacto directo, teniendo lugar lubricación semilíquida. Para una velocidad v suficientemente grande la placa A se levanta sobre la capa de aceite y adopta una posición inclinada, semejante al levantamiento de los esquís acuáticos. Entre las placas se forma una holgura en forma de cuña. El aceite ininterrumpidamente penetra en esta holgura. El paso del aceite a través de la holgura convergente va acompañado de la formación de la presión p (ver figura 31), la cual equilibra la carga externa. En este caso el movimiento continúa en condiciones de fricción líquida. El paso al régimen de lubricación líquida ocurre a una cierta velocidad denominada velocidad límite v_{cr} .

Al ingresar en el sentido de rotación a la cuña convergente el aceite, prácticamente incompresible, tiende a fluir en las direcciones circular y axial, a lo que se oponen las fuerzas de viscosidad. Como resultado de esto surge una presión que crece progresivamente hacia el punto de máximo acercamiento del muñón y del cojinete, donde el paso de aceite se dificulta por lo estrecho de la holgura. Parte del aceite fluye a través de las holguras de costado y en la dirección contraria al movimiento del árbol; la parte restante debe pasar a través de la mínima holgura. Las fuerzas de presión que se crean en la capa lubricante levantan el árbol y al mismo tiempo lo desplazan hacia el lado de la rotación. El estado de equilibrio se alcanza cuando la sección de paso en el sitio más estrecho (h_{min}) es suficiente para el paso del aceite que no se fuga por los costados.

La máxima presión en las inmediaciones de la mínima separación del muñón y el cojinete supera en 2 – 3 veces la presión específica $p = F/d$ y puede alcanzar varias decenas de MPa.

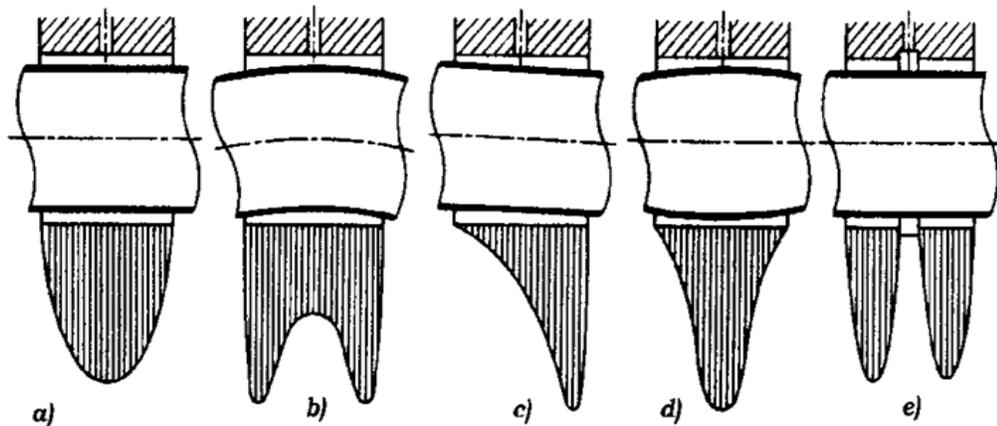


Figura 32: Presión de la capa lubricante a lo largo del eje del cojinete.

La presión a lo largo del eje en un cojinete cilíndrico correctamente diseñado varía en forma de función parabólica (figura 32, a) y cae bruscamente en los extremos del cojinete como consecuencia de las fugas de aceite. La curva real de distribución de presiones a lo largo del cojinete puede distar mucho de la curva teórica como resultado de las deformaciones elásticas del árbol (figura 32, b), de las inclinaciones (figura 32, c) y de las desviaciones de la forma cilíndrica (figura 32,d). En el plano de ubicación de las ranuras de lubricación la presión cae bruscamente (figura 32, e).

La teoría hidrodinámica de la lubricación demuestra que la presión hidrodinámica puede desarrollarse solamente en la holgura convergente o cuña hidrodinámica. La forma de la punta de la placa A ayuda a la formación de la cuña. Si el diseño del cojinete no permite la formación de cuña, entonces en el cojinete no puede formarse lubricación líquida.

1.17.1 ESPECIFICACIONES, VARIABLES Y CARGAS

Relaciones geométricas en los cojinetes. En la caracterización de los cojinetes se consideran la distancia entre los centros del muñón y del cojinete (figura 32) e , denominada excentricidad del muñón, la holgura radial C_r (dada por el ajuste de montaje del muñón sobre el cojinete y finalmente el parámetro del cojinete que se calcula), la relación de excentricidad o excentricidad relativa $\varepsilon = e/C_r$, el espesor mínimo de la película de aceite h_0 , la relación longitud / diámetro del cojinete l/d , la holgura relativa $\psi = C_r/r$, el espesor relativo de la capa lubricante $\xi = h_{min}/C_r$ (en los cojinetes completos $h_{min} = h_0$), la viscosidad dinámica del lubricante η , la carga unitaria $p = k = W/d$ (W o F o P es la carga radial, determinada luego de hallar las reacciones), las revoluciones n del muñón (o su velocidad angular ω , en rad/s), el coeficiente de rozamiento f .

En el cálculo de los cojinetes es importante determinar el número de Sommerfeld o número característico del cojinete, S , a partir del cual otros parámetros como el espesor relativo de la capa lubricante h_{min}/C_r y el coeficiente de rozamiento variable $f \cdot r/C_r$, pueden determinarse. El número de Sommerfeld está dado por la expresión (19):

$$S = \frac{\eta \cdot \omega}{k \cdot \psi^2} \quad (19)$$

El valor de S , para un cojinete dado depende de la excentricidad relativa ε ($\varepsilon = e/0,5 \cdot S$, siendo $S = C_d$ la holgura diametral¹) (la cual determina la posición del muñón en el cojinete en el régimen de lubricación líquida) y de la relación l/d . En la figura 33 se observa el gráfico que relaciona el número de Sommerfeld con el parámetro de espesor relativo de la capa lubricante.

En la figura 34, se presenta un gráfico que relaciona el inverso del número de Sommerfeld con la excentricidad relativa.

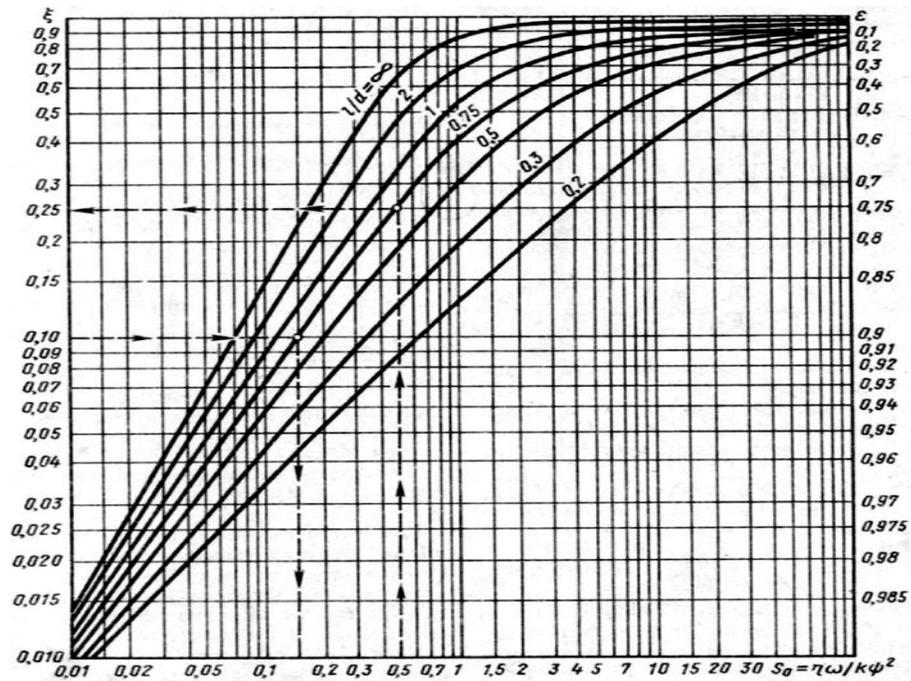


Figura 33: Espesor relativo de la capa lubricante en función del número de Sommerfeld

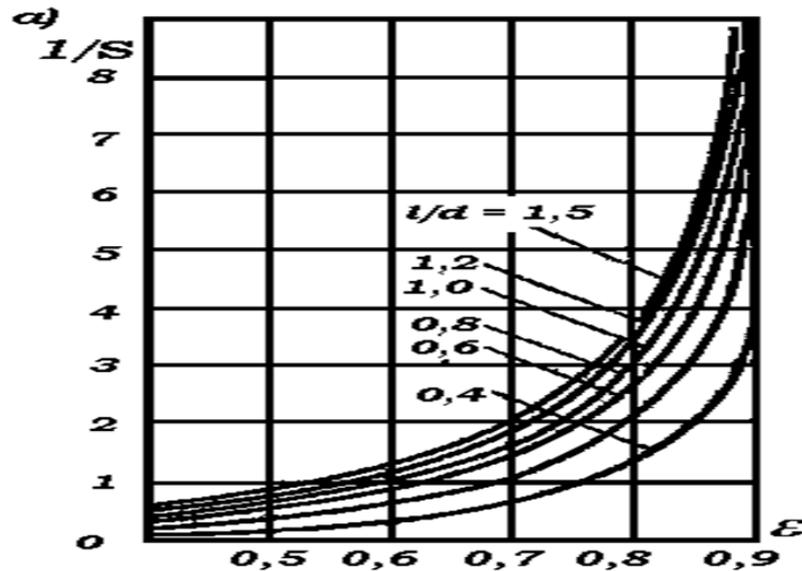


Figura 34. Magnitud inversa al número de Sommerfeld como función de la excentricidad relativa del cojinete para diferentes valores de la relación l/d

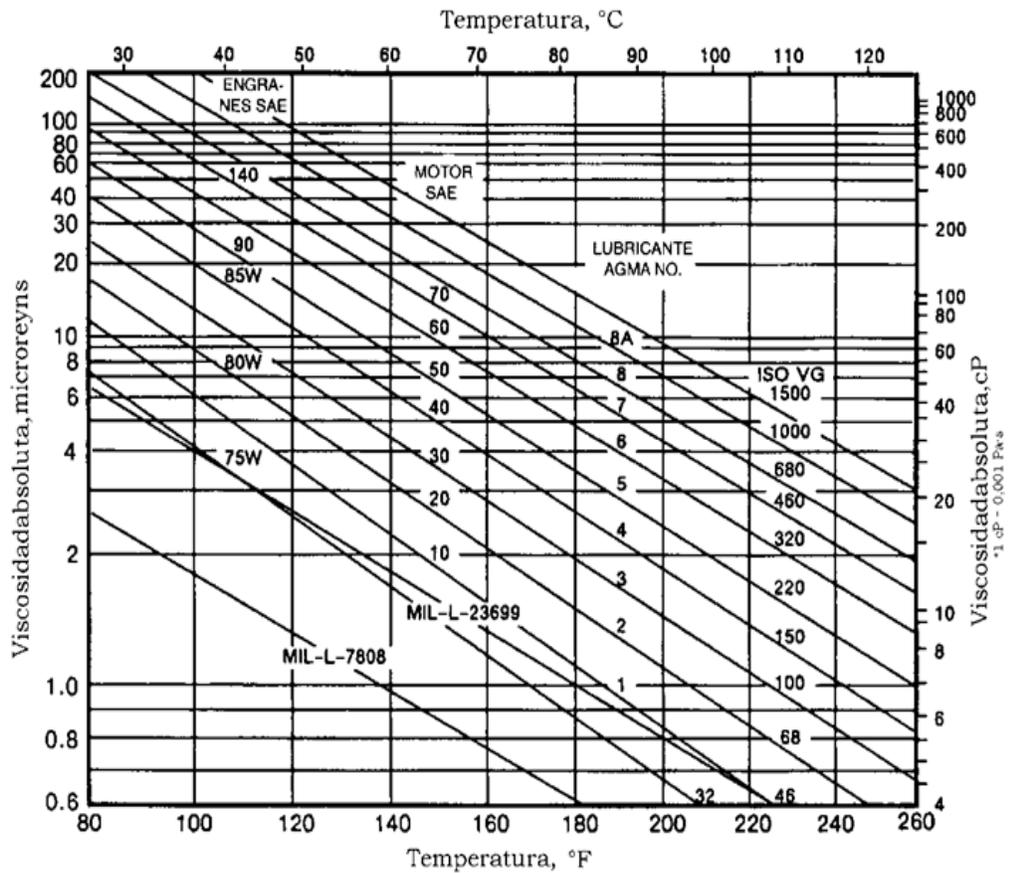


Figura 35: Ejemplos de referencia de viscosidades de aceites a diferentes temperaturas.

El cálculo del cojinete incluye también el cálculo del coeficiente de fiabilidad según la capacidad de carga, χ , el cual se determina como la relación entre el número de Sommerfeld real del cojinete obtenido y el número de Sommerfeld crítico calculado con la holgura crítica dada por las rugosidades de las superficies del muñón y del cojinete:

$$\chi = \frac{\lambda}{\lambda_{cr}} = \frac{S_0}{S_{0cr}}, \quad (20)$$

Siendo $\lambda = \eta n/k$ un factor característico del cojinete (en él la viscosidad se reemplaza en Pa·s, las revoluciones n en s^{-1} y la carga unitaria en Pa). Dividiendo este valor por $5,9 \cdot 10^9$, se convierte el valor de λ al parámetro (Zn/p) , el equivalente factor característico del cojinete en la literatura americana (cuando la viscosidad

dinámica Z se expresa en centipoises, las revoluciones en rpm y la carga unitaria, p en kg/cm^2).

En la literatura técnica se encuentran los valores recomendados de λ (Zn/p), para diferentes aplicaciones. Cada cojinete cilíndrico liso tiene su propia curva λ (Zn/p) – f , todas semejantes (figura 36), que indica lo que sucede con el coeficiente de fricción f cuando varía el factor característico λ , por cambios de la viscosidad, las revoluciones, la carga unitaria o todos ellos.

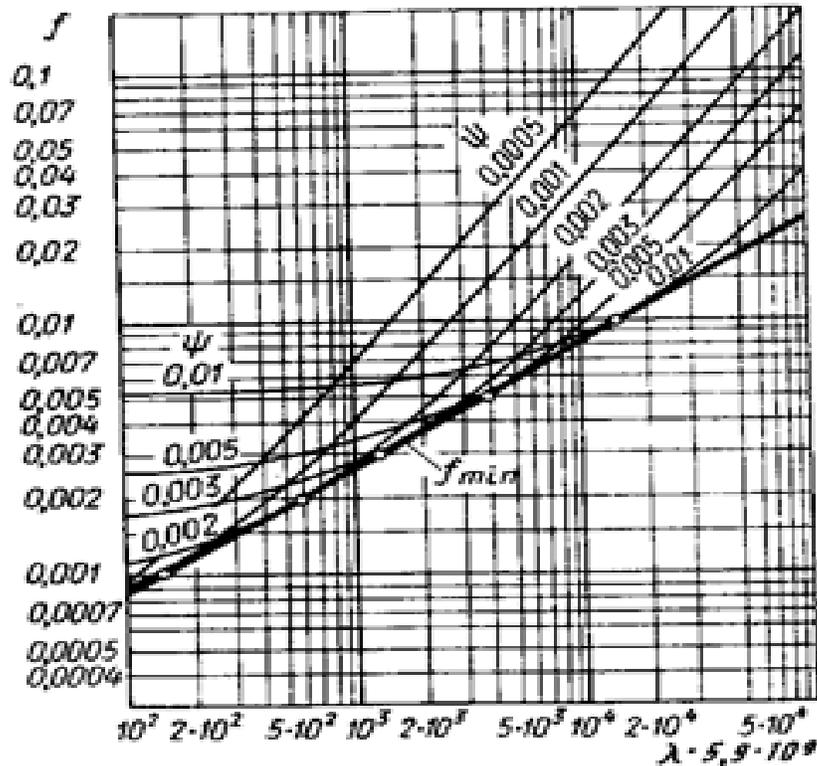


Figura 36: El coeficiente de fricción f como función del factor característico del cojinete λ .

A medida que aumenta la velocidad de rotación se logra la lubricación semilíquida, el coeficiente de fricción disminuye y el árbol se desplaza en el sentido de rotación mientras no se produzca la separación de las micro irregularidades. Al aumentar λ el centro del árbol tiende hacia el centro del cojinete, la cuña tiende a desaparecer y la presión en la capa lubricante tiende a cero (esto puede ocurrir cuando la carga externa sea cero).

Con valores altos de λ hay acción hidrodinámica y lubricación de película gruesa. Cuando λ disminuye, se alcanza un punto de f mínimo; si λ sigue disminuyendo,

las irregularidades de las superficies comienzan a tocarse y f comienza a subir rápidamente hacia un valor del orden de $0,1$ (estos últimos valores no se muestran en la gráfica), para una superficie apenas mojada por el aceite. Desde el valor de f_{min} , el cual depende de la rugosidad de las superficies, en la zona de transición, las relaciones para la acción hidrodinámica ya no son aplicables. Para las superficies más lisas con cojinete cuidadosamente ajustado, lo que contribuye a alisar más las superficies, el mínimo f corresponde a $\lambda \leq 2,37 \cdot 10^{-9}$, correspondientes a un número de Sommerfeld típico de $0,0157$. Cuanto más lisas son las superficies, mayor es la capacidad de carga del cojinete, la película de lubricante puede ser más delgada. Sólo en circunstancias excepcionales diseño se deja que $\lambda \leq 1,18 \cdot 10^{-8}$. En general, lo más recomendable es buscar que $\lambda \approx 1,18 \cdot 10^{-7}$.

Así, el cálculo de un cojinete no comprueba un coeficiente de seguridad, sino un coeficiente de fiabilidad, que es función de la relación de la holgura mínima real que se puede obtener y la holgura crítica dada por la suma de las rugosidades de las superficies del par.

Para un cojinete óptimo ($\xi = h_{min}/C_r$), manteniendo las demás condiciones constantes, la capacidad de carga del cojinete es proporcional al cubo del diámetro del muñón:

$$F = \frac{12,2}{m^2} d^3 \left(\frac{l}{d} \right)^2 \eta \cdot n, \quad (21)$$

Siendo m un coeficiente relacionado con el cambio de tolerancias para el muñón:

Tolerancia	c8	d9	d8	f9	e8	f8	f7	f6
m	23	21,5	17	13	12	9	7,5	6.

La holgura relativa media conociendo el parámetro m , se determina como $\psi_m = 10^{-3} m / \sqrt{d}$, dado d en mm.

1.17.2 Cálculo y diseño de los cojinetes.

Durante el cálculo del cojinete generalmente se conocen: el diámetro del muñón d , la carga radial W (o F o P) y las revoluciones del árbol n . Se deben determinar la longitud del cojinete l , la holgura C_d^1 y la viscosidad dinámica del aceite η . La mayoría de los parámetros conocidos se dan o seleccionan, basándose en recomendaciones, salidas de la práctica y las cuales se encuentran en las

referencias. Luego se revisa la fiabilidad del cojinete en relación al régimen de lubricación líquida. En este caso se recomienda el siguiente orden:

Se selecciona la relación l/d (en general, los valores para esta relación están en el rango $l/d = 0,8 \dots 1,2$). Esta relación debe considerar entre otras cosas la revisión de la presión específica soportada por el par y el producto de dicha presión por la velocidad periférica. Para los materiales de los cojinetes se conocen los valores admisibles $[p]$ y $[pv]$ (por ejemplo, para babitt la velocidad periférica debe ser menor que $v = 12$ m/s, la carga unitaria $[p] = 15$ MPa, el producto de la carga unitaria por la velocidad $[pv] = 10$ MPa·m/s. Para cojinetes de ejes lentos que trabajan por períodos cortos, con frecuentes paradas de inactividad la presión específica es el primer parámetro de selección ($p = W/(l \cdot d) \leq [p]$); para los cojinetes de velocidad media el primer cálculo es el del producto de la presión específica por la velocidad ($p \cdot v \leq [p \cdot v]$), este cálculo de forma aproximada previene el desgaste intensivo, el recalentamiento y el atascamiento (ver tabla 8).

