



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

***“EL MANTENIMIENTO EN EL EJE TRASERO DE
LA RETROEXCAVADORA 416 CATERPILLAR”***

T E S I S:

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

***INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
(ÁREA: INGENIERÍA MECÁNICA)***

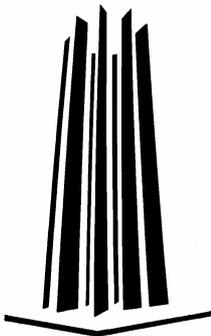
P R E S E N T A N:

***NORMA AYDEE HERNÁNDEZ VILLA
MARCO ANTONIO ACUÑA MARTÍNEZ***

ASESOR

ING. FRANCISCO RAÚL ORTÍZ GONZÁLEZ

SAN JUAN DE ARAGÓN, ESTADO DE MÉXICO, 2009.





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis va dedicada a las personas que durante el transcurso de mi vida siempre confiaron en mí y me brindaron lo más hermoso que a una persona le pueden obsequiar: su apoyo incondicional y muchas sonrisas.

Pero sobre todo doy gracias a Dios por poner en mi camino a personas tan valiosas e inigualables que hoy forman parte de este gran logro y que me motivan para seguir en el camino del éxito.

Esta es una dedicación muy especial que brindo de todo corazón para las personas que amo (Mi madre, Mi padre, Hermanos y Mi pareja) sin olvidar a todos mis amigos, mis profesores y mi asesor por su apoyo en la elaboración de esta tesis.

Gracias por todo su cariño.....

Norma Aydee Hernández Villa

AGRADECIMIENTOS

A lo largo de la vida me he dado cuenta que todo lo que hacemos esta ligado por una voluntad y un interés de superación en ser los mejores en nuestro trabajo para ser reconocidos por lo que hacemos, pero todo esto no seria así, sin el apoyo de nuestras familias, yo en esta ocasión le agradezco a mi padre que en paz descanse, y que a lo largo de su vida me apoyo y me demostró en varias ocasiones que *querer es poder* y ha mi madre que después de todo lo que hemos vivido, me ha alentado ha realizar mis metas y seguir adelante. Esta tesis es un pequeño homenaje a ellos, también no quiero desaprovechar la oportunidad para agradecer, a mi esposa, mis hijos, mis hermanos, familiares, maestros y amigos que me han apoyado a lo largo de mi carrera y que en su amistad me han reflejado sus buenos deseos

Le doy gracias a Dios por estos momentos, por cruzar mi camino con las personas que valiosamente han formado parte de mi vida y han sido copartcipe de este gran logro y que han motivado perseguir el éxito.

Ha todos ellos y sin olvidar a Norma quien me ha brindado una amistad que supera barreras. Y a mi asesor por todo su apoyo y amistad en la elaboración de esta tesis.

Mucha Gracias por todo su apoyo y amistad.....

Marco Antonio Acuña Martínez

CONTENIDO

Introducción

CAPÍTULO 1

LA RUEDA

	<i>Pág.</i>
<u>1.1. Introducción</u>	1
<u>1.1.1. Concepto de rueda</u>	4
<u>1.1.2. Evolución de la rueda</u>	5
<u>1.2. Descubrimiento de la rueda</u>	11
<u>1.2.1. Las ruedas actuales</u>	12
<u>1.2.2. La rueda hidráulica</u>	14
<u>1.3. La polea</u>	16
<u>1.4. Los molinos de viento</u>	17
<u>1.5. La transmisión</u>	20
<u>1.6. Máquina simple</u>	21

CAPÍTULO 2

LA TRANSMISIÓN

<u>2.1. Concepto de engrane</u>	23
<u>2.2. Clasificación de engranes</u>	24
<u>2.3. Partes de un engrane</u>	31
<u>2.4. Nomenclatura de un engrane recto</u>	32
<u>2.5. Definición de transmisión</u>	34
<u>2.5.1. Función de transmisión de tren de engranes</u>	35
<u>2.6. Tren de engranes</u>	36
<u>2.6.1. Locomotora de vapor</u>	38
<u>2.6.2. Locomotoras diesel-eléctricas</u>	39
<u>2.6.3. Locomotoras de turbina eléctrica</u>	40
<u>2.6.4. Automóvil</u>	40