Tabla 8. Valores permisibles de velocidades, cargas específicas y sus productos, para algunos materiales comunes en la fabricación de cojinetes

Material del recubrimiento	$\leq v, m/s$	$[p], Mpa$	$[pv], MPa \cdot m/s$
Fundición gris	0,5	4	--
Fundición antifricción	5 (1)	0,5 (12)	2,5 (12)
Bronce	10	15	15
Latón	2	12	10
Babbitt	12	15	10
Metalcerámica de bronce y grafito	2	4	--
Metalcerámica de hierro y grafito	2	5,5	--
Acrílico, teflón	4	15	15
Madera plastificada (lubricada con agua)	1	10	--
Caucho, lubricado con agua	--	2 ...6	--
Carbón/grafito	--	1,4 ... 2	0,11
Metal impregnado de grafito	--	70	0,28 ... 0,35
Teflón con relleno adherido a chapa de acero.	--	7	1,75

Existen en la literatura recomendaciones para la selección de la viscosidad del aceite a su temperatura de operación, considerando las diferentes presiones específicas y las velocidades. En la figura 37 se reproduce una de dichas gráficas.

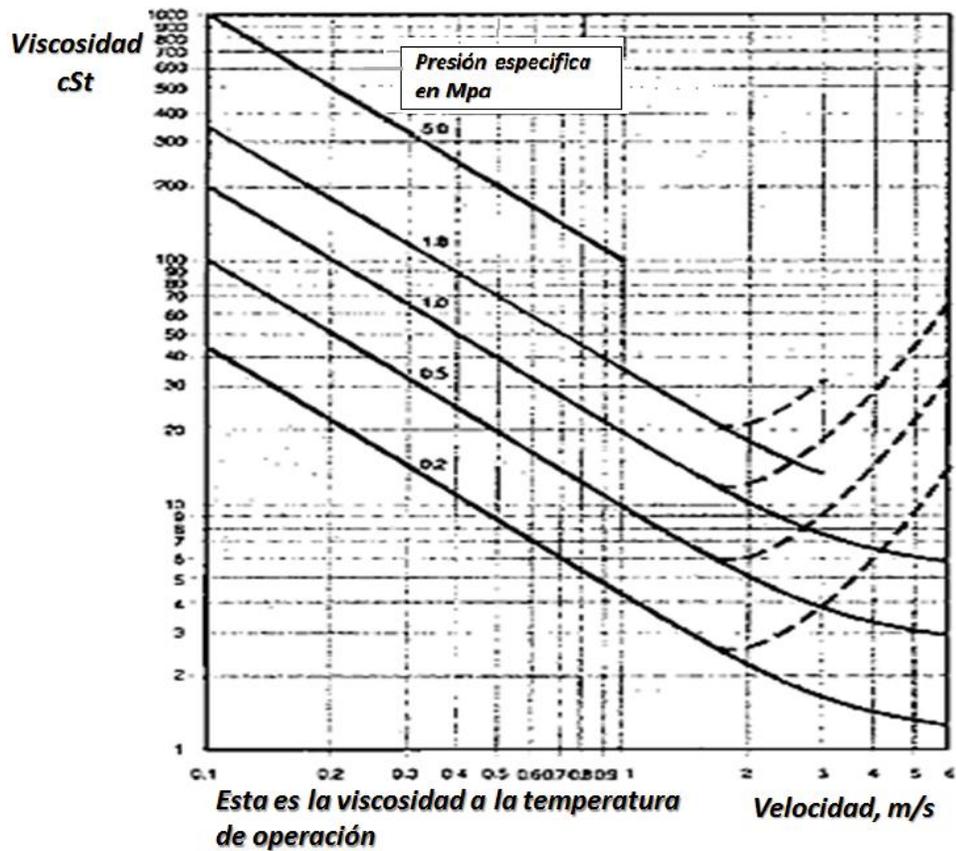


Figura 37: Viscosidad mínima requerida del aceite como función de la presión específica y la velocidad del muñón.

Se elige la holgura relativa $\psi = C_r/r$. Para esto se emplean las recomendaciones para diseños análogos o una fórmula empírica según la cual el valor medio de la holgura relativa puede tomarse inicialmente como: $\psi \approx 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot v^{0,25}$, donde v es la velocidad periférica del muñón.

Para árboles de diámetros relativamente pequeños (hasta 250 mm) se recomienda tomar una holgura estándar (generalmente $H/f7$, $H9/e8$, $H7/e8$, $h9/d9$).

Se elige el tipo de aceite y su temperatura media (empleando las gráficas de los fabricantes de aceites), considerando la práctica de operación de máquinas semejantes. La temperatura media de operación del aceite se toma en el rango $t_m = 45 \dots 75 \text{ }^\circ\text{C}$; por gráficos, como el de la figura 30, se determina la viscosidad media.

En la tabla 9 se presentan algunas equivalencias de viscosidades.

En el caso de aceites para motores, la temperatura de operación a la cual se especifica la viscosidad del aceite es $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Tabla 9: Tabla de equivalencias de algunas viscosidades.

Grados Engler a 50 °C	cSt a 40 °C	°ISO	SAE Motor
28,0	414 - 506	460	-
24,0	288 - 352	320	
17,0	198 - 242	220	50
12,0	135 - 165	150	40
8,0	90 - 100	100	30
5,8	61 - 74	68	20
4,0	41 - 50	46	20
3,0	28 - 35	32	-
2,2	19 - 24	22	10W

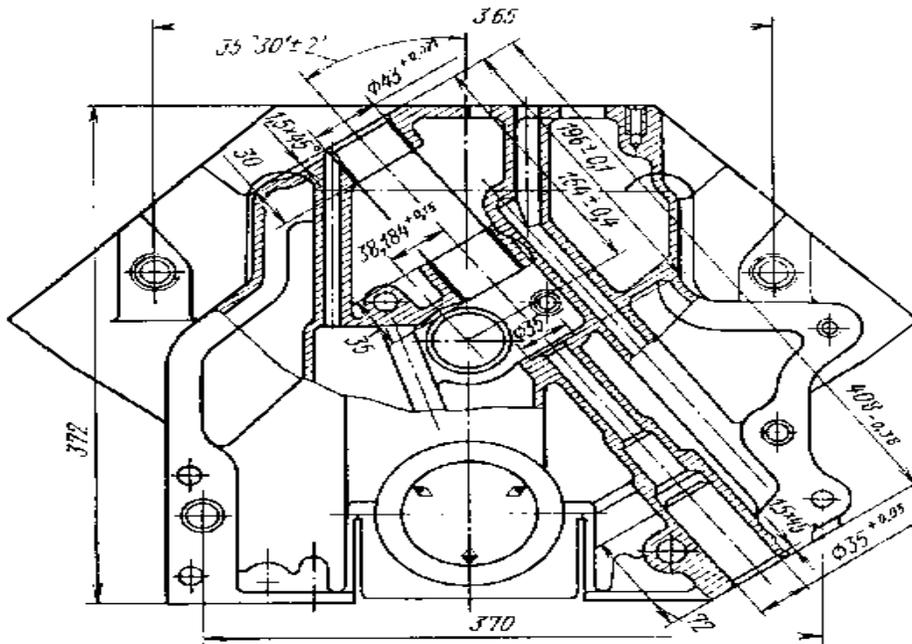
1. Se determinale número de Sommerfeld por la fórmula (16) y, a partir de gráficos, como el de la figura 31,a, se determina la excentricidad relativa ε . Luego por la expresión $h_{min} = (0,5C_d - e) = 0,5C_d(1 - \varepsilon)$, se determina la magnitud de h_{min} .
2. Se determina el valor de la holgura crítica $h_{cr} > R_{z1} + R_{z2}$. Se recomienda para el muñón $R_z = 3,2$ y para el cojinete R_z no inferior a 6,3.
3. Se determina el coeficiente de fiabilidad, en función de la holgura crítica, del espesor de la capa lubricante del cojinete:

$$N_h = h_{min}/h_{cr} \geq [N_h] \approx 2.$$

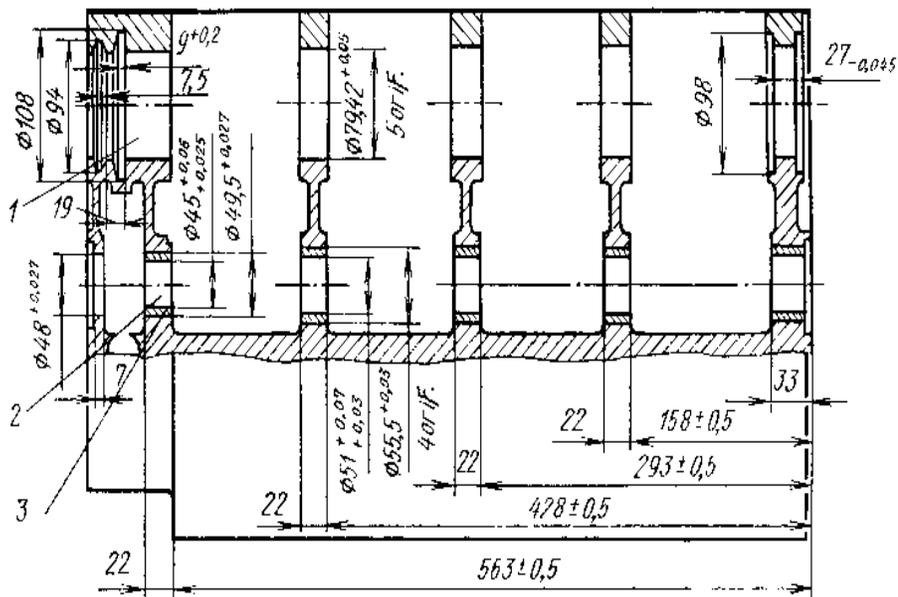
Para la lubricación del cojinete se suelen tener en cuenta las siguientes recomendaciones guía, a partir del valor de $\sqrt{p \cdot v^3}$: si $\sqrt{p \cdot v^3} < 16 \cdot 10^3$, es suficiente con la lubricación anular hidrodinámica, sin enfriamiento del cojinete; si $\sqrt{p \cdot v^3} \approx (16 \dots 32) \cdot 10^3$, se puede dejar sólo la lubricación anular hidrodinámica, pero a condición de enfriar la carcasa o el aceite en la carcasa. Para $\sqrt{p \cdot v^3} > 32 \cdot 10^3$, se requiere de lubricación circulante bajo presión. En los casos de mayor responsabilidad, el cálculo de lubricación líquida se acompaña del cálculo térmico.

1.17.3 Los cojinetes en los motores de combustión interna

Los cojinetes están destinados para separar las partes móviles de las partes de apoyo y proveer el funcionamiento fiable prolongado y con las mínimas pérdidas del mecanismo en el que se instalan. Para esto se debe proveer el adecuado par de materiales, las dimensiones y las holguras, de suerte que se soporten las cargas específicas para los diferentes regímenes de operación (variadas combinaciones de velocidad y carga).



Plano 1



Plano 2

Figura 38: Planos (1 y 2) tecnológicos del bloque de un motor en V. Se aprecian los círculos para el montaje de los cojinetes de los apoyos de bancada, del árbol de levas y del eje de la bomba de aceite.

Seleccionando el par adecuado de materiales es posible un buen funcionamiento del mecanismo con desgaste mínimo y baja fricción, pero ayuda mucho y es imprescindible para la mayoría de las aplicaciones de potencia la utilización de un material intermedio entre las piezas del par, un lubricante. Se genera así una exigencia adicional en el diseño de los cojinetes que consiste en que debe garantizarse la lubricación líquida, debe establecerse y mantenerse una película de aceite entre esas superficies conjugadas para todas las posibles condiciones de operación.

A pesar del buen diseño del cojinete en un par de deslizamiento lubricado, siempre ocurre una pequeña cantidad de desgaste. Las dos causas principales son: la película de aceite lubricante se adelgaza demasiado o se desprende por completo por un tiempo reducido; o partículas extrañas como mugre a través del huelgo del cojinete, junto con el lubricante. Este desgaste recae sobre el cojinete, el muñón o ambos.

Previendo el desgaste de los cojinetes, antes que el del muñón o el apoyo, se debe calcular la holgura apropiada y la viscosidad del aceite; así mismo se debe concebir el cojinete fácil y preciso en su reemplazo. Un cojinete reemplazado debe satisfacer las especificaciones de montaje y rendimiento originales.

Para una lubricación correcta debe preverse que el aceite fluya a través de una holgura entre el muñón y el cojinete. Para tener la seguridad de esto los cojinetes se deben fabricar con una holgura entre el diámetro exterior del muñón del árbol y el diámetro interior del cojinete, este espacio se denomina huelgo de aceite. Sin embargo, el huelgo de aceite no debe confundirse con el espacio entre el eje y el cojinete en el punto de carga máxima (dimensión de película de aceite). Considerando que el huelgo para aceite es de unas centésimas de milímetro (en motores de automóvil, por ejemplo), la dimensión de la película de aceite puede ser veinte veces menor, lo que puede ser menos que la mitad de un grano de polvo de talco.

El lubricante además es un medio enfriador que toma el calor que se produce por la compresión de la película de aceite con el deslizamiento molecular y la película delgada lo acondiciona y aleja de la zona del cojinete fuera de los extremos de este último. En un sistema de lubricación de motor la válvula de seguridad regula el flujo del aceite para mantener en todo momento la presión correcta del aceite. La presión de aceite excesiva que tiene lugar en un motor nuevo abre la válvula de seguridad, permitiendo con ello que el exceso de aceite retorne al cárter. A medida que los cojinetes se desgastan, el aumento en el huelgo de aceite demanda un incremento en el flujo, con lo que la presión se empieza a reducir.

1.17.4 Materiales para cojinetes

Además de formar un buen par de fricción, los materiales para cojinetes deben poseer elevada resistencia a la fatiga, buena conformidad, incrustabilidad, acción superficial, resistencia a la corrosión, resistencia térmica, conductividad térmica. La selección del material para cualquier cojinete especificado es en realidad una transigencia, dependiendo del empleo previo.

Muchos de los cojinetes que se emplean son de capas múltiples. Un cojinete básico tiene dos capas. Una capa es un dorso de acero y la otra es un forro de materiales de cojinete. Algunos diseños incorporan una tercera capa, superpuesta sobre el forro del material del cojinete. Esta capa superpuesta es también de un material de cojinete, pero diferente al del forro. Este cojinete se llama cojinete trimetálico.

La superficie de cojinete es la parte de un cojinete liso que lleva a cabo la función de antifricción básica, y por lo tanto se considera que es de importancia primordial. De todos los materiales que se emplean con esta finalidad, el que más se usa es el metal Babbitt (por Isaac Babbitt, su inventor), una aleación blanda compuesta de 83 % de plomo, 15 % de antimonio, 1 % de estaño y 1 % de arsénico. El Babbitt proporciona el deslizamiento requerido para superar la fricción, la blandura requerida para que una cantidad razonable de materiales extraños se incrusten por sí mismas, el “flujo” necesario para que el eje y el cojinete se conformen entre sí.

Los cojinetes de motor que se usan más comúnmente pueden agruparse en cuatro clasificaciones:

Babbitt. Este material viene en dos categorías – Babbitt convencional y micro o delgado – y puede tener material de base de estaño o plomo. Los cojinetes de Babbitt convencional se diferencian de los de micro en la cantidad de Babbitt laminado en el dorso del acero. Los cojinetes convencionales tienen una cantidad de Babbitt considerablemente más gruesa depositada en el dorso de acero.

Los cojinetes de microBabbitt ofrecen excelente resistencia a la fatiga y acción superficial y resistencia a la corrosión buena, pero su conformación e incrustabilidad son más pobres que los Babbitt convencionales. La duración del cojinete aumenta rápidamente a medida que el espesor del Babbitt disminuye a menos de 0,014 pulgadas.

Cobre y plomo sinterizados. Estos materiales se hacen sinterizando polvos metálicos en una tira de acero. Pueden obtenerse con capa superpuesta o sin

ésta. La técnica de sinterización que se emplea para producir cojinetes de aleación de cobre es un proceso de tira continua. Un polvo de cobre y plomo prealeado o polvo de cobre puro se aplica uniformemente en un espesor predeterminado a una tira de acero continua, de acuerdo con el material que se produce. A continuación se aplica calor (sinterización) y laminado compresivo para fundir y ligar las partículas de cobre entre sí y a la base de acero. Con el polvo prealeado, el plomo en cada partícula se licua en el horno de sinterización y llena los diminutos espacios entre cada partícula.

Los materiales de cojinete hechos por el método de polvos de cobre y plomo prealeados, sinterizados, tienen generalmente un contenido más alto de cobre y la mayoría de los cuales se usa con una capa superpuesta de Babbitt, electrochapada, siendo su clasificación de trabajo pesado. Con el polvo de cobre puro, las partículas se funden durante el proceso de sinterización. Un infiltrador de Babbitt se aplica a la superficie de la tira sinterizada, al final del horno. El Babbitt se infiltra a través de las partículas de cobre hasta la base de acero, llenando los pequeños vacíos para producir una superficie de cojinete que se compone aproximadamente de 50 % de cobre y 50 % de plomo.

Cobre y plomo fundidos. En este grupo la aleación de cobre y plomo se funde en una tira de acero. Pueden obtenerse con capa superpuesta o sin ésta. Con este proceso los metales básicos que han de usarse se calientan primero hasta que se funden. La aleación líquida se aplica entonces a la base de la tira de acero continua y se solidifica enfriándola en aceite y agua.

Los cojinetes bimetálicos fundidos o de cobre y plomo al descubierto sinterizados poseen una resistencia a la fatiga muy superior a los de Babbitt convencional o de microBabbitt, especialmente a elevadas temperaturas. La acción superficial y resistencia a la corrosión son menores.

Aunque en la escala intermedia de resistencia a la fatiga estos cojinetes son superiores a los de Babbitt, dicha cualidad no es tan buena como las de las aleaciones que contienen un alto porcentaje de cobre y emplean una capa superpuesta de Babbitt electrochapada.

Los cojinetes de cobre y plomo sinterizados trimetálicos tienen una capa superpuesta de plomo, estaño y cobre, coenchapada de aproximadamente una milésima de pulgada de espesor. Estos cojinetes son particularmente apropiados para aplicaciones automotrices por su gran resistencia a la torsión, conformación e incrustabilidad excelentes, así como buena acción superficial y buena resistencia a la corrosión sobre el material de cojinete de cobre y plomo sinterizados sin enchapado.

Los cojinetes de cobre y plomo fundidos trimetálicos tienen una capa superpuesta de Babbitt electrochapada de plomo, estaño y cobre de una milésima de pulgada de espesor. Estos cojinetes son especialmente adecuados para servicio pesado, puesto que ofrecen gran resistencia a la fatiga, conformación, incrustabilidad y acción superficial excelentes, y sobresaliente resistencia a la corrosión, especialmente a elevadas temperaturas. Algunos cojinetes están diseñados con una capa superpuesta de Babbitt enchapada de 5 diezmilésimas de pulgada, para mejorar la resistencia a la fatiga al máximo de capacidad de carga.

Aluminio. Es un material resistente a la corrosión, de fácil consecución. Los cojinetes de este material pueden obtenerse en construcción sólida, bimetálica y trimetálica. Las investigaciones sobre cojinetes de aluminio dieron como resultado el desarrollo de una aleación con 6% de estaño, 1 % de cobre, 1 % de níquel y el resto de aluminio y su número de identificación es el SAE 770. Por lo general, la aleación es fundida y numerosas veces los cojinetes hechos de este material no tienen dorso de acero y se denominan cojinetes de aluminio macizos. En la mayoría de los casos se aplica un revestimiento galvánico de estaño al cojinete terminado, con el fin de ayudar al asentamiento inicial y mejorar también el aspecto general.