CAPÍTULO 3

MATERIALES y TRATAMIENTOS

<u>3.1. Aceros</u>	44
<u>3.1.1. Aceros de construcción</u>	44
<u>3.1.2. Aceros de bajo contenido de carbono</u>	45
<u>3.1.3. Aceros al carbono de alta maquinabilidad (resulfurados)</u>	47
<u>3.1.4 Aceros de herramientas</u>	48

<u>3.1.5. Aceros aleados</u>	49
<u>3.1.6. Nomenclatura de los aceros sistema S.A.E - A.I.S.I</u>	51
<u>3.2. Los tratamientos superficiales de los engranes</u>	57
<u>3.2.1. Generalidades</u>	57
<u>3.2.3 Características Necesarias</u>	58
<u>3.2.3. Clases y mModos de fallo</u>	58
<u>3.2.3.1. Desgaste</u>	58
<u>3.2.3.2. Adhesió</u>	58
<u>3.2.3.3. Abrasión</u>	58
<u>3.2.3.4. Corrosión</u>	58
<u>3.2.3.4. Decapado</u>	59
<u>3.2.3.5. Cavitación</u>	59
<u>3.2.3.6. Descarga eléctrica</u>	59
<u>3.2.3.7. Scuffing</u>	59
<u>3.2.3.8. Deformación Plástica</u>	59
<u>3.2.3.9. Indentación</u>	59
<u>3.2.3.10. Rodadura</u>	60
<u>3.2.3.11 Martilleo</u>	60
<u>3.2.3.12. Ondulaciones</u>	60
<u>3.2.3.13 Aplastamiento de raíces</u>	60
<u>3.2.3.14 Fatiga</u>	60
<u>3.2.3.14 Pitting</u>	60
<u>3.2.3.16. Micropitting</u>	60
<u>3.2.3.17. Agrietamiento</u>	61
<u>3.2.3.18. En el temple</u>	61
<u>3.2.3.19. En el rectificado</u>	61
<u>3.2.3.20. Grietas en borde y armadura</u>	61
<u>3.2.3.21. Separación superficie/núcleo</u>	61
<u>3.2.3.22. Agrietamiento por fatiga</u>	61
<u>3.2.3.23. Fractura</u>	61
<u>3.2.4. Tratamientos de endurecimiento</u>	62
<u>3.2.4.1. Cementación carburante</u>	62
<u>3.2.4.2. Cementación en caja</u>	63
<u>3.2.4.3. Cementación en baño de sales fundidas</u>	63
<u>3.2.4.4. Cementación gaseosa</u>	64
<u>3.2.4.5. Carbonitruración</u>	64
<u>3.2.4.6. Tratamiento térmico de las piezas cementadas</u>	65
<u>3.2.4.7. Nitruración y nitrocarburación</u>	65

<u>3.2.4.7.1. Nitruración</u>	65
<u>3.2.4.7.2. Nitrocarburation</u>	66
<u>3.2.4.8. Temple superficial por soplete o por inducción</u>	67
<u>3.2.4.9. Temple por soplete</u>	67
<u>3.2.4.10. Temple por inducción</u>	68
<u>3.2.4.11. Sur-sulf</u>	69
<u>3.2.4.12. Niquelado químico</u>	71
<u>3.2.5. Tratamientos termoquímicos del acero</u>	71
CAPÍTULO 4	
<u>LAS MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS</u>	
<u>4.1. Introducción</u>	74
<u>4.1.1. Clasificación de las máquinas-herramienta</u>	75
<u>4.1.2. Características de las máquinas –herramienta</u>	76
<u>4.2. Fabricación de engranajes</u>	77
<u>4.2.1. Las máquinas utilizadas comúnmente para la fabricación de engranes</u>	78
<u>4.2.1.1. Torno</u>	78
<u>4.2.1.2. Fresadora</u>	83
<u>4.3 Máquinas modernas para la fabricación de engranajes</u>	89
CAPÍTULO 5.	
<u>RETROEXCAVADORA 416 CATERPILLAR</u>	
<u>5.1. Introducción</u>	92
<u>5.2. Retroexcavadoras</u>	93
<u>5.2.1. Fuerzas de rompimiento, penetración y elevación</u>	94
<u>5.2.1.1. Tren de fuerza</u>	94
<u>5.2.1.2. Rendimiento</u>	95
<u>5.2.1.3. Sistema hidráulico</u>	96
<u>5.2.1.4. Mantenimiento</u>	96
<u>5.2.1.5. Herramientas</u>	97
<u>5.2.1.6. Ejemplo</u>	97
<u>5.2.1.7. Análisis macroscópico</u>	98
<u>5.2.1.8. Análisis microestructural</u>	99
<u>5.2.1.9. Conclusiones y recomendaciones</u>	100
<u>5.2.2. Ejes</u>	101
<u>5.2.2.1. Procedimiento experimental</u>	102

<u>5.2.2.2. Inspección visual y fractografía</u>	102
<u>5.2.2.3. Metalografía</u>	105
<u>5.2.2.4. Composición química</u>	107
<u>5.2.2.5. Dureza</u>	107
<u>5.2.2.6. Discusión</u>	107
<u>5.2.2.7. Comprobación de la falla mediante la teoría de Morh</u> <u>Modificada</u>	109
<u>5.2.2.8. Conclusiones</u>	110
<u>5.3. Caterpillar</u>	111
<u>5.3.1. Maquinaria 416</u>	114
<u>5.3.1.1. Características</u>	114
<u>5.3.1.2. Tren de fuerza</u>	115
<u>5.3.2. Operación</u>	116
<u>5.3.3. Mantenimiento preventivo y correctivo</u>	116
<u>5.3.4 Aceite</u>	119
<u>5.4. Lubricación</u>	120
<u>5.4.1. Lubricante</u>	120
<u>5.4.2. Las características principales de los lubricantes</u>	120
<u>5.4.2.1. Viscosidad</u>	120
<u>5.4.2.2. El punto de fluidez</u>	121
<u>5.4.2.3. Punto de Inflamación y Fuego</u>	121
<u>5.4.2.4. El índice de neutralización de un lubricante</u>	121
<u>5.4.2.5. El índice de saponificación (Is)</u>	121
<u>5.4.2.5. Índice de alquitrán</u>	121
<u>5.4.2.6. Emulsionabilidad Del Aceite</u>	122
<u>5.4.2.7. Untuosidad</u>	122
<u>5.4.2.8. Aspectos Generales De Los Lubricantes</u>	123
<u>5.4.2.9. Funciones De Un Lubricante</u>	123
<u>5.4.2.10. Reducción de la Fricción</u>	123
<u>5.4.2.11. Clasificación de los aceites lubricante</u>	125
<u>5.4.2.12. Las bases minerales</u>	125
<u>5.4.2.13. Las bases "hidrocracked"</u>	127
<u>5.4.2.14. Los Aceites Sintéticos</u>	127
<u>5.4.2.15. Los Aditivos</u>	128
<u>5.4.3. Aditivos mejoradores de las cualidades físicas</u> <u>del aceite lubricante.</u>	129
<u>5.4.3.1. Aditivos Mejoradores del Indice de Viscosidad</u>	129
<u>5.4.3.1. Mejoradores del Punto de Fluidez y congelación.</u>	130

<u>5.4.3.2. Aditivos Antiespumantes.</u>	130
<u>5.4.3.3. Aditivos para Aumentar la Rigidez Dieléctrica.</u>	130
<u>5.4.3.4. Tipos de Lubricación</u>	131
<u>5.4.4. Grasas lubricantes</u>	132
<u>5.4.4.1. El lubricador "Hombre Clave"</u>	133
<u>5.4.4.2. Conocimientos y habilidades que debe tener un buen lubricador</u>	134
<u>5.4.4.3. Relación entre las características de un aceite y las condiciones de trabajo</u>	134
<u>5.4.4.4. Aceites v/s Grasas</u>	135
<u>5.5. Ventajas de las grasas</u>	135
<u>5.6. Ventajas de los aceites</u>	135
CONCLUSIONES	136
BIBLIOGRAFÍA	138
ANEXO	139

INTRODUCCIÓN

El hombre desde que hizo su aparición en la Tierra tuvo la necesidad de trasladarse de un lugar a otro acompañado por sus pertenencias, se hizo agricultor y realizó obras para su protección contra el medio ambiente, como eran: las lluvias, inundaciones, el frío, el calor. También hubo la necesidad de diseñar sus diferentes alojamientos y estancias, así como el de aprovechar todos aquellos recursos naturales que en vez de perjudicarlos, los beneficiarían.