El aluminio posee una característica única en su género: su coeficiente de expansión es aproximadamente dos veces mayor que el del hierro o el acero. Este singular distintivo plantea problemas en el diseño de los cojinetes, por lo que los cojinetes de aluminio macizo se fabrican con una pared de espesor relativamente grueso.

Los cojinetes de aluminio macizo no pueden emplearse en motores donde el ánimo de la cubierta y los diámetros del cigüeñal exigen un diseño de pared delgada.

Los cojinetes de aluminio bimetálicos pueden obtenerse con varias aleaciones diferentes de aluminio forjado, ligadas a un dorso de acero y las cuales por lo general son de diseño de pared delgada. Las aleaciones de aluminio que se usan en cojinetes bimetálicos comprenden desde un 6 % de estaño y aluminio, la misma que se emplea en cojinetes de aluminio fundido macizo, hasta un 3 % de cadmio, 1 % de cobre, 1 5 de níquel y el resto aluminio. Además, otro material existente se compone de un 4 % de silicio, 1 % de cadmio y el resto aluminio. Un material disponible actualmente tiene un 20 % de estaño y aluminio es de uso general en la esfera de servicio intermedio de resistencia a la fatiga del cojinete.

Los cojinetes de aluminio y plomo están concebidos para aplicaciones en la esfera media. Este tipo de aleación se hace mediante el método de fundición de tira o usando técnicas de pulvimetalurgia y laminado. Clevite 66 se produce mediante un proceso de metal pulverizado, patentado y único en su género, que

proporciona seguridad completa de propiedades y características de rendimiento uniformes.

Los cojinetes de aluminio trimetálicos tienen una capa superpuesta de Babbitt electrochapada, de plomo, estaño y cobre, aplicada a la aleación de aluminio forjado básico. Estas aleaciones de aluminio forjado generalmente son de una composición que consiste de 3 % de cadmio, 1 % de cobre, 1 % de níquel y el resto aluminio o un 4 % de silicio, 1 % de cadmio y el resto de aluminio. El espesor de la capa de Babbitt superpuesta electrochapada, que nominalmente es de una milésima de pulgada, ofrece buena resistencia a la corrosión, gran capacidad de carga y buena acción superficial. Algunos cojinetes están diseñados con una capa superpuesta de Babbitt electrochapada de cinco diezmilésimas de pulgada.

2. DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN ELECTRÓNICA AL SISTEMA DE LUBRICACIÓN DEL MOTOR NISSAN SENTRA B14

Este proyecto se realiza bajo una investigación sobre los problemas que han tenido los motores de combustión interna en sus sistemas de lubricación, donde se resalta de forma didáctica una novedosa idea donde se tenga una solución a través de los sistemas electrónicos y automatizados. Los sistemas planteados en este escrito requieren de un estudio teórico práctico, porque este tipo de sistemas a desarrollar e implementar, algunos se encuentran en el mercado con vehículos de gama alta, pero se va a tener la diferencia de que se realizarán con tecnología económica para que tenga mejor alcance para todo tipo de público.

En la siguiente figura se ilustra el circuito de lubricación del motor Nissan Sentra B14.

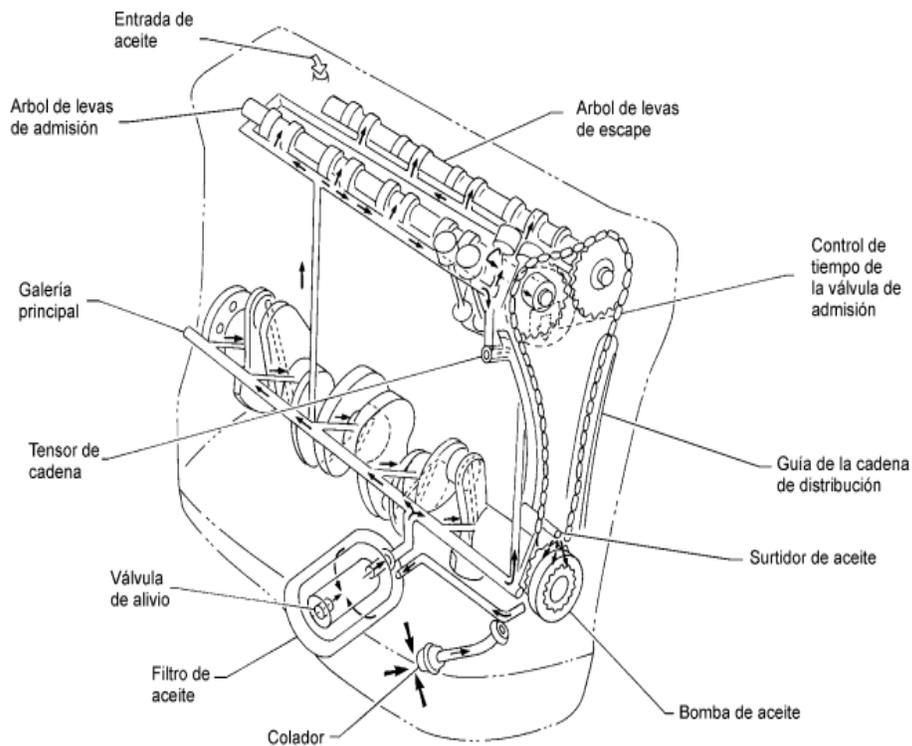


Figura 39: Sistema de lubricación Nissan Sentra B14

El motor de combustión Interna del Nissan Sentra se encuentra bajo muy buenas condiciones de trabajo, donde se evidencia buen trabajo del motor y sin ningún ruido extraño bajo las partes móviles, como árbol de levas, válvulas, cigüeñal, casquetes de motor, pistón, entre otros. Que deben de ser de mucho cuidado en el momento de la revisión para así poder determinar si el motor es apto para las aplicaciones que se tienen que realizar.

En el momento de medir la compresión del motor, este mantiene muy buenos niveles de presión, ya que se encuentra entre los 130 – 140 PSI al tercer golpe de la aguja del reloj de medición, esto indica que la máquina se encuentra en parámetros normales de trabajo. Además, se revisan las bujías y se nota que la combustión interna del motor se está realizando satisfactoriamente, ya que no presenta consumo de aceite o gasolina.

En la revisión del sistema eléctrico hubo que realizar diferentes reparaciones a las instalaciones eléctricas porque había varios cables pendientes por empalmar o que estaban fuera del ramal principal que lleva las señales a la computadora. Después de revisar todas estas variables se empezó a realizar la implementación del sistema de protección electrónica en el sistema de lubricación.



Figura 40: Motor Nissan Sentra.
Fuente: Autores.

Para la toma y estudio del sistema de lubricación se tuvo que trabajar con el manual del vehículo para determinar la presión del sistema de lubricación y sus diferentes secuencias internas, además, se tuvo que trabajar con las variables suministradas por la computadora, para determinar la señal del trompo de lubricación.

Para la realización de esta aplicación fue necesario la implementación de diferentes sistemas que nos generan la lectura y el vistazo que el usuario puede realizar cuando se tiene problemas con el sistema de lubricación: El sistema está compuesto por:

- **Pantalla táctil de 3.2 pulgadas:** Encargada de suministrar la información al usuario.

- **Sensor de lubricación:** Dispositivo encargado de realizar la medición del sistema de lubricación y bajo una señal de voltaje enviarla al microcontrolador para que sea procesada y enviada a la pantalla táctil.
- **Arduino:** Dispositivo requerido para realizar los análisis de las variables del sistema de lubricación.
- **Microcontrolador:** este será anunciado por los cambios que hayan en el sistema de lubricación para generar una alerta o detener el motor.

Todos los datos que sean recogidos y comparados en estos dispositivos se tendrán que analizar de forma veraz cuando el motor esté encendido, ya que debe estar alerta en el momento que por algún detalle se tenga una pérdida de presión en el sistema de lubricación.

Teniendo en cuenta que la finalidad principal del proyecto, es realizar un sistema de protección electrónica en un motor de Nissan Sentra, se recoge la información del sistema de lubricación y se envía a través de variables de bajo voltaje al microcontrolador, para interpretar los cambios generados en el sistema.

Los motores modernos en vehículos de gama baja, vienen con un sistema de seguridad ambiguo en el sistema de lubricación porque sólo viene con un bombillo piloto que sólo se enciende cuando la presión del sistema está por debajo de las 5 libras de presión, y en el momento que fue encendido el bombillo piloto en un motor que está funcionando y llevas varias horas de trabajo, significa de que si el usuario no ve el bombillo piloto en el tiempo prudente, lo más fijo es que el motor va a sufrir graves daños por la pérdida de lubricación en el conjunto del tren móvil. Por dicha razón se requiere del uso de la electrónica en estos motores que son de alta eficiencia de trabajo, que trabaja a muy altas revoluciones y a muy altas temperaturas, las cuales si no son controladas por el sistema de refrigeración y por las propiedades del aceite, serían gravísimos los daños que ocurrirían en este tipo de motores. Debido a esto queremos implementar a través de las ventajas de la electrónica un sistema que sea automatizado y que sea capaz de analizar y decidir en caso de que se presente alguna anomalía dentro del sistema.

3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN ELECTRÓNICA EN EL SISTEMA DE LUBRICACIÓN

El motor de Nissan Sentra es comandado por un sistema de inyección multipunto que genera muy buen rendimiento de combustible y una muy buena eficiencia del trabajo cuando se exige toda su potencia. Este motor cumple con muy buenas condiciones de trabajo que se analizaron y se compararon con los datos originales del manual para saber si su estado era apto para implementar la aplicación de este interesante proyecto.

El sistema es comandado por un sistema de lubricación que es compuesto por una bomba de aceite, un sensor de presión, un filtro de aceite y varios ductos internos en el bloque motor. Bajo todas estas premisas de este sistema mecánico se instaló un sistema electrónico que es capaz de comandar y vigilar todos los datos del sistema lubricación. Para la recolección de los datos del sistema de lubricación se instaló un sensor de presión de aceite que mide la presión y la convierte en una señal eléctrica que es enviada a un microcontrolador para que este realice su proceso de analizar y comparar las variables con los datos originales que vienen programados de ensambladora.

3.1 Sensor de presión de aceite.

Su objetivo es transformar una magnitud física en una eléctrica, en este caso transforman una fuerza por unidad de superficie en un voltaje equivalente a esa presión ejercida. Basándose en el principio del efecto piezoresistivo, el sensor de presión convierte la presión del sistema en una señal de salida eléctrica proporcional a ésta de 0V a 5V.

El sensor presenta una alta resistencia a aditivos agresivos como los contenidos, por ejemplo, en el aceite, el líquido de frenos, el A.CP.M, la gasolina, el refrigerante, etc., y está especialmente indicado para su uso en automoción y en sistemas hidráulicos, entre otros.

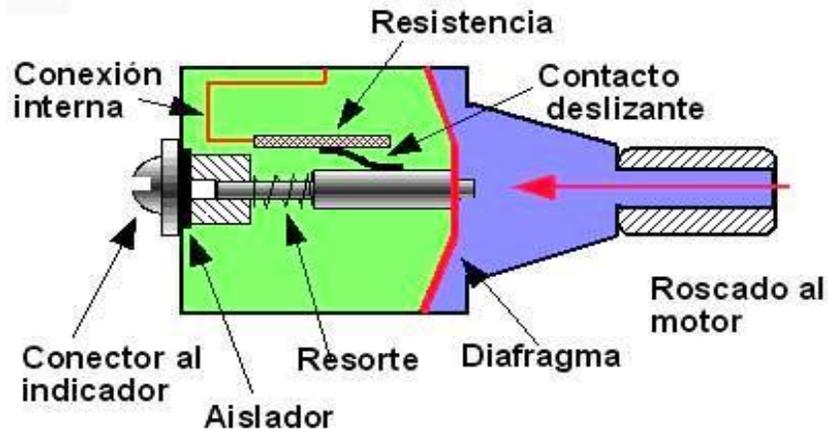


Figura 41: Conexión sensor de presión de aceite.

En la siguiente figura se muestra el sender de presión que se utilizó para la medición de la presión de aceite, este lleva un cable que va a una bornera y es el que se encarga de llevar la señal al Arduino, para que este procese y ejecute las operaciones de protección al sistema de lubricación.

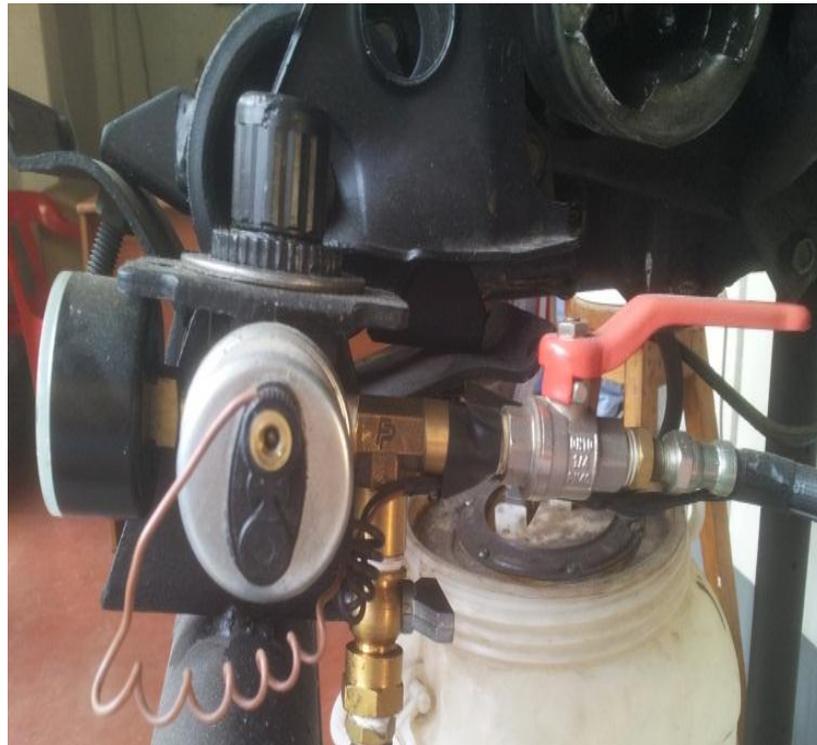


Figura 42.1: Sensor de presión de aceite.
Fuente: Autores.

En el momento que llega las variables del sensor al microcontrolador este empieza a procesar la información y compararla con la asignada en su memoria, para enviarla a la pantalla táctil que le va a mostrar al usuario los datos del sistema de lubricación en un tiempo prolongado de 5 segundos sobre los cuales va a estar retomando las lecturas. El microcontrolador utilizado es el Arduino Uno que cuenta con muy buena capacidad de memoria y de ejecución de actividades; maneja 6 PWM para tener opciones de trabajo y se pueda configurar los datos adquiridos en un bloque de funciones.

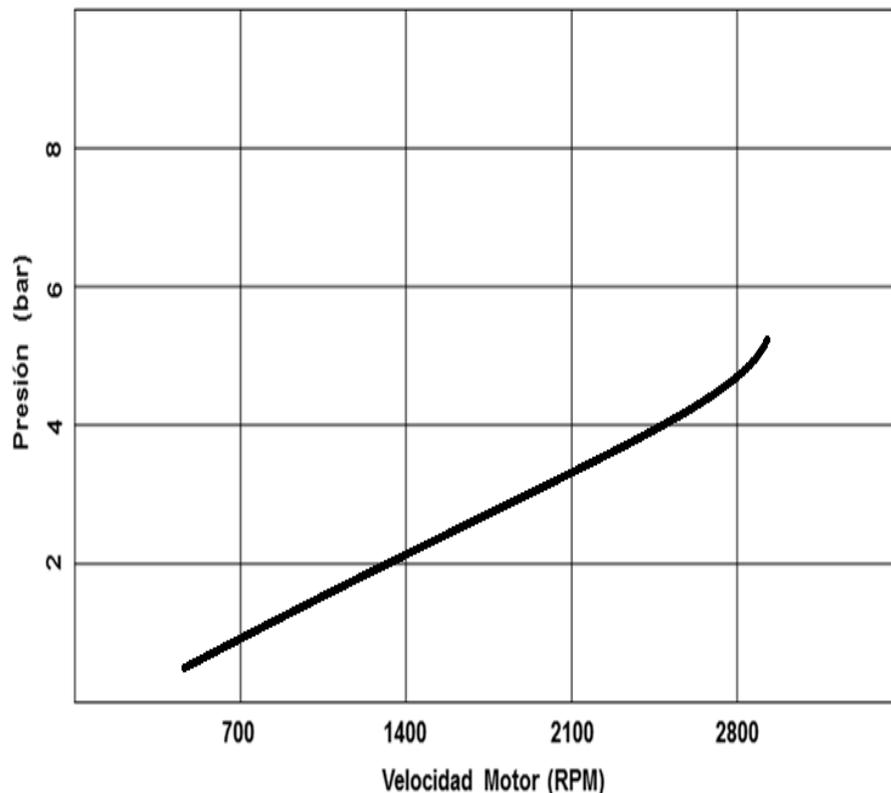


Figura 43: Medida aproximada de Presión de Aceite Vs. Rpm Nissan B-14

3.2 Tarjeta de desarrollo Arduino uno.

Arduino es una plataforma de código abierto basado en prototipos de electrónica flexible y fácil de usar para distintos hardware y software basado en entradas y salidas. Arduino puede detectar el medio ambiente mediante la recepción de la entrada de una variedad de sensores y puede controlar luces, motores y otros actuadores.

Los proyectos Arduino pueden ser independientes o se pueden comunicar con el software que se ejecuta en un computador (por ejemplo, Flash, Processing, Max MSP). Los diseños de referencia de hardware (archivos CAD) están disponibles bajo una licencia de código abierto, es libre de adaptarlos a cada necesidad. La tarjeta de programación Arduino UNO viene lista para usar, basta con conectar la tarjeta al computador por medio del puerto USB o con un adaptador AC/DC, no requiere programador externo; Además es compatible con los diferentes módulos Arduino permitiendo de forma fácil adaptar comunicación inalámbrica Xbee, comunicación Ethernet, entre otras.

Especificaciones técnicas de Arduino Uno. El Arduino UNO es una placa electrónica basada en el ATmega328. Cuenta con 14 entradas / salidas digitales, 6 entradas analógicas, una de 16 MHz del oscilador de cristal, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera de ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar al micro.

Tabla 10: Características Arduino.

Micro controladores	ATMega328
Voltaje de funcionamiento	5V
Voltaje de Entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (los límites)	6-20V
Digital pines I / O	14 (6 proporcionan una salida PWM)
Pines de entrada analógica	6
Corriente de I / S de CC Pin	40 mA
De corriente continua de 3,3 V Pin	50 mA
Memoria Flash	32 KB (ATmega328)
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Velocidad de reloj	16 MHz

Fuente. <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>

Poder. El Arduino UNO puede ser alimentado a través de la conexión USB o con una fuente de alimentación externa que se selecciona automáticamente, el poder puede venir de un adaptador de CA a CC (en la pared verruga) o la batería. El

adaptador se puede conectar a un centro de 2.1mm plug-positivo en el conector de alimentación de la placa, los cables de la batería se pueden insertar en los encabezados de pin GND y Vin del conector de alimentación.

La junta puede operar en un suministro externo de 6 a 20 voltios. El rango recomendado es de 7 a 12 voltios.

Pines de alimentación.

VIN. Se puede suministrar tensión a través de este pin cuando el voltaje de entrada a la placa Arduino es diferente a 5 voltios de la conexión USB.

5V. La fuente de alimentación regulada para alimentar el micro controlador y otros componentes en el tablero, se suministra a través de USB.

3V3. 3,3 voltios generados por el chip en la placa FTDI. Consumo de corriente máxima es de 50 mA.

Entradas y Salidas del módulo. Cada uno de los 14 pines digitales en el Arduino puede ser utilizado como una entrada o salida, usando pin Mode, digital Write y digital Read, operan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir un máximo de 40 mA y tienen una resistencia interna pull-up de 20 a 50 kOhm.

Algunos pines tienen funciones especializadas:

Serie: Se utiliza para recibir (RX): 0 y transmisión (TX): 1 datos serie TTL.

Interrupciones externas: 2 y 3, estos pines pueden ser configurados para activar una interrupción en un valor bajo, un flanco ascendente o descendente, o un cambio en el valor.

PWM: 3, 5, 6, 9, 10 y 11 proporcionan 8-bits de salida con la analog Write función.

LED: 13. Led conectado al pin digital 13. Cuando el pin es de alto valor, el led está encendido, cuando el pasador es bajo, es apagado.

El Arduino tiene 6 entradas analógicas, cada una proporciona 10 bits de resolución (es decir 1024 valores diferentes).

Comunicación. El Arduino tiene una serie de facilidades para comunicarse con un computador, otro Arduino, u otros micro controladores.

El ATmega328 ofrece UART TTL (5V) de comunicación en serie, que está disponible en los pines digitales (RX) y (TX). Un FTDI FT232RL en los canales de la junta con comunicación serial a través de USB y drivers FTDI que proporcionan

un puerto COM virtual con el software en el computador. El software de Arduino incluye un monitor de serie que permite que se envíe y reciba datos de texto a la placa Arduino a través del chip FTDI y la conexión USB al computador.

Programación. El Arduino UNO es programado con el software libre de Arduino; Seleccione Arduino Uno ATmega 328 "de las Herramientas> Junta de menú (de acuerdo con el micro controlador en el tablero). El ATmega328 en el Arduino Uno viene pre-cargado con un gestor de arranque que le permite cargar un nuevo código sin el uso de un programador de hardware externo.

Restaurar automáticamente. El Arduino Uno está diseñado de una manera que le permite ser restaurado mediante el software que se ejecuta en un ordenador conectado. Una de las líneas de control de flujo de hardware está conectado a la línea de reposición del ATmega328 a través de un condensador 100 nano faradios. Cuando esta línea se afirma, la línea de reset cae lo suficiente como para restablecer el chip.

USB protección contra sobre corriente. El Arduino Uno tiene un poli fusible reajutable que protege los puertos USB de sobre corriente. Si hay más de 500 mA, automáticamente se corta la conexión hasta que el cortocircuito o una sobrecarga sean eliminados.

Características físicas. La longitud máxima y la anchura de la placa Arduino Uno son 2,7 y 2,1 pulgadas respectivamente. Tres orificios de los tornillos permiten que la tarjeta sea sujeta a una superficie o caja. La distancia entre los pines digitales 7 y 8 es de 160 milésimas de pulgada.

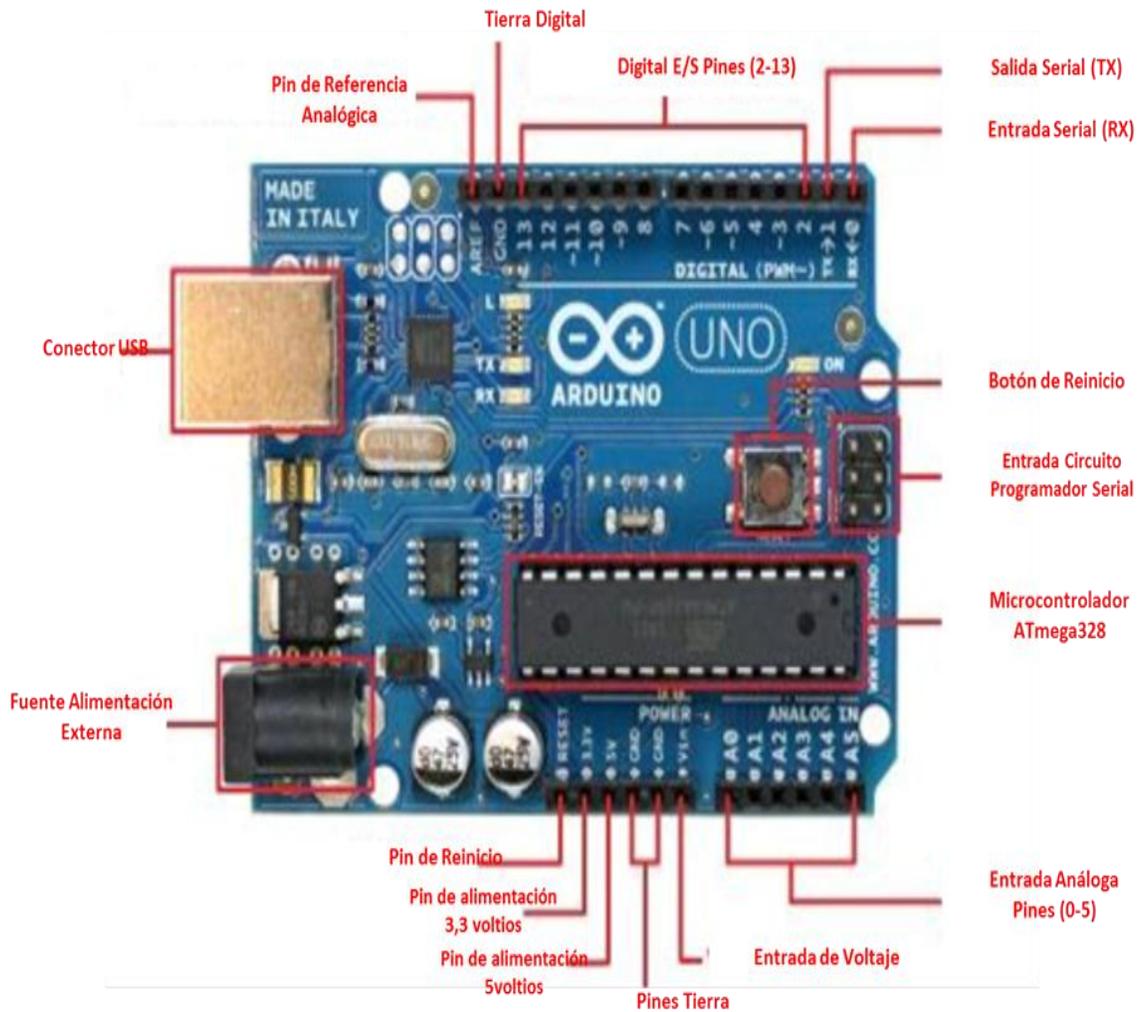


Figura 44: Componentes del Microcontrolador Arduino.
Fuente: Autores.

Para realizar el sistema de protección electrónica en el sistema de lubricación se tuvo que trabajar con este microcontrolador porque es muy seguro a la hora de almacenar la información y su velocidad de transmisión de datos es de gran respuesta para las diferentes señales que se están trabajando.

A continuación se relaciona el esquema eléctrico que se usó para el procesamiento de los datos que iban a ser entregados en la pantalla táctil y que estaba verificando el sistema de lubricación.

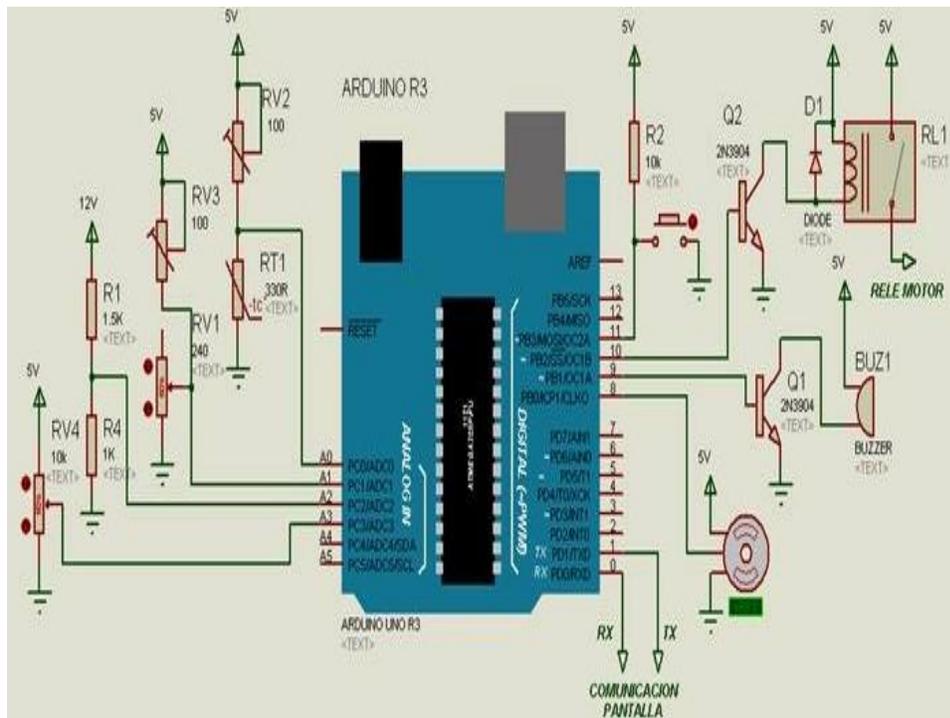


Figura 45: Esquema eléctrico Arduino Uno.
Fuente: Autores.

En la siguiente figura se ve el montaje del Arduino en el circuito de control que está dando protección al sistema de lubricación del motor Nissan Sentra B14:

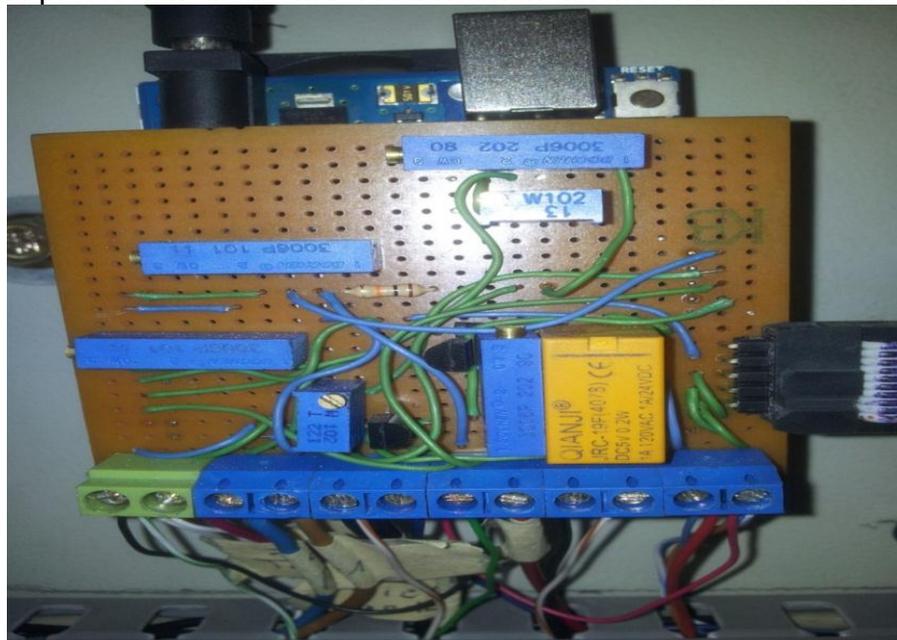


Figura 46: Montaje Microcontrolador Arduino Uno
Fuente: Autores.

El microcontrolador está protegido por un sistema de seguridad para los cambios imprevistos del voltaje, con el fin de que en algún momento de que el motor esté funcionando y se presente algún corto en el sistema eléctrico no se vaya a quemar el microcontrolador y perder toda la información que se haya implementado en el sistema.

Además, se implementaron relevadores de voltaje para que puedan soportar los cambios de corriente en caso de que un sistema vaya a ser alimentado y no tener sobre cargas sobre las líneas que están la mayor parte del tiempo energizadas, ya sea por un corto o por una mala implementación de nuevos equipos eléctricos.

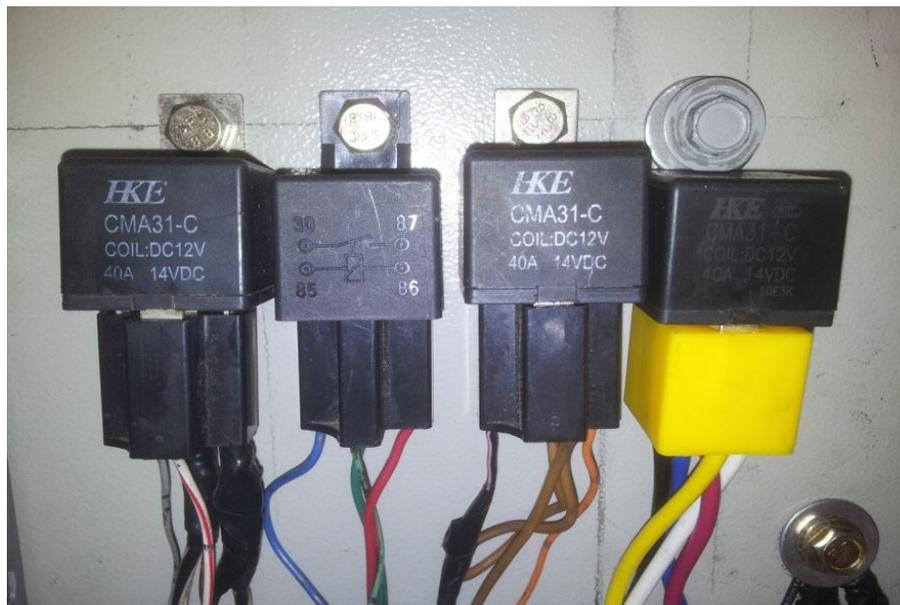


Figura 47: Relevadores de voltaje.

Fuente: Autores

Es un dispositivo que convierte las tensiones alternas de la red de suministro, en una o varias tensiones, prácticamente continuas, que alimentan los distintos circuitos del aparato electrónico al que se conecta. Las fuentes de alimentación, para dispositivos electrónicos, pueden clasificarse básicamente como fuentes de alimentación lineal y conmutada. Las lineales tienen un diseño relativamente simple, que puede llegar a ser más complejo cuanto mayor es la corriente que deben suministrar, sin embargo su regulación de tensión es poco eficiente. Una fuente conmutada, de la misma potencia que una lineal, será más pequeña y normalmente más eficiente pero será más complejo y por tanto más susceptible a averías.

La fuente se compone de cuatro bloques principalmente: Transformador, Rectificador, Filtro y Regulador o Estabilizador.

Funcionamiento:

- El Transformador proporciona una tensión alterna senoidal, aumenta o disminuye la amplitud de una tensión alterna, mantiene la frecuencia y proporciona aislamiento galvánico.
- El Rectificador proporciona una señal pulsante, compuesta de una señal continua y rizada.
- El Filtro proporciona una señal continua, reduce el rizado de la tensión, aísla la componente alterna de la continua y asegura un comportamiento lineal.
- El Regulador trata de mantener una tensión estable en la carga, con una realimentación negativa, que detecta variaciones de tensión de salida. En algunos casos suelen usarse Estabilizadores pero sus características de salida no suelen ser muy buenas.

Esta fuente de poder se implementó para que el sistema no vaya a estar expuesto a variaciones de voltaje, y el microcontrolador no vaya a tener falencias de voltaje que puedan ocasionar un mal funcionamiento, optimizando por tener una carga de voltaje estable en todo el sistema eléctrico. Además, con esta fuente nos da la garantía de que las resistencias, condensadores, microcontrolador, pantalla táctil y demás dispositivos no se vayan a dañar de manera prematura y deje de funcionar el sistema de protección electrónica al sistema de lubricación.



Figura 48: Fuentes de poder.

Fuente: Autores.

Todo el sistema viene con un sistema de fusibles para que cada circuito este protegido ante descargas inesperadas y que nos puedan generar daños graves en los equipos y la computadora del vehículo.

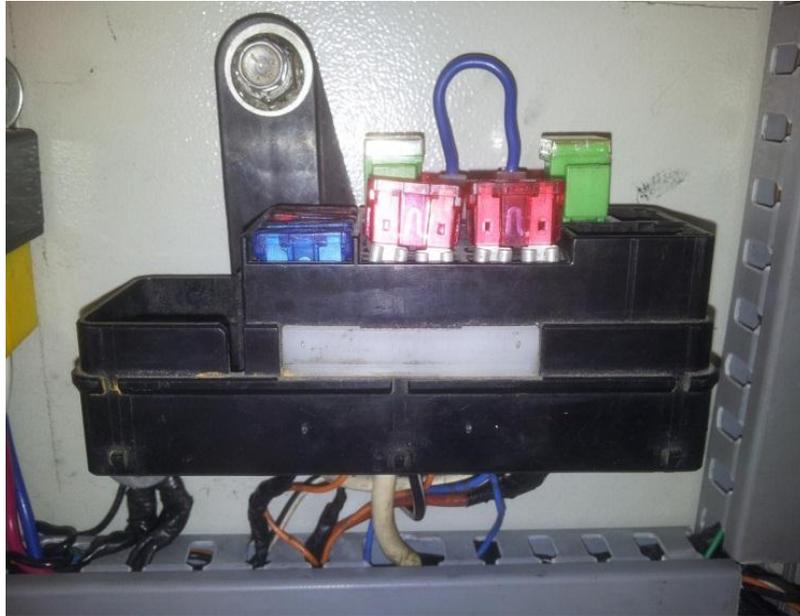


Figura 49: Caja de fusibles.
Fuente: Autores.

Uno de los dispositivos más importantes es la computadora del vehículo porque es la encargada de recibir toda la información que le envía los sensores para posteriormente enviarlo los actuadores para darle un trabajo óptimo bajo las mejores condiciones al motor. El microcontrolador está avisando acerca de las anomalías del sistema de lubricación y en caso de que haya un eventual caso de pérdida de presión el microcontrolador enviará información para que presente una alarma al usuario o que en los casos más críticos deje de proporcionar señales a los actuadores y deje de funcionar el motor y quede en estado apagado, esto con el fin de que no se vaya a producir un daño internamente en el motor cuando se quede sin lubricación.

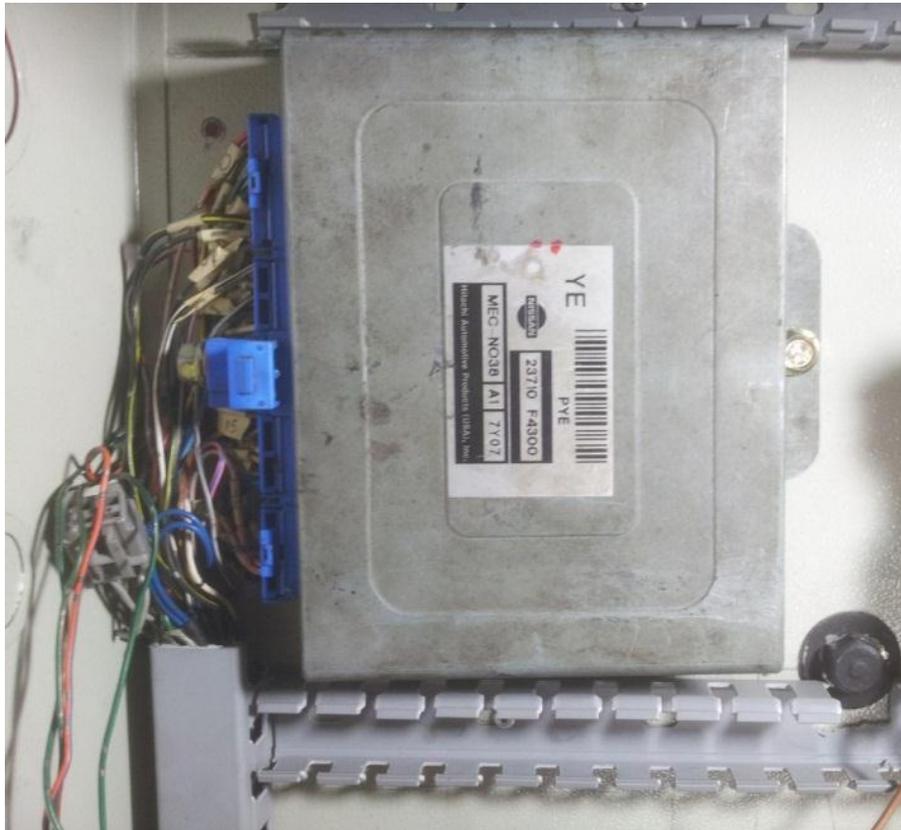


Figura 50: Computadora de Nissan Sentra.
Fuente: Autores.