Es por ello que el presente trabajo está orientado hacia el mantenimiento que se le debe de realizar al tren motriz de las retroexcavadoras. Estas maquinarias han sido de gran ayuda en todo lo referente a la construcción civil de obras tanto grandes como son las presas hidráulicas, así como en la excavación de zanjas.

A continuación se describen los aspectos principales en los que se encuentran comprendidos los capítulos de este trabajo.

El primer capítulo denominado "LA RUEDA", establece los orígenes de éste elemento tan importante en lo referente a sus aplicaciones hasta la actualidad.

El segundo capítulo llamado "LA TRANSMISIÓN", describe los principales tipos de engranes que existen en el mercado así como sus elementos que hay que considerar para su diseño, y, donde se aplican para generar movimiento.

El tercer capítulo cuyo nombre es "MATERIALES y TRATAMIENTOS ", trata de los diferentes aceros con que se pueden manufacturar los engranes que se utilizan para los ejes motriz, considerando sus estándares según normas internacionales. Así como de los diferentes tratamientos térmicos que deben de realizarse.

El cuarto capítulo establecido como "LAS MÁQUINAS HERRAMIENTA", describe las diferentes equipos convencionales que existen para el empleo en la manufactura de los engranes, desde los ordinarios hasta los equipos sofisticados que por medio de sistemas computacionales operan.

Y el quinto capítulo que lleva como nombre "RETROEXCAVADORA 416 CATERPILLAR", presenta los orígenes que ha tenido esta maquinaria hasta la actualidad, indicando sus componentes con los que opera. También describe un ejemplo de falla de su tren motriz y como se solucionó. Así como los cuidados que debe de tenerse en cuenta para el óptimo funcionamiento de este equipo, y el mantenimiento que tiene durante su vida de operación.

CAPÍTULO 1. **LA RUEDA**

1.1. Introducción

He aquí un invento simple y antiquísimo, sin embargo fue algo esencial para la evolución de maquinarias, sin considerar simplemente algunas, esta constante mejora fue para todo tipo de equipos mecánicos y la base de dicha evolución fue la rueda.



Figura 1. 1. Proceso de fabricación de la rueda de madera.

La rueda es un elemento necesario en infinidad de inventos, tanto antiguos como actuales, desde los primitivos molinos, hasta la bicicleta, motocicleta, automóvil, avión, cosechadora, tractor, silla de ruedas, etc.



Figura 1.2. Importancia de la rueda.

Para llegar a ciertos inventos, hubo que basarse en anteriores, que no por simples y primitivos son menos importantes. No se conocen nombres de inventores de la antigüedad, pero se lograron en esa época mecanismos e instrumentos que todavía se utilizan en ciertas actividades, como las máquinas agrícolas, las de la construcción, las comunes domésticas, entre otras.

Y es así como desde milenios se utilizaron aparejos, poleas, engranaje, ruedas, que posibilitaron la aparición de otras herramientas y cuyo principio de la física fue resumido por Arquímedes en el siglo III antes de Cristo: "Cuanto más largo es el brazo de la palanca, tanto menor será la fuerza necesaria para mover un objeto".

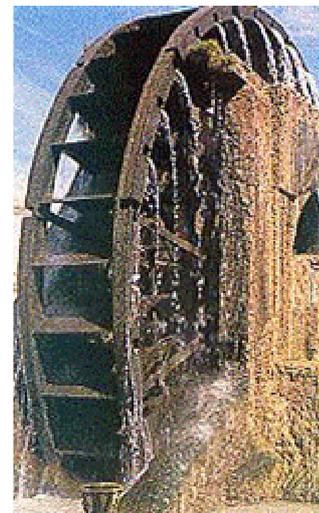
Los griegos y romanos aplicaron la rueda hidráulica ampliamente y un ejemplo lo da la construcción por parte de los romanos, dos siglos antes de la era cristiana, de una usina hidráulica en el sur de Francia combinando 16 ruedas entre sí, las que hacían trabajar a 32 molinos, que producían casi una tonelada de harina cada uno.