Todos estos componentes están enlazados entre sí para estar monitoreando el estado del motor y estar alertas ante un eventual acontecimiento inoportuno.

A continuación se muestra el plano eléctrico de la computadora y los respectivos pines, para facilitar el montaje del sistema de protección electrónica del sistema de lubricación.

Este plano fue de gran importancia para el desarrollo electrónico del Arduino en el sistema eléctrico del motor, porque de aquí se empezaron a tomar señales de los sensores y actuadores que de una u otra manera se necesitaban para el desarrollo didáctico de este motor Nissan Sentra que se va a dejar para la Universidad Tecnológica de Pereira para la enseñanza de las próximas generaciones de Ingenieros que quieran indagar sobre aspectos más prácticos sobre un motor de combustión interna, su sistema de inyección electrónica y su importantísimo sistema de lubricación.

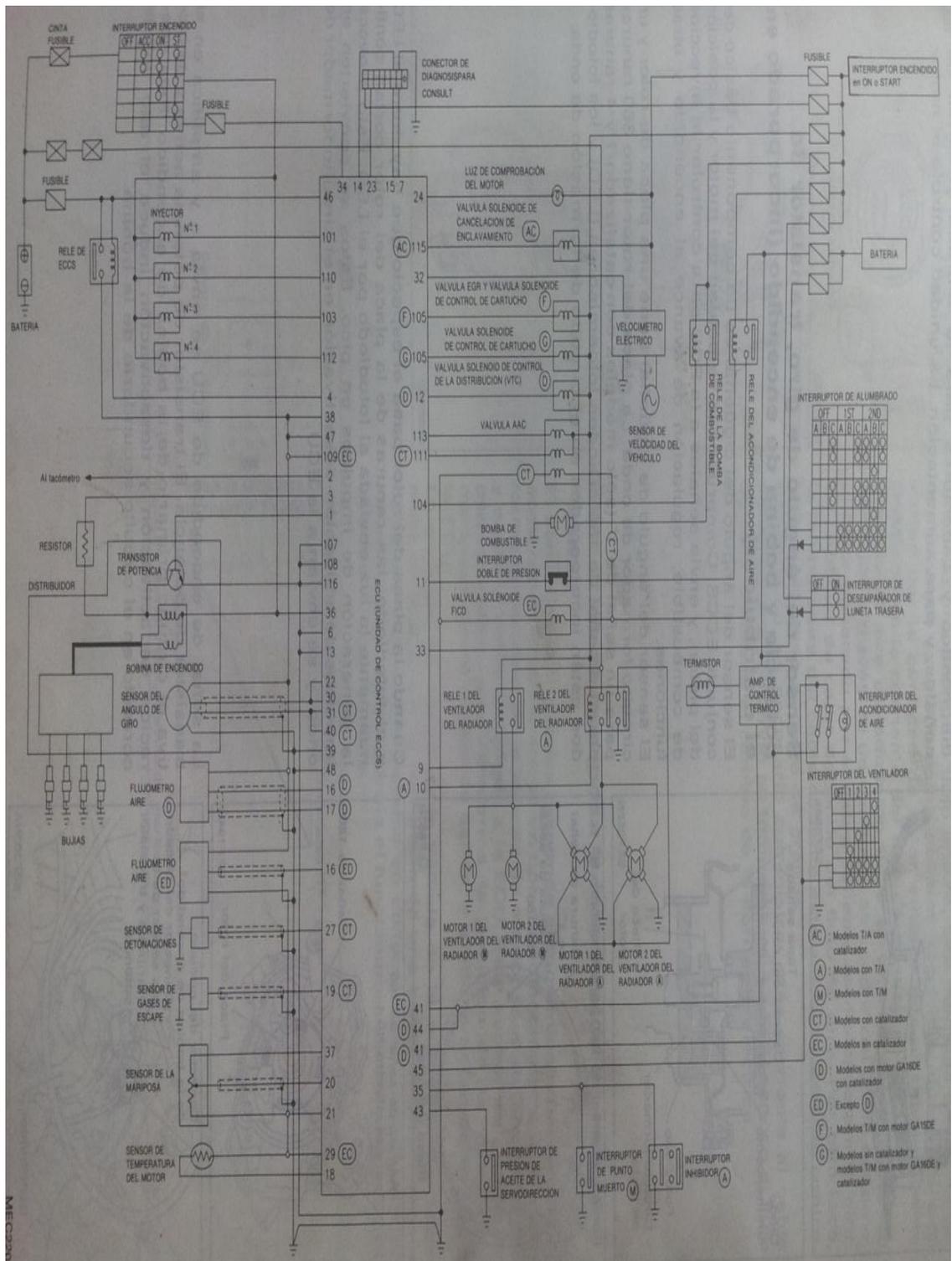


Figura 51: Esquema eléctrico del Nissan Sentra B14.
Fuente: Autores.

3.3 PANTALLA TÁCTIL

Cada vez es más necesaria una buena comunicación Hombre-Máquina (HMI), y una de las formas de mejorar dicha interacción es mediante sensores táctiles. La iconografía es un método muy utilizado por los fabricantes de software, ya que permite una excelente comprensión por parte de cualquier usuario sin necesidad de tener conocimientos informáticos.

Los sensores táctiles sustituyen los teclados en la mayoría de aplicaciones ya que funciona como un ratón y además permiten diseñar un teclado virtual en pantalla. Todos los sensores táctiles, también conocidos como “touchscreen” funcionan basados en el mismo principio: medir coordenadas mediante alteración de flujo.

Una de las partes más importantes en esta presentación es el funcionamiento de la pantalla táctil porque es esta la que se encarga de mostrar constantemente al usuario los datos del sistema de lubricación y la temperatura a las que se encuentra trabajando. En el momento de que la señal es recibida por el sensor y entregada al microcontrolador esta es procesada por cuestión de milisegundos y comparados con los datos de la computadora, para posteriormente ser enviadas a la pantalla y mostrar en un tiempo de 6 segundos los datos del sistema de lubricación. Durante esta participación es la parte más crítica de la ejecución del proyecto porque se necesita de datos muy concretos para que las señales sean enviadas con veracidad y precisión en el momento oportuno y prevenir así un daño mayor en cada una de las piezas del motor y que trabajan a revoluciones muy altas que pueden ser catastróficas cuando se presenta una falta de lubricación en todo el sistema.



Figura 52: Circuito integrado de Pantalla táctil.
Fuente: Autores.

En la siguiente figura se puede ver la pantalla táctil funcionando y se muestra cada una de las variables a las que el sistema está verificando:



Figura 53: Pantalla Táctil.
Fuente. Autores.

3.4 PROGRAMA PARA LA PANTALLA TÁCTIL

Para realizar la programación de la pantalla táctil se usó el programa WORKSHOP en el que se le realizaron los ajustes de la pantalla y el contenido que le va a servir al usuario para orientarse acerca de las lecturas que está registrando el programa y que van a ser visualizados por la pantalla.

En la siguiente imagen se muestra el proceso para realizar la programación y dar los ajustes de la pantalla que se va a encargar de dar las lecturas de la información recogida por la presión de aceite y las alarmas que tiene el sistema en caso de que allá una avería.

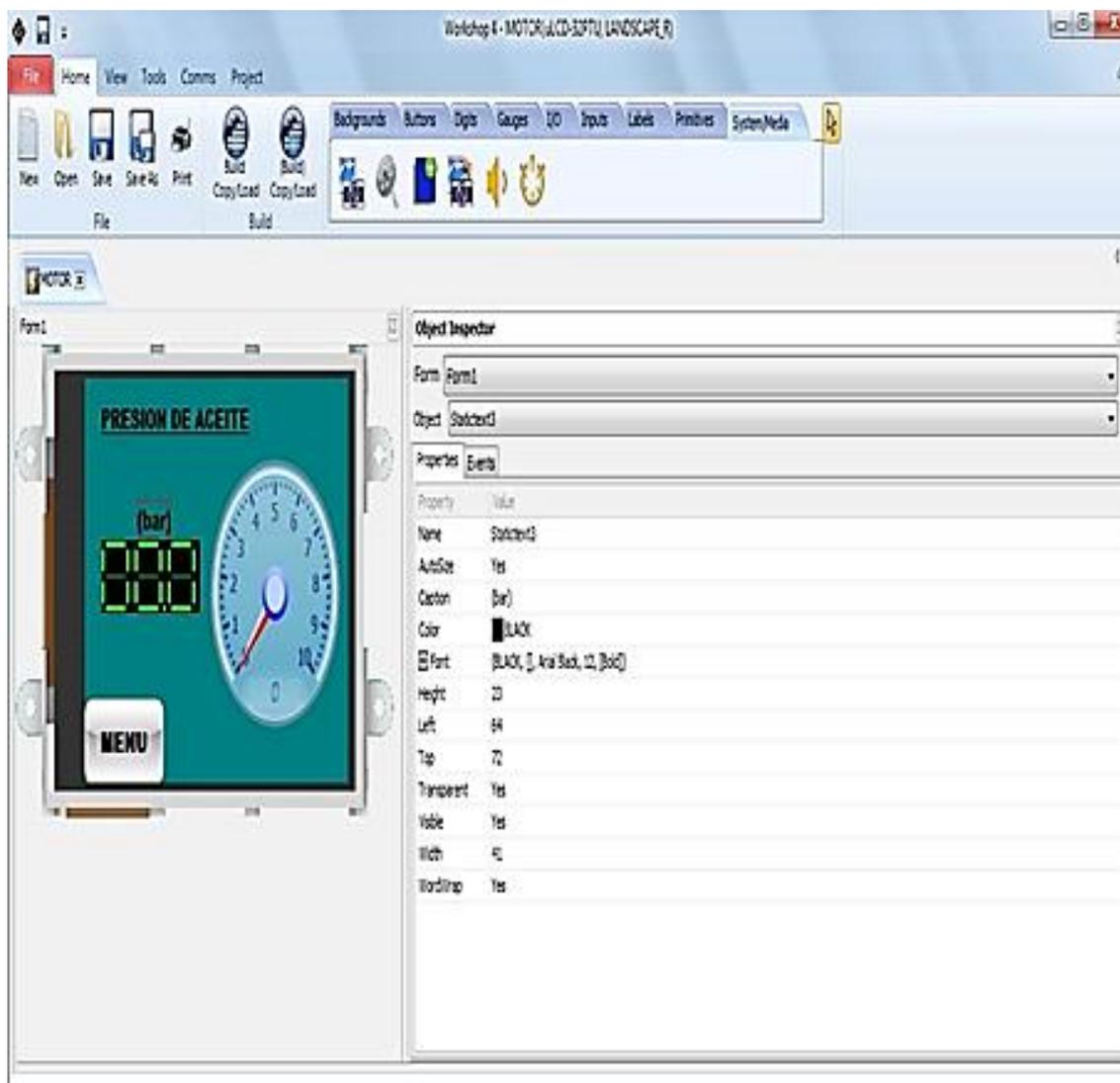


Figura 54: Programación de la pantalla táctil.

Fuente: Autores

Durante la implementación de este proyecto se realizó una caja metálica para la protección de los diferentes equipos y dispositivos que deben de ser expuestos de manera didáctica en la Universidad Tecnológica de Pereira, donde va a ser entregado el motor con sus diferentes aplicaciones, entre ellas el sistema que se desarrolló para el control de seguridad electrónico del sistema de lubricación.

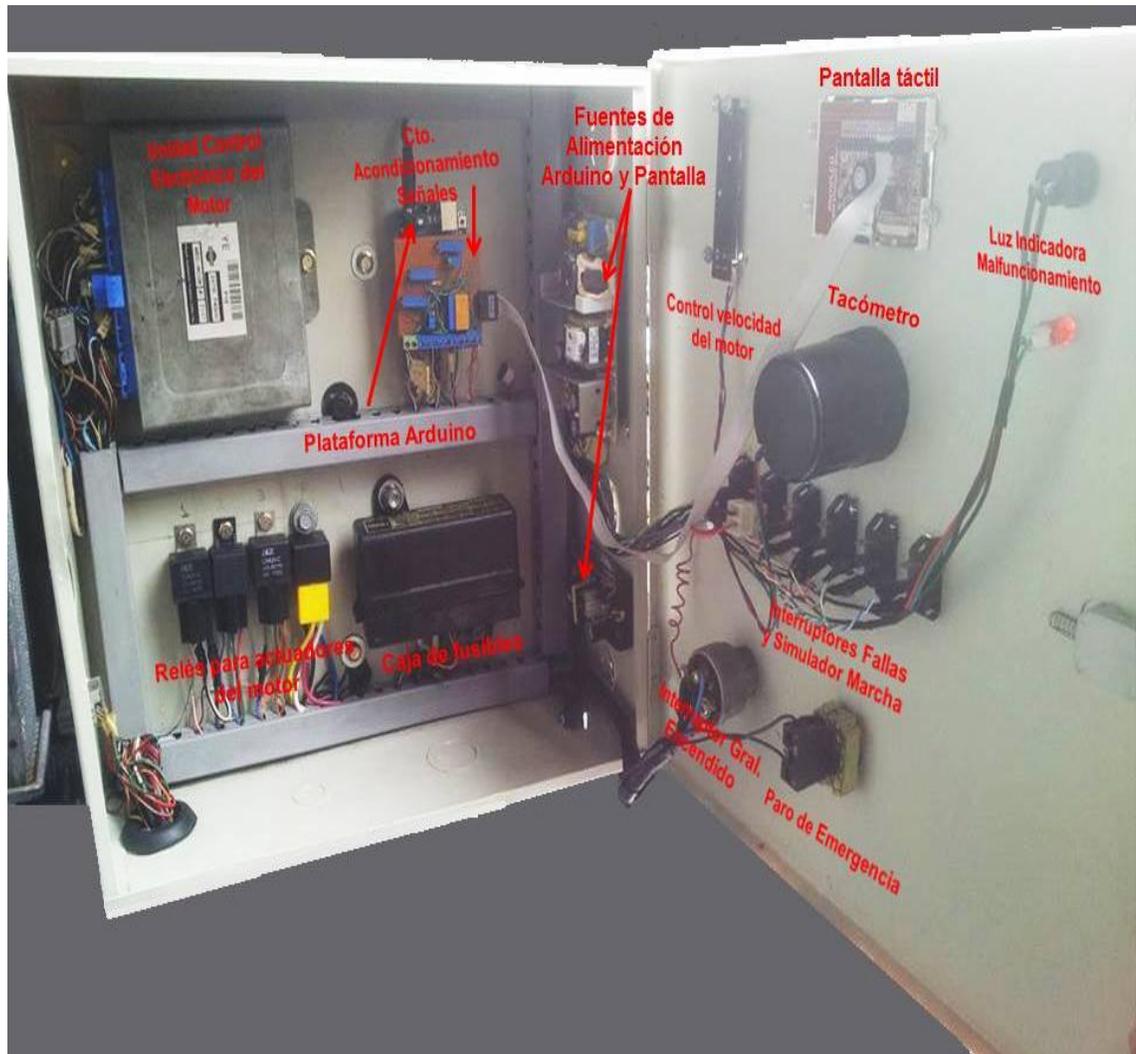


Figura 55: Caja metálica con dispositivos electrónicos.
Fuente: Autores.

Cuando se realiza el montaje del sistema electrónico y se realiza sus terminados, se empieza a realizar la programación del microcontrolador y la pantalla táctil para darle la definición a los parámetros de trabajo y a las gráficas con las que se va a desarrollar la aplicación. Cada uno tiene un fin específico, ya que se mide la

presión de aceite bajo unos gráficos que resaltan y alertan al usuario en caso de que la presión este por debajo de las 18 libras de presión y genera un detenimiento del motor cuando está por debajo de las 8 libras de presión.

En el momento de que todos estos datos estén comparados y procesados por el microcontrolador los va a transmitir a la computadora del vehículo para que apague el motor del vehículo y no dejar que se produzca un daño grave en el tren fijo del motor.

En esta figura encontramos las revoluciones del motor, la cual es una variable que está procesando el microcontrolador y está calculando para que no se vaya a tener un problema con las señales electrónicas que llegan a la computadora.



Figura 56: Tacómetro de revoluciones
Fuente: Autores.

En la siguiente figura se va a encontrar el gráfico que está en variación con los datos adquiridos por el sensor y que son procesados por el microcontrolador, en la parte derecha se encuentra una medición a través de un gráfico digital expresado de manera analógica, y en la parte izquierda se muestra de manera ascendente o descendente el número de la presión de aceite en el sistema de lubricación, la cual, tiene colores distintos que le ayudan al usuario para obtener la información de una mejor manera y no vaya a dejar quedar el motor sin aceite, por

consiguiente, evitar que las piezas móviles del motor excedan su temperatura y se puedan fundir las piezas por falta de lubricación.

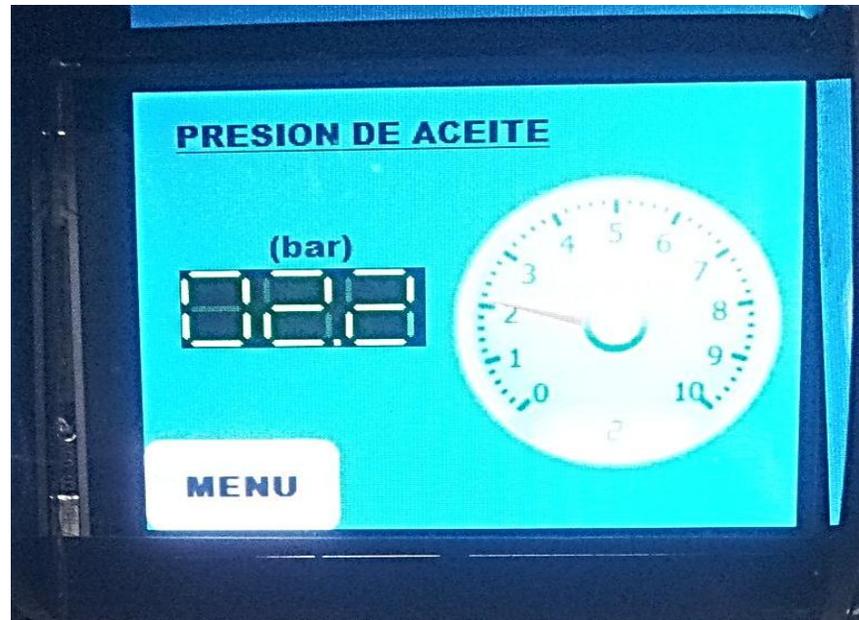


Figura 57: Gráfico digital de medición de presión de aceite.
Fuente: Autores.

Luego de tener todas estas variables concretadas, el sistema quedará con sistemas de protección electrónicos que lo harán confiable en la implementación de este proyecto en motores de vehículos de gama baja, los cuales son los más expuestos a sufrir este tipo de inconvenientes, ya que en el momento de que una manguera rota de sistema de lubricación o un Carter roto, puede producir la pérdida de aceite y en caso de que el bombillo del piloto este fundido o el usuario no alcance a ver a tiempo encender el bombillo, lo más fijo será que el motor sufra drásticas consecuencias y el usuario tenga que pagar precios muy elevados por reparaciones mecánicas que pueden ser evitadas con la implementación de este proyecto.

Este proyecto va a ser de mucha importancia para los estudiantes que están interesados en el área automotriz porque en cada una de las aplicaciones se ve de manera detallada cada uno de los circuitos y los dispositivos aplicados en la implementación de este proyecto. Además, se puede visualizar uno de los puntos más críticos en un motor como lo es la presión de aceite en el sistema de lubricación. A continuación se detalla el menú principal del sistema, el cuál, es complementado con un sistema de temperatura, donde estuvieron a cargo de este proyecto otros compañeros que estudian Ingeniería Mecatrónica y le dieron el complemento perfecto a este motor didáctico que le va a servir a todos los

estudiantes interesados en surgir nuevas ideas de mejoramiento en el campo electrónico y que pueda dar campo a nuevos proyectos en el área automotriz.



Figura 58: Menú principal.
Fuente: Autores.

En este menú se pueden realizar mediciones de voltaje de batería, presión de aceite, temperatura y está equipado con una serie de alarmas que avisan al usuario cuando hay datos errados de los sistemas. En el momento que estas alarmas se accionan, empiezan a sonar una alarma y se muestra en un gráfico visual de color rojo, cuál es el sistema que está fallando, ya sea la lubricación o temperatura del motor.

La alarma para el sistema de lubricación está calculada para que cuando baje a 0,7 bar se encienda una alarma sonora indicando que el sistema tiene una avería, y si la presión del sistema sigue bajando hasta 0,49 bar, el microcontrolador generará una señal al relé de la bomba de combustible para apagar el motor. Igualmente, sucede cuando el sistema tiene sobre presión de aceite y sobre pasa los 4,41 bar, se generará una alerta y después de tener esta alarma sonora, el microcontrolador generará una señal al relé de la bomba de combustible para apagar el motor. A continuación se ve una imagen que define de manera gráfica las alarmas.



Figura 59: Alarmas de protección del motor, por lubricación o temperatura
Fuente: Autores.

En el momento de que estas alarmas sonoras se enciendan, y si la presión sigue bajando se mostrará en el gráfico un cuadro rojo que indicará que está en baja presión, y luego de tener este registro el motor tendrá un tiempo de 10 segundos para que se apague el motor. El motor se apagará cuando el microcontrolador desconecte el relé de la bomba de combustible.

En caso de que un vehículo tuviera este sistema instalado, este viene con un dispositivo especial para simular el cambio de velocidades o la marcha del vehículo, para el caso hipotético de que el sistema tuviera una falencia en la presión del sistema, ya sea por baja o por alta presión, el motor no se apague para que no vaya a tener otros problemas mecánicos, como lo sería el caso de la transmisión. A continuación se ve la imagen de simulación de cambio.



Figura 60: Simulación del cambio de velocidades.
Fuente: Autores

En la siguiente figura se ve todo el sistema didáctico ensamblado en una caja metálica, donde se especificará las fallas de los inyectores y el sensor TPS del motor, teniendo como seguridad principal un paro de emergencia en caso de que haya problemas con el microcontrolador y las alarmas, se pueda apagar el motor y no tenga ninguna avería. También se encuentra un tacómetro de revoluciones y una pantalla táctil que indica los datos del microcontrolador, donde seguirá recogiendo los datos del sistema cada 6 segundos, un dispositivo que simulara la aceleración de manera electrónica y el botón de check engine.

En la siguiente imagen se ve los dispositivos que muestra de manera didáctica el sistema instalado en el motor.



Figura 61: Vista general de los dispositivos electrónicos en el sistema didáctico del motor Nissan Sentra
Fuente: Autores.

3.5 Programa Arduino uno.

Para realizar la secuencia de programación en el Arduino Uno se realizó el siguiente programa, el cual, está compuesto con temas como el de temperatura, porque está programado para realizar varios registros de esta actividad. El programa mostrará gráficamente las variables del cuerpo de aceleración y dependiendo de eso va a registrar y monitorear la actividad del sistema de lubricación.

El sistema está programado para que el usuario vea gráficamente los registros de la presión del sistema de lubricación y en caso de que rebaje la presión, el sistema va a registrar una señal sonora para que el usuario se dé cuenta del problema y en caso de que persista el problema el microcontrolador enviará una señal al relé de la bomba de combustible para que apague el motor, y así no tener inconvenientes con las partes móviles del motor, y ahorrar al cliente futuras reparaciones que salen tan costosas y que en muchos casos se pueden volver a presentar.

```
MOT_ARDU | Arduino 1.0.5-r2
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda
MOT_ARDU
#include <math.h>
#include <genieArduino.h>
#include <Servo.h>
Servo myservo; // objeto de control para el servo

//variables para guardar los valores de las entradas analogas
int V1=0;
int V2=0;
int V3=0;
int V4=0;

//VARIABLES PARA GUARDAR RESULTADOS DE OPERACIONES
//TEMPERATURA
float VOUT1= 0.0; // Variable para almacenar Vout
float RESIS1=0.0; // Variable para NTC en ohmios
float TEMP =0.0; // Temperatura salida en Celsius

//PRESION
float VOUT2= 0.0;
float RESIS2= 0.0;
float PRES= 0.0;

//VOLTAJE
float VOLT=0.0;

//OTRAS VARIABLES
int TEMP1=0; // Temperatura para visualizar display temperatura
int PRES1=0; //variable presion en display
1
```

Figura 62: Pantallazo de la programación del Arduino
Fuente: Autores.

3.5.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DEL ARDUINO

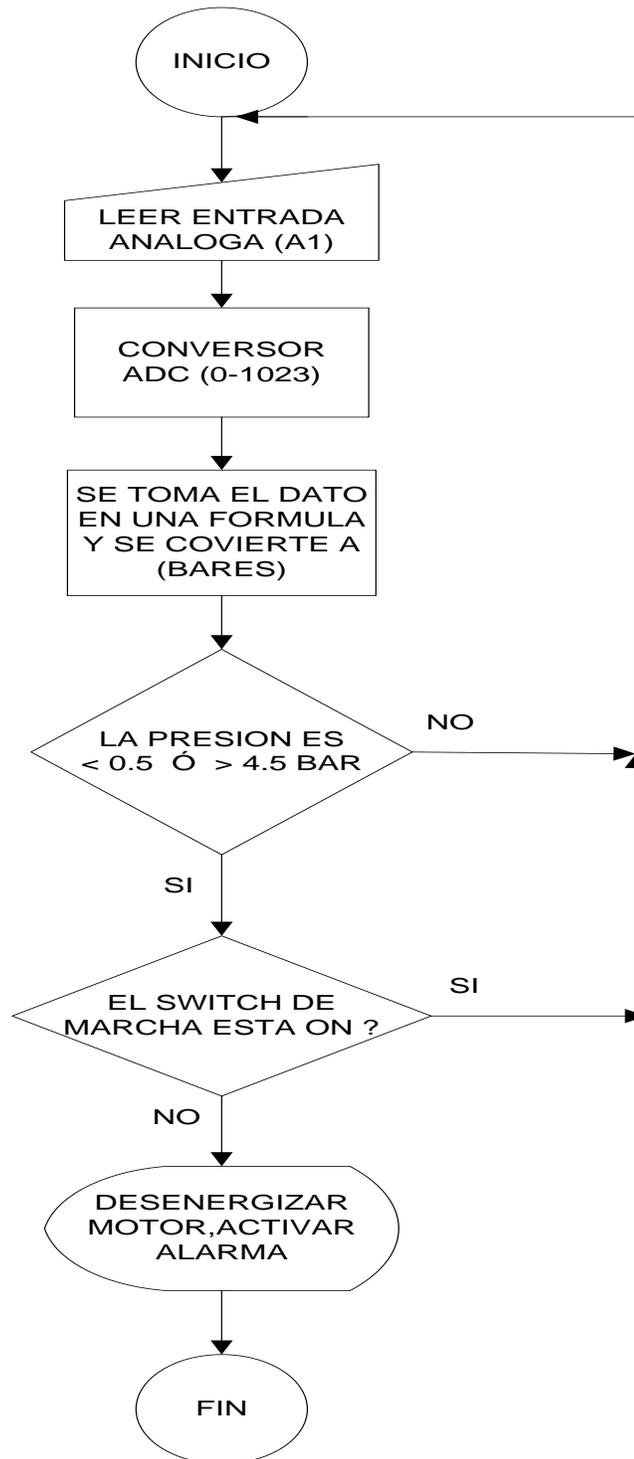


Figura 63: Programa del Microcontrolador Arduino Uno.

```

#include <math.h>
#include <genieArduino.h>
#include <Servo.h>
Servo myservo; // objeto de control para el servo

//variables para guardar los valores de las entradas analogas
int V1=0;
int V2=0;
int V3=0;
int V4=0;

//VARIABLES PARA GUARDAR RESULTADOS DE OPERACIONES
//TEMPERATURA
float VOUT1= 0.0; // Variable para almacenar Vout
float RESIS1=0.0; // Variable para NTC en ohmios
float TEMP =0.0; // Temperatura salida en Celsius

//PRECION
float VOUT2= 0.0;
float RESIS2= 0.0;
float PRES= 0.0;

//VOLAJE
float VOLT=0.0;

//OTRAS VARIABLES
int TEMP1=0; // Temperatura para visulizar display temperatura
int PRES1=0; //varaible presion en dispalay
int VOLT1=0; // VARIABLE PARA EL VOLTAJE

int CASA=0;

//-----
void setup()
{
  genieBegin (GENIE_SERIAL, 9600);
  pinMode(8,OUTPUT); //APAGADO MOTOR
  pinMode(10,OUTPUT);// BUZZER
  pinMode(11,INPUT);// ENTRADA QUE SIMULA PALANCA DE CAMBIO

  myservo.attach(9);
}
//-----
void loop()
{

```

```

//ASIGNACION DE LA VARIABLE A LA ENTRADA ANALOGA
V1=analogRead(0);
V2=analogRead(1);
V3=analogRead(2);
V4=analogRead(3);

//OPERACIONES VARIAS
TEMP1=TEMP*10; //display temperatura
PRES1=PRES/9.2;//Dispalay presion
VOLT1=VOLT*10;// Display voltaje

//CALCULO PARA LA TEMPERATURA
VOUT1=(5.0/1024)*(V1); //Primero la Vout del divisor
RESIS1=(VOUT1*10)/(5.0-VOUT1);
TEMP=4013/(log(RESIS1/330)+(4013/293.15))-273.15;

//CALCULO PRESION
VOUT2=(4.8/1023)*(V2);//Primero la Vout del divisor
RESIS2=(VOUT2*10)/(4.8-VOUT2);//Ahora la resistencia
PRES=float( map(RESIS2, 8.00, 187.00, 0.00, 1023.00));

//CALCULO VOLTAJE
VOLT = V3 * (12.0 / 1023.0);

//SERVO
V4 = map(V4,0,1023,100,175); // scale it to use it with the servo (value
between 0 and 180)
myservo.write(V4); // sets the servo position according to the scaled
value

//CODIGO PARA DIRECCIONAR DATOS A LA PANTALLA

//TEMPERATURA
genieWriteObject(GENIE_OBJ_THERMOMETER, 0x00, TEMP);
genieWriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x00, TEMP1);

//PRESION
genieWriteObject(GENIE_OBJ_COOL_GAUGE, 0x00,PRES );
genieWriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x01,PRES1);

//VOLTAJE
genieWriteObject(GENIE_OBJ_METER, 0x00,VOLT );
genieWriteObject(GENIE_OBJ_LED_DIGITS, 0x02, VOLT1);

```

```

// SECCION DE ALARMAS

//ALARMAS DE TEMTERATURA

// FALLA DE SENSOR
if(TEMP<5) {
    genieWriteObject(GENIE_OBJ_USER_LED, 0x02,1);
    digitalWrite(10,HIGH);}
else{genieWriteObject(GENIE_OBJ_USER_LED, 0x02,0);
    digitalWrite(10,LOW);}

//MAYOR A 92 GRADOS
if((TEMP>92) & (TEMP<93)) {
    genieWriteObject(GENIE_OBJ_USER_LED, 0x00,1);
    digitalWrite(10,HIGH);}
else{genieWriteObject(GENIE_OBJ_USER_LED, 0x00,0);
    digitalWrite(10,LOW);}

//MAYOR A 94 GRADOS
if((TEMP>94) & (TEMP<95)) {
    genieWriteObject(GENIE_OBJ_USER_LED, 0x01,1);
    digitalWrite(10,HIGH);}
else{genieWriteObject(GENIE_OBJ_USER_LED, 0x01,0);
    digitalWrite(10,LOW);}

//APAGADO DE MOTOR POR TEMPERATURA A LOS 95 GRADOS
if((TEMP>98) & (TEMP<120)) {
    genieWriteObject(GENIE_OBJ_USER_LED, 0x05,1);
    digitalWrite(10,HIGH); //ACTIVA EL BUZZER
    digitalWrite(8,LOW); } //ACTIVA EL RELE PARA APAGAR EL MOTOR

else{genieWriteObject(GENIE_OBJ_USER_LED, 0x05,0);
    digitalWrite(10,LOW); //MANTIENE APAGADO EL BUZZER
    digitalWrite(8,HIGH); } //MANTIENE DESACTIVADO EL EL RELE DE
APAGADO

// ALARMAS DE PRESION //
if(PRES>40){

if (digitalRead(11)==LOW){

if ((PRES<50) || (PRES>1000)){

```

```
genieWriteObject(GENIE_OBJ_USER_LED, 0x03,1);
digitalWrite(10,HIGH);
genieWriteObject(GENIE_OBJ_USER_LED, 0x05,1);
digitalWrite(8,LOW); //ACTIVA EL RELE PARA APAGAR EL MOTOR
}
if ((PRES>430) & (PRES<500)) {
genieWriteObject(GENIE_OBJ_USER_LED, 0x04,1);
digitalWrite(10,HIGH);}
}

}
else{
genieWriteObject(GENIE_OBJ_USER_LED, 0x03,0);
digitalWrite(10,LOW);
genieWriteObject(GENIE_OBJ_USER_LED, 0x05,0);
digitalWrite(8,HIGH);}
genieWriteObject(GENIE_OBJ_USER_LED, 0x04,0);
}
}
```

3.5.2 Esquema de conexión eléctrica Arduino uno.

Luego de realizar el programa del sistema de control de protección electrónica en el sistema de lubricación del motor de Nissan Sentra, se pasó a realizar el montaje del microcontrolador bajo un esquema eléctrico que nos muestra las conexiones seguras del microcontrolador para que pueda funcionar de forma segura y confiable ante los datos que está registrando. El sistema está protegido varios ciertos dispositivos de seguridad para que en el caso de que haya algún problema eléctrico no se vaya a quemar el microcontrolador y no se vaya a desprogramar las funciones registradas y grabadas sobre su plataforma de comunicación, esto con el fin de que en caso de que se desee realizar la conexión a futuros motores sea de forma segura y con la garantía de que vamos a tener un excelente trabajo.

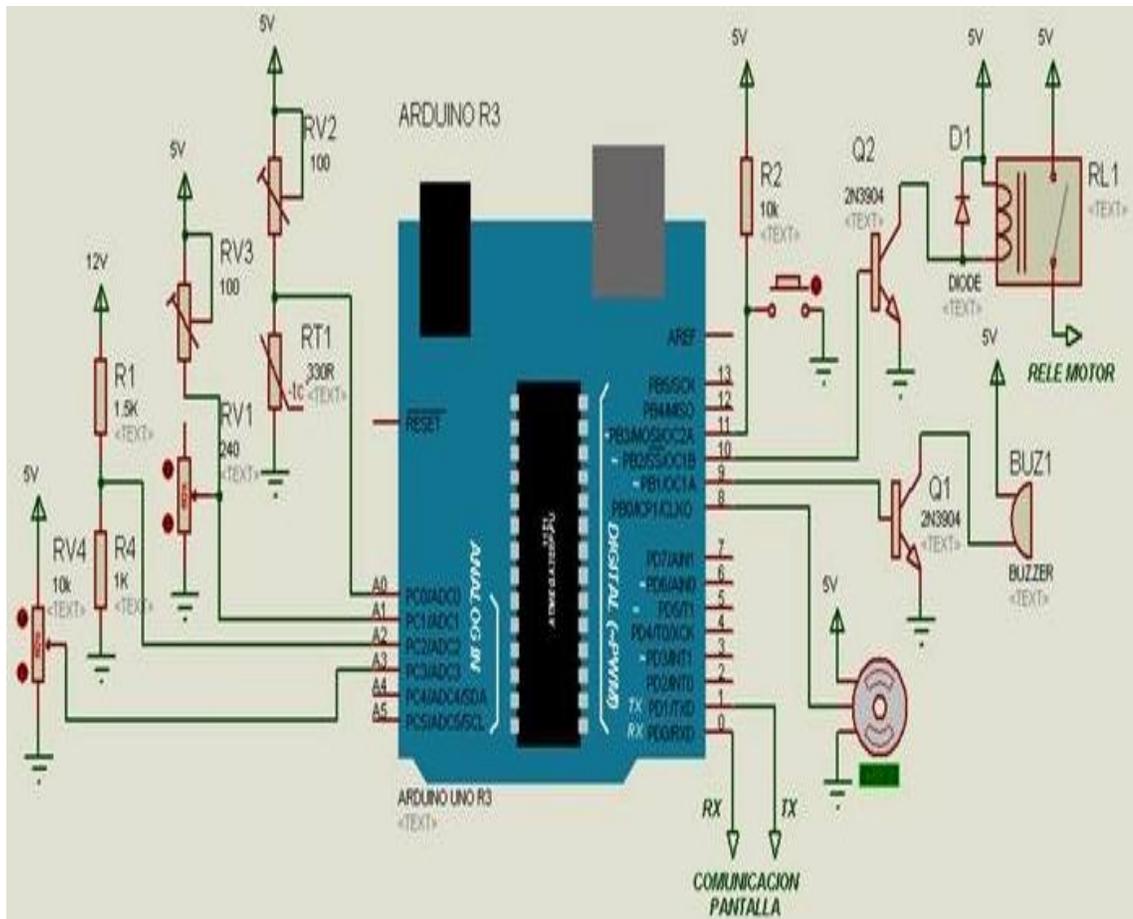


Figura 64: Esquema de conexión Microcontrolador Arduino Uno.
Fuente: Autores.

4. RESULTADOS

La aplicación del sistema de protección electrónica al sistema de lubricación, se encarga de estar registrando los datos obtenidos por el sensor de presión para estar informando al microcontrolador sobre las variables del sistema de lubricación, teniendo en cuenta que este sistema ayudará para que los usuarios que tengan un vehículo de gama baja – media puedan instalar un dispositivo capaz de prevenir los daños en el motor por la pérdida de lubricación, ya sea por la ruptura de una tubo o manguera o por las falencias de una bomba de aceite y un filtro de aceite, todo esto ha conllevado, a que hoy en día se pague más por un mantenimiento correctivo que por un mantenimiento predictivo, el cual le ahorraría grandes sumas de dinero a los usuarios de este tipo de vehículos y los motores serían más confiables y tendrían un mayor tiempo de vida útil, resumido esto en los kilómetros recorridos sin sufrir ningún tipo de inconveniente mecánico.

Durante la ejecución del proyecto se realizaron varias pruebas para determinar el estado del sistema, donde se realizaban comparaciones con la presión del sistema leída por un manómetro y la información que procesa el microcontrolador y que la transmite a la pantalla táctil para que pueda ser evidenciada por el usuario. A continuación se van a mostrar algunas imágenes de los resultados obtenidos por estas pruebas y que estaban sometidas a cargas de motor y a un determinado giro de revoluciones por minuto del motor Nissan Sentra:

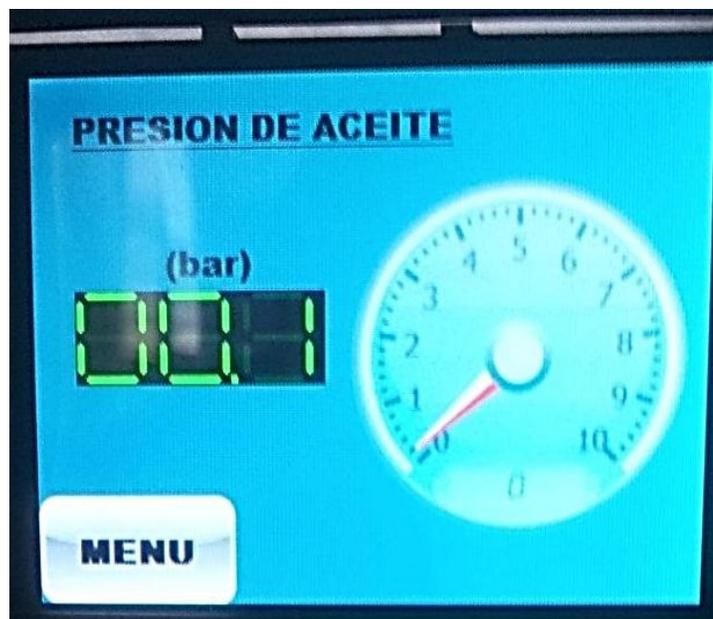


Figura 65. Presión de aceite sin encender el motor.
Fuente: Autores



Figura 66: Medición de Presión de aceite en el manómetro sin encender el motor.
Fuente: Autores.