Los árabes también emplearon la rueda hidráulica en tareas agrícolas.

La rueda se transformó en la gran máquina de la Edad Media, utilizándose en molinos harineros, en aserraderos, martillos y bombas, para accionar fuelles, para la batanadura de la lana. Las grandes ruedas hidráulicas medievales de madera desarrollaban una potencia máxima de cincuenta caballos de fuerza. Y tanto se las empleó en posición vertical, como también en posición horizontal, para mover directamente una estructura vertical.



Figura 1.3. Sígala o rueda hidráulica árabe para elevar agua.



Típica rueda hidráulica de origen árabe

Figura 1.4. Típica rueda hidráulica de origen árabe.

La energía hidroeléctrica posterior debe su mayor desarrollo al ingeniero civil británico John Smeaton, que construyó por vez primera grandes ruedas hidráulicas de hierro colado.



Figura 1.5. Ruedas hidráulicas en la generación de energía eléctrica.

Las ruedas más antiguas que se conocen fueron construidas en la civilización Mesopotámica, alrededor de 3,000 años antes de Cristo como la que se muestra a continuación (figura 1.2). Un milenio después aparecieron las ruedas con radios. Al principio se la utilizó movida por animales o por hombres, como en el caso de la noria, y posteriormente se aplicaron mecanismos para suplantar estas fuerzas de tracción.

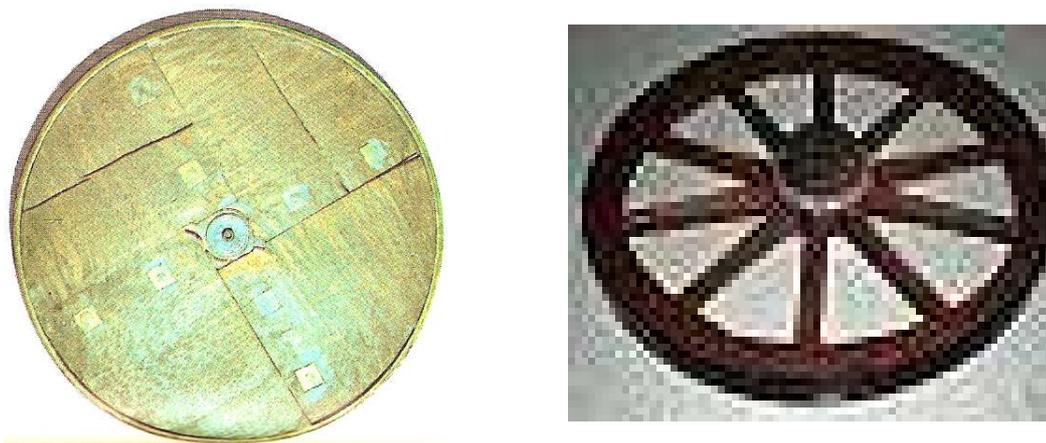


Figura 1.6. Ruedas construidas de madera.

La rueda logró un uso más eficiente de la fuerza animal aplicado a la agricultura, fue la base para controlar la dirección de la fuerza, y fue empleada por las civilizaciones antiguas para los usos más diversos: rueda de carros, rueda con manivela para ascender baldes con agua de pozo, rueda de torno de alfarero, rueda de rueca

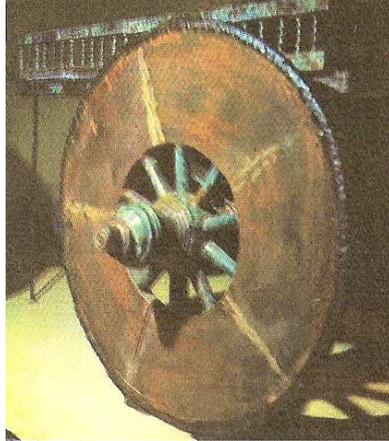


Figura 1.7. Rueda de madera montada en carreta.