En la siguiente imagen se muestra la presión del sistema de lubricación a 4,3 bar a una carga de 3000 revoluciones por minuto del motor, donde se trabajó de manera constante en la aceleración y sin variación de las RPM.

Se compara entre el manómetro de presión instalado por una manguera donde circula el aceite y el valor de la pantalla táctil, esta información tarda 6 segundos en ser procesada por el microcontrolador y entregada a la pantalla táctil.



Figura 67: Presión de aceite a 4,3 bar visualizada en la pantalla táctil.
Fuente: Autores.

En el siguiente paso, se realizó una prueba al sensor donde se recogió la lectura de información del manómetro a 1600 RPM y donde la presión estuvo a 3,7 bar, indicando de que el sistema se presuriza a medida que empieza a subir las revoluciones por minuto del motor y encontramos de que el sistema responde de muy buena manera.



Figura 68: Presión de aceite a 3,7 bar en 1600 RPM.
Fuente: Autores.

Otra de las pruebas realizadas fue verificar el comportamiento del sistema de lubricación en mínimas revoluciones, donde la presión estuvo a 1,4 bar a 650 revoluciones por minuto y en las que encontramos la funcionalidad de todo el sistema y se verificó la protección electrónica del sistema de lubricación. La aguja que determina las revoluciones es la de color blanco.



Figura 69: Presión de aceite a un régimen de 650 rpm en 1,4 bar
Fuente: Autores.

5. CONCLUSIONES

- Se logró la implementación del sistema de protección electrónica en el sistema de lubricación de un motor de un Nissan Sentra.
- Se pudo visualizar la presión del sistema de lubricación a través de gráficos que son plasmados en una pantalla táctil.
- Se dio una solución para los vehículos que no poseen sistemas de protección tan sofisticados y avanzados en los que se puede ahorrar dinero porque los costos de reparación van a ser mucho menor.
- Se realizó bajo el sistema de la plataforma Arduino una aplicación en el sistema eléctrico de un motor inyección electrónica de un Nissan Sentra.
- Se implementó una pantalla táctil que visualizará las diferentes variables del sistema de lubricación.
- Este motor de Nissan Sentra y el sistema de protección electrónica al sistema de lubricación es una gran ayuda didáctica para los futuros estudiantes que harán uso del laboratorio de mecánica

6. BIBLIOGRAFÍA

- ROMERO, Carlos. Fundamentos de construcción y cálculo de motores de combustión interna para automóviles y tractores.
- HEYWOOD, Jhon B. Fundamentos de los motores de combustión interna y las pérdidas de fricción.
- NORBYE, Jan P. Manual de sistemas de Fuel Injection “GuiaTecnica”, 1988.
- LASECKI, Michael P. and COUSINEAU, Jason M. Controllable Electric Oil Pumps in Heavy Duty Diesel Engines, Fort Worth Texas, In: SAE Technical Paper Series 2003-01-3421, International Truck and Bus Meeting and Exhibition, November 10-12, 2003. 15p.
- NISSAN MOTOR CO. Manual técnico motor Nissan Sentra B-14.
- CESVI COLOMBIA. sistemas de mecánica automotriz, 2007
- COX, Ian M. and SAMWAYS, Andrew L. Diesel Lube Oil Conditioning - The Systems Approach, Detroit, Michigan, In: SAE Technical Paper Series 1999-01-1218, International Congress and Exposition, March 1-4, 1999. 9p.
- TOYODA, Fumihiko. KOBAYASHI, Yukimori. MIURA, Yoshinori and KOGA, Yojiro. Development of Variable Discharge Oil Pump, Detroit, Michigan, In: SAE Technical Paper Series 2008-01-0087, World Congress, April 14-17, 2008. 6p.
- ARDUINO. Página web 2014. {En línea}. {Consultado el 22 de agosto 2014}. Disponible en : <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>

7. ANEXOS

PRÁCTICA SISTEMA DE LUBRICACIÓN EN UN MOTOR NISSAN SENTRA B14.



Motor de prueba Nissan Sentra B14

OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Estudiar el funcionamiento del sistema de lubricación y sus componentes

1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar el funcionamiento del sistema de lubricación.
- Analizar el funcionamiento de la bomba de aceite.
- Estudiar los diferentes elementos del sistema de lubricación.
- Determinar las posibles averías presentadas en los sistemas de lubricación.
- Comprobar el funcionamiento del sistema de lubricación en el motor Nissan Sentra con un manómetro de presión a bajas y altas revoluciones.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 SISTEMA DE LUBRICACIÓN

Para explicar mejor un sistema de lubricación clásico puede seguirse el ilustrado en las figuras 1 y 2. La lubricación de las superficies en rozamiento en el motor, reduce la fricción y eleva el rendimiento mecánico del motor, disminuye el desgaste de las piezas rozantes; enfría las piezas del motor y evacúa los productos del desgaste de los pares. El sistema de lubricación garantiza, además, la limpieza del aceite circulante de las partículas mecánicas y otras partículas dañinas.

El sistema de lubricación de los motores es, generalmente, combinado: por salpique y por presión. Los apoyos de bancada y de biela, los apoyos del árbol de levas y del árbol de la bomba de aceite se lubrican a través de canales, bajo presión. El aceite que brota de los huelgos y el salpicado lubrica las paredes de los cilindros, el pistón con sus anillos, los bulones de los pistones en sus asientos, los apoyos de los balancines y también los impulsores y los balancines.

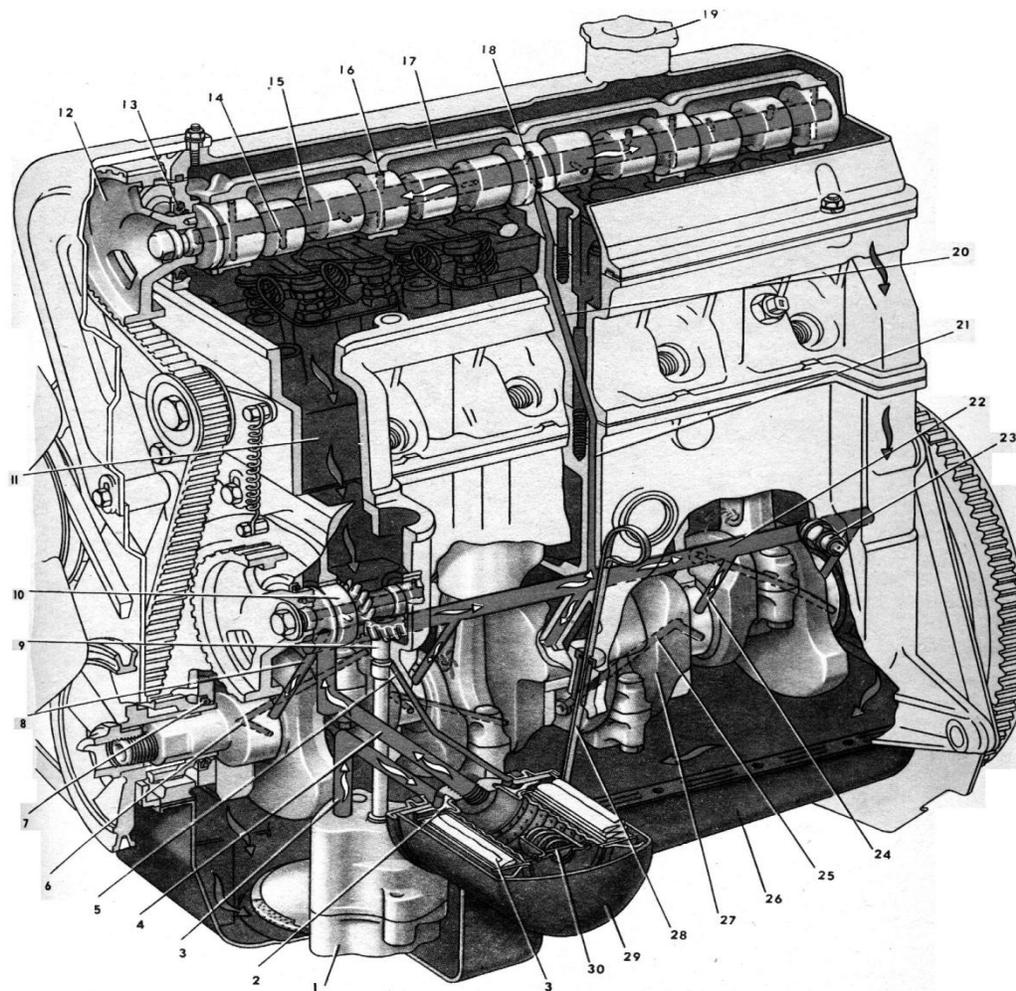


Figura 1. Vista en corte longitudinal del sistema de lubricación del motor a gasolina VAZ 2105.

La circulación del aceite ocurre así: la bomba de aceite 1 accionada por el par de engranajes helicoidales, succiona el aceite del cárter 26 a través de un tamiz filtrador y lo manda por el canal 3 al filtro de flujo total. El aceite filtrado por el canal 4 en el bloque, llega al canal longitudinal mayor 22 (vía principal) y de allí por los canales 8 y 24, se suministra al soporte delantero del árbol accionador de la bomba de aceite, a los apoyos de la bancada del cigüeñal y el árbol distribuidor. En los casquetes de bancada se tienen orificios a través de los cuales, el aceite cae a las ranuras anulares de los cojinetes. De los canales, parte del aceite lubrica los cojinetes de bancada y otra parte, a través de los canales 6 y 25 taladrados en los muñones y caras del cigüeñal, llega a los muñones de biela; y de ellos a través de los orificios practicados en cada cabeza de biela, el chorro de aceite salpica el

espejo del cilindro, en el momento en que coinciden los orificios del cojinete con el canal en el muñón de biela. Al cojinete trasero del árbol de accionamiento de la bomba de aceite, el aceite llega desde el cojinete delantero por un canal practicado en el mismo árbol.

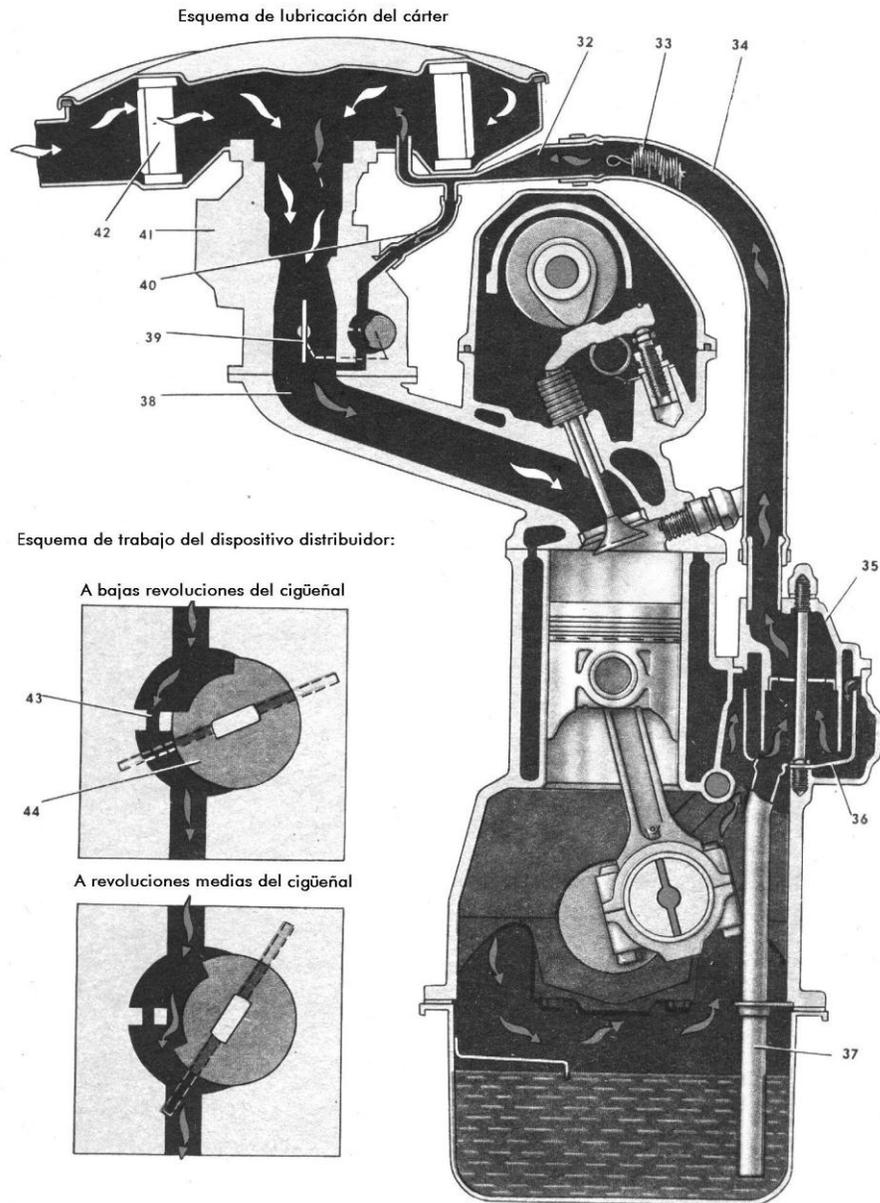


Figura 2. Vista en corte transversal del sistema de ventilación del cárter del motor a gasolina VAZ 2105. La válvula 33 permite el paso de los vapores del cárter al ducto de admisión.

Al apoyo central del árbol de levas, el aceite llega por el canal 21 del bloque y el canal 20 de la culata. Los canales 21 y 20 se comunican entre sí a través de un orificio en el empaque de culata. El aceite que se acerca al apoyo central del árbol de levas a través de la ranura 18 del apoyo, cae al canal central 15 del árbol de levas y de él, a través de los canales 14 en las levas y 16 en los apoyos, llega a las levas, balancines y apoyos del árbol. Por el canal 5, situado antes del filtro de aceite en la cavidad del bloque de cilindros, el aceite llega al buje del piñón 9 de accionamiento de la bomba.

Con el fin de garantizar la presión suficiente de aceite en la vía principal (cualquiera que sea el régimen de funcionamiento), y también para compensar el caudal adicional de aceite durante el desgaste, la bomba de aceite se calcula para una capacidad caudal mayor que la necesaria.

Para prevenir el crecimiento de la presión por encima del valor permisible, el sistema tiene una válvula reductora calibrada. El filtrado del aceite se realiza a través de un filtro de papel 31. El filtro tiene una válvula antidrenaje 2, que previene del escurrimiento del aceite durante la parada del motor y una válvula de trasiego 30, que trabaja al obstruirse el filtro.

2.2. Sistema de ventilación del cárter. Este sistema garantiza la succión de los gases del cárter, los cuales interactuando con el aceite, empeoran sus cualidades lubricantes y disminuyen su vida útil. Además de eso, la ventilación previene el crecimiento de la presión debido al paso de los gases de escape al cárter. Los gases del cárter bajo la presión del vacío en el ducto de admisión 38 se extraen del cárter a través de la manguera 34, introducida en la guía de la tapa del separador del aceite 35. Allí, los gases del cárter llegan pasando por el separador de aceite 36. El aceite separado de los gases, se escurre por el tubo 37 al cárter.

Los gases succionados llegan a la toma 32, situada bajo el filtro de aire. De allí los gases pueden succionarse por dos vías; hacia arriba tras el filtro 42 y de allí a través del carburador o cuerpo de aceleración en los vehículos de inyección electrónica, al múltiple de admisión; la segunda vía, a través del Cuerpo de aceleración o en la válvula de mínima en los vehículos electrónicos.

2.3 Bomba de aceite

Es la pieza más importante del sistema de lubricación de un motor de combustión interna. Su función es la de succionar aceite del cárter e impulsarlo a través del filtro y las galerías de aceite hacia los cojinetes del cigüeñal y del árbol de levas, y a las superficies en fricción de las partes del motor. Para el buen funcionamiento del sistema se requiere de un constante suministro de aceite para soportar y enfriar a los casquetes. Si por alguna razón la bomba no puede mantener la circulación del aceite, esto significa el fin del motor.

Las bombas de aceite está diseñada para durar la vida del motor, lo cual en modelos recientes de carros y camiones livianos es de 240 mil kilómetros, pero al igual que cualquier otro componente mecánico, la bomba de aceite está sujeta a desgaste. De hecho, la bomba de aceite sufre más desgaste que la mayoría de los otros componentes del motor, ya que es el único que trabaja con el lubricante sin filtrar.

El elevado (sobredimensionado) caudal de la bomba es necesario para crear la presión exigida del aceite en la vía durante el trabajo del motor en todos los regímenes y a cualquier temperatura del aceite. El aceite sobrante, cuando se estabiliza la presión, se retorna a través de una válvula reductora (o de descarga). Además, el elevado caudal de la bomba garantiza una presión normal en el sistema aún después que se aumentan los huelgos y se inicia el desgaste de las piezas del motor. Con el aumento de los huelgos la cantidad de aceite retornada, a través de las válvulas reductoras o de descarga, disminuye.

El motor del Nissan Sentra B14 funciona con una bomba de engranajes internos que se ilustra en la siguiente gráfica, donde se pueden apreciar las diferentes partes internas, las cuales, son las encargadas de enviar el aceite a presión por todo el circuito de lubricación, se muestra así:

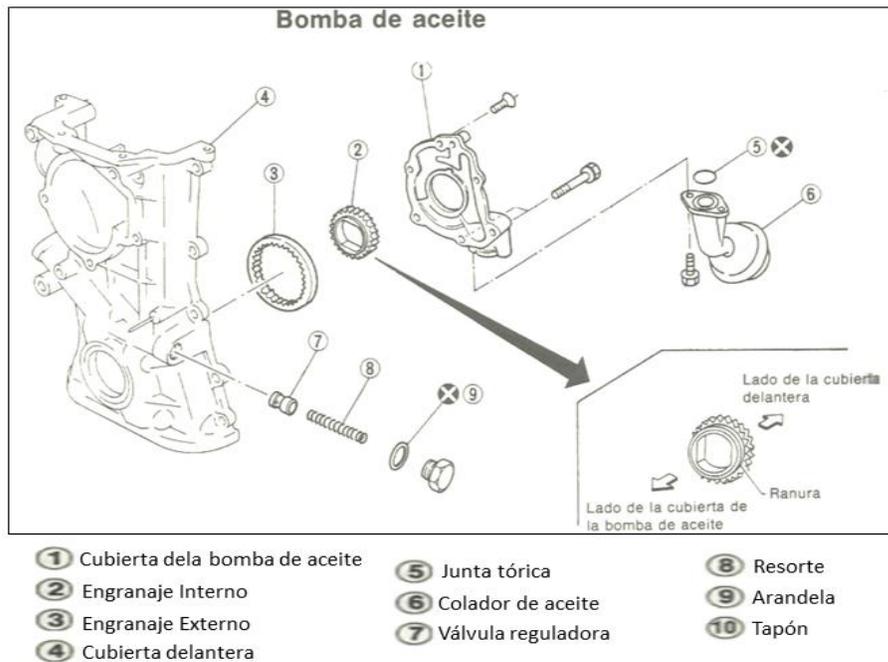


Figura 3: Bomba de Aceite Nissan Sentra.