1.1.1. Concepto de rueda

Rueda, se le conoce a la máquina elemental, de forma circular, que gira sobre su eje.

Los volantes de los automóviles, las turbinas de los motores, los engranajes que hacen girar las manecillas de los relojes, las ruedas de los tractores, de las bicicletas, los autobuses y los trenes y mucho más, día a día se fueron desarrollando mejoras que actualmente se convierten en tecnologías de alto nivel, pasando cada uno por diversas etapas para lograr las mejoras que contribuyen a la buena marcha de nuestra civilización.



Figura 1.8. Volante para automóvil.

Si la rueda desapareciera de pronto, la vida se volvería realmente difícil. El fuego y la agricultura figuran entre los mayores descubrimientos de la humanidad, pero la rueda fue, sin lugar a dudas, uno de sus más importantes inventos.

1.1.2. Evolución de la rueda

Antes de la máquina de vapor, los grandes esfuerzos se hacían a puro músculo, utilizando la fuerza de las personas o de los animales.

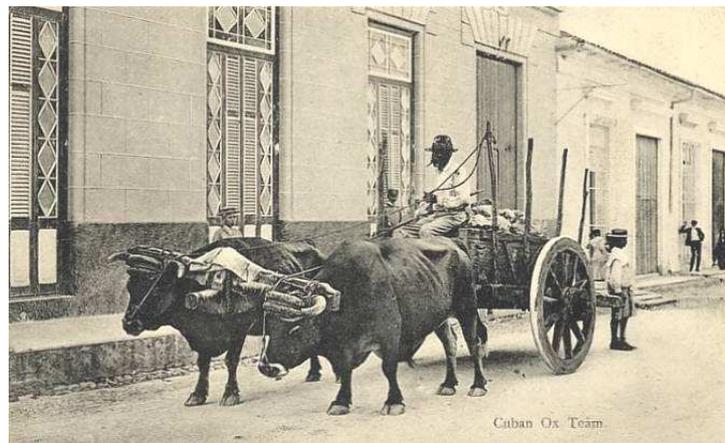


Figura 1.9. Los animales cumplían una función básica para el desarrollo de la rueda, como el acarreo en carreta.

Así se movían los carros y las embarcaciones (figura 1.7), así se araban los campos para el cultivo, y así se hacían funcionar rudimentarios mecanismos.



Figura 1.10. Embarcación vikinga aprovechando la fuerza de sus tripulantes y el viento.

Con la máquina a vapor se produce toda una revolución en la industria. Gracias a este descubrimiento, pudieron inventarse motores capaces de mover, a una considerable velocidad, vehículos muy pesados. Así nacieron inventos tan espectaculares como los primeros buques, trenes y automóviles, todos impulsados por la fuerza del vapor

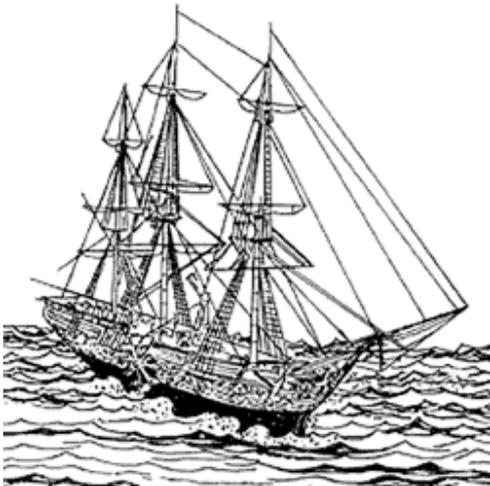


Figura 1.11. barco que combinaba las ruedas de paletas, el vapor y la vela.

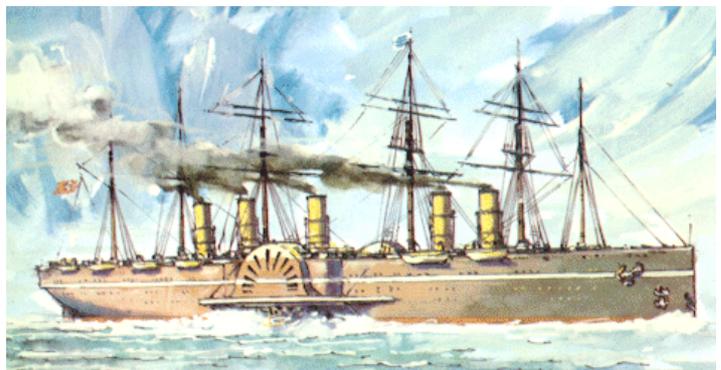


Figura 1.12. En los Estados Unidos de América, en 1787, se botó el primer barco de vapor propulsado por hélices.

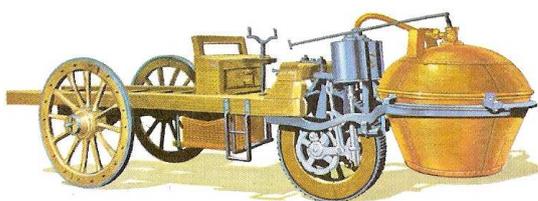


Figura 1.13. Triciclo autopropulsado con vapor diseñado por Cugnot en 1770.

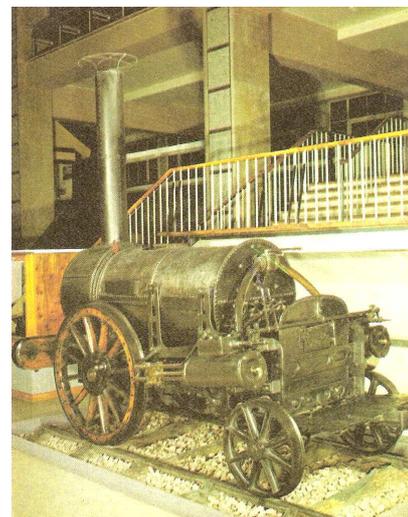


Figura 1.14. Locomotora Rocket, debida a George Stephenson, en 1825.

A continuación se presenta con detalle el principio de las máquinas de ferrocarriles.

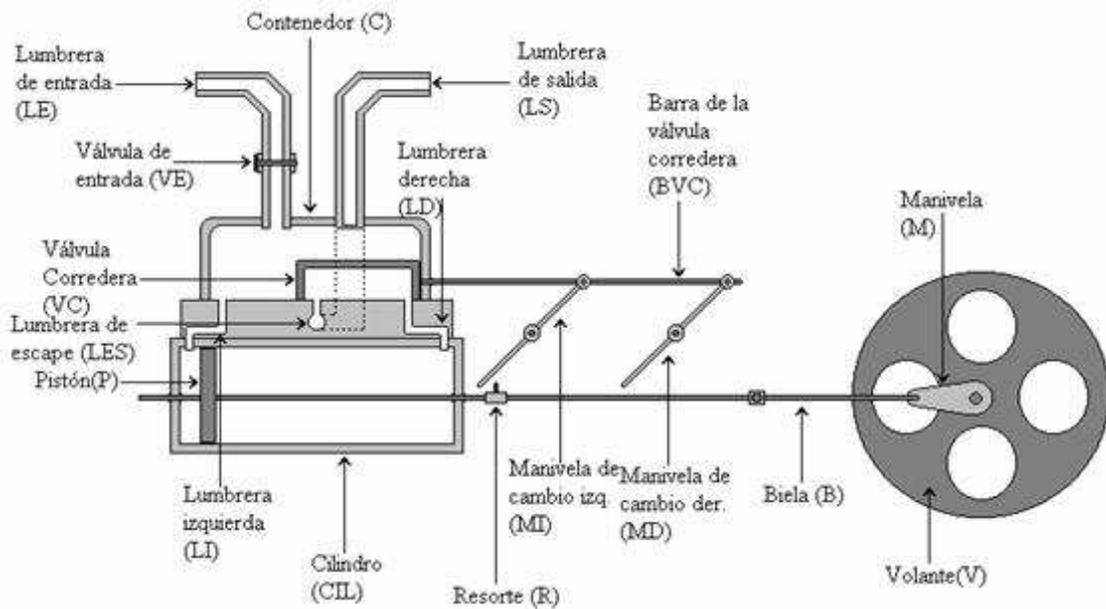


Figura 1.15. A principios del siglo XIX Stephenson fue el primero en aplicar este tipo de máquinas a los ferrocarriles.