Cuando el aceite es impulsado por la bomba, este llega a una válvula reguladora que debe de mantener la presión del sistema bajo regímenes normales para que no se vaya sobre presionar el circuito de lubricación, se ilustra de la siguiente manera:

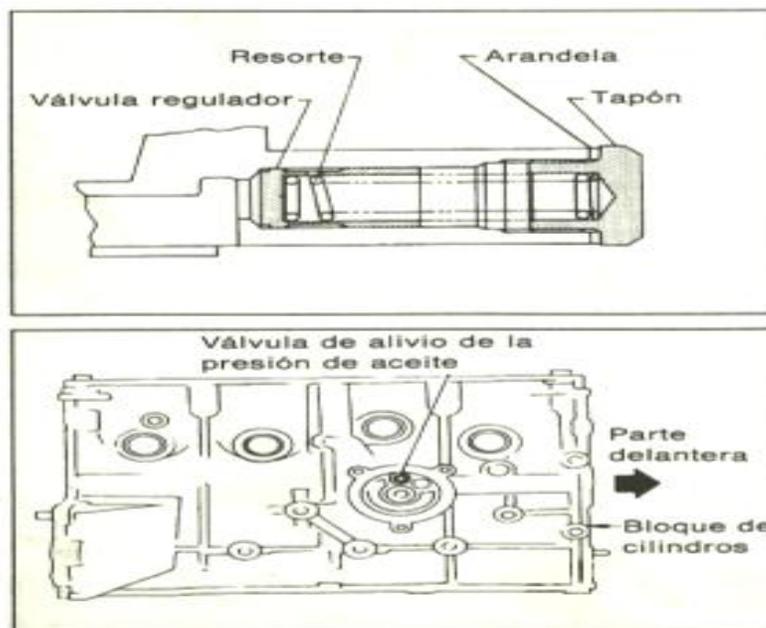


Figura 4: Válvula regulador de presión de aceite.

La presión que debe de manejar el sistema de lubricación en ralentí es de aproximadamente 1,1 Bar, y a 3000 RPM debe de estar aproximadamente en 3,43 Bar, todo esto con el fin de que se supervise la presión del sistema en cualquier momento de prácticas y se pueda tener certeza de que la bomba de aceite está trabajando en condiciones normales; si los datos tienen una variación del 10% significa de que se está empezando a tener dificultades en el sistema y se debe de verificar en el menor tiempo posible.

La bomba de lubricación maneja una serie de medidas en sus engranajes que se deben de tener presentes en el momento de que se vaya a realizar una inspección o se esté teniendo un problema por fallas de presión de aceite.

Unidad: mm (pulg.)		
Holgura entre el cuerpo y el engranaje externo	①	0,110 – 0,200 (0,0043 – 0,0079)
Holgura entre el engranaje interno y las aristas	②	0,217 – 0,327 (0,0085 – 0,0129)
Holgura entre el engranaje externo y las aristas	③	0,21 – 0,32 (0,0083 – 0,0126)
Holgura entre el cuerpo y el engranaje interno	④	0,05 – 0,09 (0,0020 – 0,0035)
Holgura entre el cuerpo y el engranaje externo	⑤	0,05 – 0,11 (0,0020 – 0,0043)
Holgura entre el engranaje interno y la parte fija de la envoltura	⑥	0,045 – 0,091 (0,0018 – 0,0036)

Figura 5: Holgura de piezas de la bomba de aceite.

El motor del Nissan Sentra B14 necesita de 4 cuartos de aceite 20 W 50 para el correcto funcionamiento del sistema de lubricación, se debe de reemplazar cada 5000 kilómetros junto con su respectivo filtro de aceite, ya que si se pasa este kilometraje puede variar las características del aceite y puede ocasionar que en algún momento el vehículo se quede sin lubricación, ya sea porque se quemó por las altas temperaturas del motor o porque su viscosidad cambia y puede generar falta de lubricación en el sistema del tren móvil del motor

2.4. Funcionamiento convencional de la bomba de aceite.

Las Bombas de aceite del motor son impulsadas ya sea directamente desde el cigüeñal del motor o en alguna relación por la velocidad de una cadena que esta enlazada con un piñón del cigüeñal que gira a unas determinadas revoluciones. Las bombas deben de suministrar un caudal suficiente a bajas revoluciones, pero debe evitar la sobre presurización del sistema de lubricación a altas velocidades del motor. Por lo general un circuito de derivación activado por presión para limitar el flujo y la presión resultante a altas velocidades del motor es la que se muestra en la figura 10, donde se ilustra la presión de salida de la bomba de aceite como una función de la velocidad del motor para un motor diesel 15 litros. El alivio es interno a la bomba y por lo general vuelve a dirigir el flujo de exceso de aceite de vuelta al puerto de entrada de la bomba de aceite. La figura 11, muestra el flujo de salida de la bomba resultante a través del motor como resultado de las válvulas de regulación de la presión. El flujo se eleva casi linealmente con la velocidad de la bomba, (la razón de que no es lineal es el cambio de la eficiencia volumétrica)

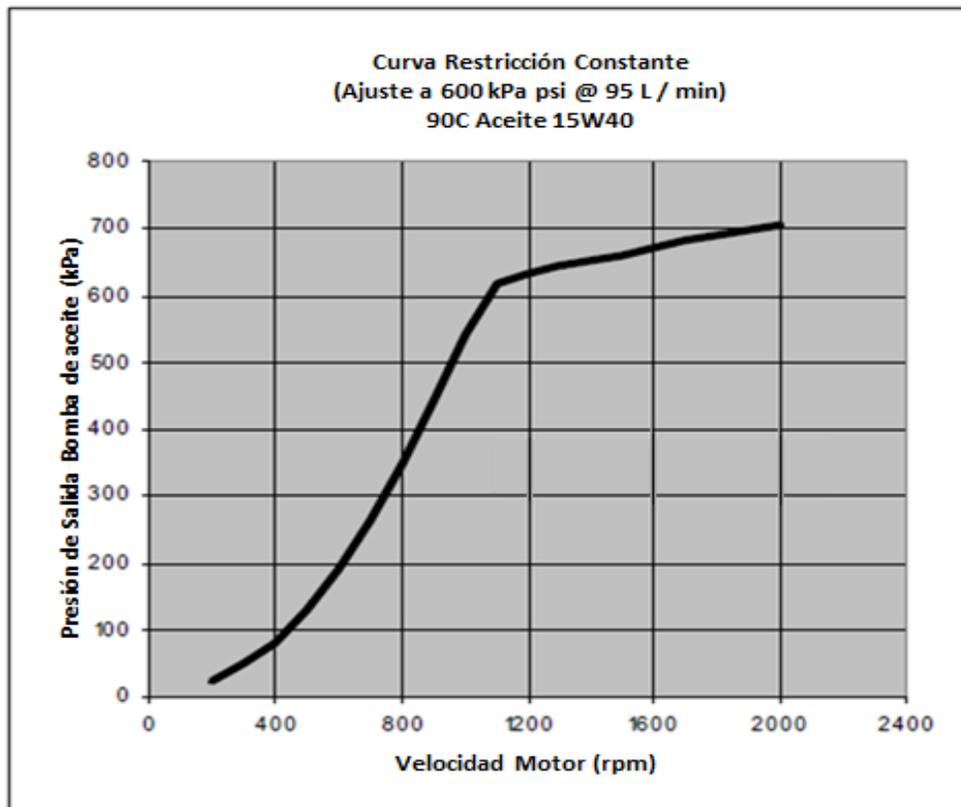


Figura 6. Salida de presión de la bomba de producción y el efecto de alivio de presión y velocidad de la bomba en la presión de salida.

2.5 Bombas de engranajes internos.

La construcción típica de una bomba de engranajes internos es muy similar a la bomba de engranajes externa. Se compone de un engranaje externo, un engranaje interno, un eje de accionamiento, y una carcasa para contener todo. El engranaje con dientes externos se encuentra en el interior del engranaje con dientes internos, por lo tanto se denominan; engranaje interior y engranaje exterior, respectivamente. El engranaje interior tiene un diente menos que el engranaje exterior. El engranaje interior está conectado típicamente con el eje de accionamiento y por lo tanto el engranaje exterior está impulsado por el engranaje interior. Para la bomba estilo Gerotor, los elementos de engranaje tienen una forma especial de diente que asegura que el engranaje interior y exterior permanezca siempre en contacto.

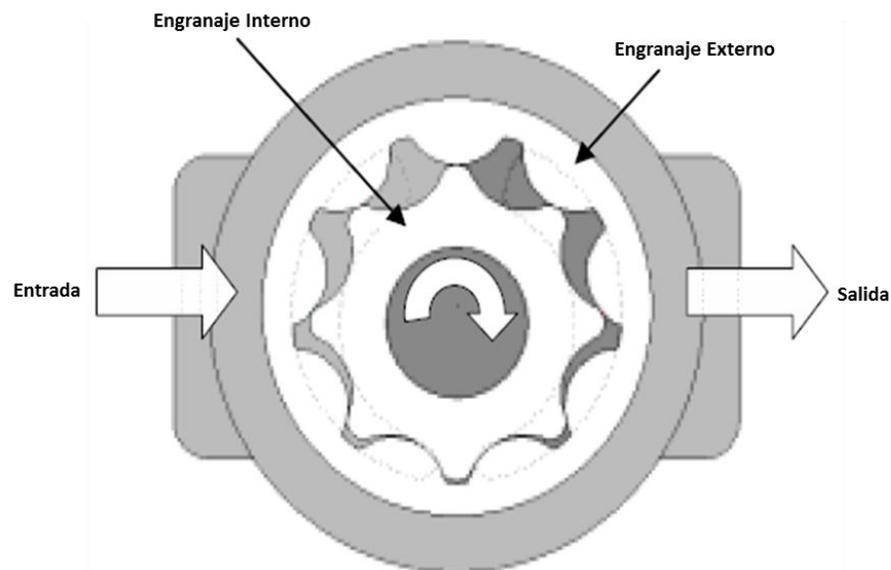


Figura 7. Ilustración de un engranaje interno típico o configuración de la bomba de aceite "gerotor" y la operación del sistema.

2.6 Filtrado del aceite.

Durante el trabajo del motor la calidad del aceite y su capacidad lubricadora disminuyen. Esto se debe a que el aceite se mezcla con los productos de desgaste, la carbonilla y también el polvo del aire circundante. Las partículas duras, al caer junto con el aceite a los huelgos de los pares en contacto, provocan su desgaste intensivo. Además, el aceite, poco a poco se deteriora por su

combinación con el combustible y la humedad. La depuración correctamente organizada contribuye al incremento de la vida útil del aceite.

La limpieza del aceite debe ser continua. Los esquemas de filtrado existentes se pueden descomponer en dos grupos:

En el esquema del primer grupo el filtrado se realiza con la ayuda de los filtros de depuración basta. A través de este filtro pasa todo el flujo del aceite. Por su construcción los filtros de depuración basta pueden ser: de láminas en laberinto, de láminas perforadas y de mallas. Después del filtro de depuración basta el flujo de aceite se bifurca. La mayor parte del aceite se dirige a la vía principal y de allí a la lubricación de los pares de fricción y la otra parte (cerca del 10...15%) pasa a través del filtro de depuración fina y se vierte al fondo del cárter.

Los filtros de depuración fina realizan una separación más esmerada de las impurezas mecánicas y los productos de descomposición contenidos en el aceite. El elemento de trabajo en tales filtros puede ser masa prensada, papel, fieltro, mezcla de algodón-papel y otros.

En los esquemas del segundo grupo, todo el flujo de aceite pasa a través de los filtros de depuración fina. No hay filtro de depuración grosera en este caso.

Fuera del filtrado superficial, se emplea ampliamente también la limpieza centrífuga del aceite, basada en la separación de las partículas duras contenidas en el aceite en un rotor, por medio de la fuerza centrífuga. Los filtros que limpian el aceite utilizando el campo de fuerzas (fuerzas centrífugas) se denominan centrífugas.

2.7 Regulación de la presión de aceite.

Las bombas de aceite de desplazamiento fijo requieren la aplicación de un circuito de descarga de presión. La presión del aceite del motor se regula para evitar la sobre - presurización de los rodamientos y sellos en el sistema de lubricación. La regulación de la presión de aceite permite un porcentaje del flujo de aceite desde la bomba al motor y el exceso de aceite se desvía al cárter. El sistema de regulación de presión está regulando el flujo de aceite a través del motor para no generar sobrepresiones y daños en los sellos de motor. El flujo de la bomba de aceite está directamente relacionado con la velocidad de la bomba, por lo que otra manera de controlar el flujo sería la de regular la velocidad de funcionamiento

de la bomba de aceite. Cabe mencionar que el flujo puede ser controlado independiente de la velocidad del motor si la bomba de aceite utiliza un diseño de desplazamiento variable. Los diseños de caudal variable para aplicaciones de automoción y camiones se pueden encontrar en el equipo de inyección de combustible diesel, pero su aplicación a los sistemas de lubricación no son rentables económicamente.

El regulador de presión de aceite es típicamente un pistón mecánico que empuja contra un resorte. Cuando la presión comprime el pistón y el resorte, los puertos están expuestos permitiendo que el aceite de la salida de la bomba de aceite para volver a la entrada o cárter de aceite. Si el aceite del motor es inferior a la temperatura de funcionamiento normal, la viscosidad del aceite será más alta y la presión de salida de la bomba de aceite resultante será mayor para una velocidad de la bomba de aceite. Cuando el aceite está por debajo de la temperatura de funcionamiento normal, la restricción del aceite en el motor se aumentó proporcional al cambio en la viscosidad del aceite resultante en un mayor porcentaje de flujo total forzado a través del alivio y menos entregado al motor.

2.8 SISTEMA DE PROTECCIÓN ELECTRÓNICO AL SISTEMA DE LUBRICACIÓN

La aplicación del sistema de protección electrónica al sistema de lubricación, se encarga de registrar los datos obtenidos por el sensor de presión para informar al microcontrolador del vehículo sobre las variables del sistema de lubricación, teniendo en cuenta que este sistema ayudará para que los usuarios que tengan un vehículo de gama baja – media puedan instalar un dispositivo capaz de prevenir los daños en el motor por la pérdida de lubricación, ya sea por la ruptura de una tubo o manguera o por las falencias de una bomba de aceite y un filtro de aceite, todo esto ha conllevado, a que hoy en día se pague más por un mantenimiento correctivo que por un mantenimiento predictivo, el cual le ahorraría grandes sumas de dinero a los usuarios de este tipo de vehículos y los motores serían más confiables y tendrían un mayor tiempo de vida útil, resumido esto en los kilómetros recorridos sin sufrir ningún tipo de inconveniente mecánico.

Se realizaron varias pruebas para determinar el estado del sistema, donde se realizaban comparaciones con la presión del sistema leída por un manómetro y la información que procesa el microcontrolador y que la transmite a la pantalla táctil para que pueda ser evidenciada por el usuario. A continuación se muestra la pantalla táctil donde se está dando la lectura de la presión de aceite.



Figura 8. Presión de aceite sin encender el motor.

La alarma para el sistema de lubricación está calculada para que cuando baje a 0,7 Bar se encienda una alarma sonora indicando que el sistema tiene una avería, y si la presión del sistema sigue bajando hasta 0,49 Bar, el microcontrolador generará una señal para apagar el motor. Igualmente, sucede cuando el sistema tiene sobre presión de aceite y sobre pasa los 4,41 Bar, se generará una alerta y después de tener esta alarma sonora el microcontrolador generará una señal para al relé de la bomba de combustible para que apague el motor. A continuación se ve una imagen que define de manera gráfica las alarmas.



Figura 9: Alarmas de protección del motor, por lubricación o temperatura

En el momento de que estas alarmas sonoras se enciendan, y si la presión sigue bajando se mostrará en el grafico un cuadro rojo que indicará que está en baja

presión, y luego de tener este registro el motor tendrá un tiempo de 10 segundos para que se apague el motor.

3. EQUIPOS UTILIZADOS

- Manómetro de presión de presión de aceite.
- Motor de combustión interna Nissan Sentra B 14.
- Llaves mixtas.
- Paño limpiador seco, libre de impurezas.
- Elementos de seguridad personal (gafas, guantes, overol, etc.)

4. PRÁCTICA

Comprobación de la presión de aceite.

Precauciones:

- Tenga cuidado de no quemarse, ya que el motor y el aceite pueden estar caliente.
- La comprobación de la presión de aceite debe realizarse en la posición neutra de la caja de velocidades.

Pasos:

1. Compruebe el nivel de aceite utilizando la varilla medidora. (Debe estar por encima del nivel mínimo indicado)
2. Quite el interruptor de presión de aceite (trompo de aceite).

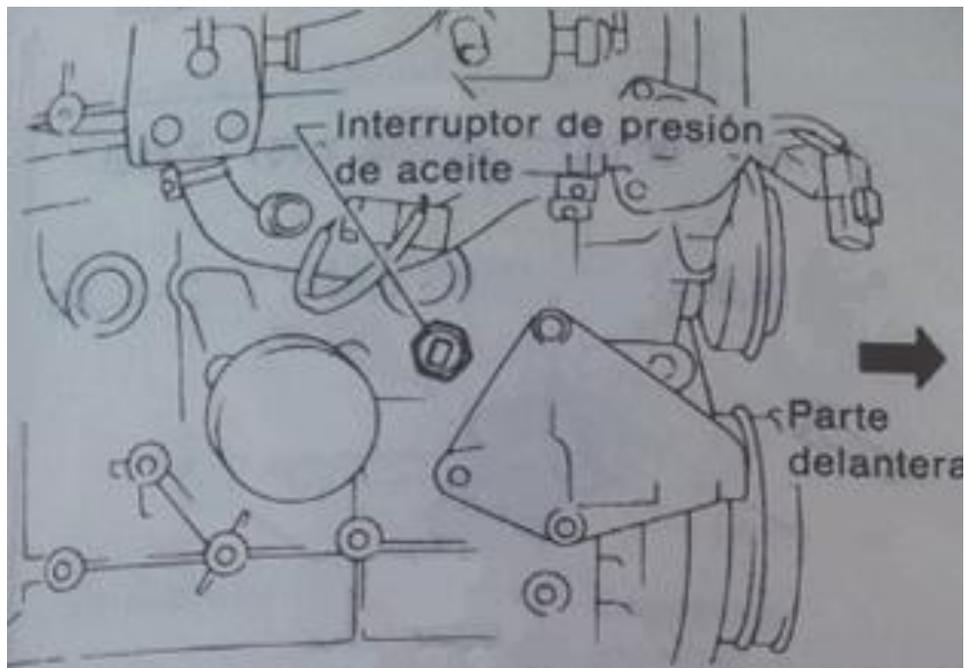


Figura 10: Ubicación del interruptor de presión de aceite

3. Instale el manómetro en el puerto donde se encontraba ubicado el interruptor de presión.
4. Arranque el motor y caliéntelo a la temperatura normal de funcionamiento hasta que encienda el moto-ventilador.
5. Compruebe la presión del aceite con el motor funcionando sin carga.
 - Nota: Si la diferencia fuera extrema respecto al manual del fabricante, compruebe si hay fugas en el conducto y/o la bomba de aceite.
6. Apague el motor y espere un tiempo prudente para continuar con el siguiente paso.
7. Para terminar reinstale el interruptor de presión de aceite con una arandela de sello de bronce o aluminio.

5. INFORME

1. Explique la importancia de un sistema de lubricación para un motor y sus condiciones de trabajo.
2. Nombre y explique brevemente los componentes más importantes de un sistema de lubricación.
3. Explique la estructura y funcionamiento de un sistema de lubricación.
4. ¿Cuáles son las principales averías ocasionadas en el sistema de lubricación?
5. ¿Para qué se emplea la válvula reguladora de presión de aceite?
6. ¿Qué importancia tiene el filtrado de aceite?
7. ¿Qué tipo de bomba se emplea en el motor de Nissan Sentra B14?
8. ¿Cuáles son las partes de una bomba de lubricación de este motor?
9. ¿Cuándo un ducto interno de lubricación se tapona, qué puede ocurrir?, explique su respuesta.
10. ¿Qué elementos influyen en la variación de la presión de aceite?
11. ¿Las bombas de aceite generan presión o caudal?, justifique su respuesta.