En la actualidad, el buque a vapor puede parecer una verdadera antigüedad. Es cierto. Pero para las personas que no conocieron debe haber significado que los viajes se hicieran más rápidos, el transporte de pasajeros y de mercancías se volvió más fácil y cómodo. Como consecuencia, todos los mares se llenaron de barcos.



Figura 1.16. Buque carguero.

La locomotora de vapor, de no haber sido por este invento, no se habría desarrollado el transporte ferroviario y todavía seguiríamos viajando en carretas o diligencias. Claro, que las primeras locomotoras a vapor no eran muy veloces que digamos. Ya que corrían a... ¡seis kilómetros por hora!

En cambio, hoy día, existen trenes capaces de desarrollar una velocidad de más de 200 kilómetros por hora, llevando pasajeros y carga de norte a sur y de este a oeste.



Figura 1.17. Tren moderno en Birmingham, Alemania.

Para conquistar los cielos, los inventores han trabajado duro. Los primeros artefactos voladores tripulados fueron globos llenos de aire caliente o hidrógeno.

Más tarde, se mejoró la idea y aparecieron los dirigibles o "zeplines", que eran enormes globos, con una máquina de vapor y una hélice. A principios del siglo XX, la gente adinerada viajaba en esas extrañas naves.

Y así, llegamos al avión. Gracias a una ciencia que es la aerodinámica, se pudo estudiar la forma de hacer que un cuerpo, más pesado que el aire, volara como un pájaro.



Figura 1.18. Airbus 386 con capacidad para transportar a 600 pasajeros.

La historia de los inventos es también la historia de hombre, el único que ha logrado modificar las condiciones del medio natural.

La historia de los inventos no tiene nacionalidad. En distintas partes de la Tierra diferentes pueblos encontraron soluciones iguales o semejantes.

Hombres, pequeños grupos de incansables hombres y mujeres, seguidos por sus hijos, andaban por los bosques, por las llanuras y los desiertos, y en fin por el inmenso mundo, en busca de algo que comer, de agua para aliviar la sed, de un lugar seguro para descansar.

Los primeros hombres enfrentaron a cada momento peligros muy serios, fieras salvajes, erupciones volcánicas, tempestades, heladas y sequías los ponían a prueba. Nada estaba hecho, sobrevivir era una hazaña.

Sus manos se armaron de piedras, huesos y garrotes, y los animales comenzaron a perder la partida.

Después de años de trabajo estos hombres llegaron a construir ingeniosas trampas y a fabricar herramientas, piedra sobre piedra tallaron puntas de flecha, punzones, raspadores y hachas.

Con paciencia y habilidad afilaron huesos y conchas para convertirlos en los primeros anzuelos, arpones y agujas.; con ramas, lianas y pastos tejieron las primeras redes y cestas.

En el principio el fuego era de los dioses. Según se creía, ellos ponían en erupción los volcanes, hacían caer rayos y quemaban los bosques. Alguna vez, un hombre robó para sí un poco de fuego, pero le resultó muy difícil mantener una hoguera encendida

Quizá al afilar algún instrumento, descubrió que podía producir chispas.

Probó y seleccionó piedras una y otra vez hasta que, al golpearlas, hizo saltar más chispas, y con ellas encendió el primer fuego. Entonces el fuego fue de los hombres. Y sus formas de vida empezaron a cambiar.

Al abrigo de la luz de las llamas, pintó maravillosas escenas de caza en las paredes de oscuras cuevas.

Empezó a cocer y a azar su comida. Nadie sabe si lo logró por casualidad, pero el caso es que su dieta se hizo más sabrosa y sana

Nadie sabe tampoco cuáles fueron los pasos que se dieron hasta descubrir que el barro cocido se vuelve duro, resistente. Quizá al estar cerca del fuego, algunos cestos enlodados se cocieron y sirvieron después como recipientes.

Los cazadores errantes seguramente volvían a lugares en que ya habían estado. Probablemente, en alguno de esos regresos, notaron que las semillas que habían tirado en sus basureros a la entrada de las cuevas, o a un lado de sus campamentos, habían germinado y producido nuevas plantas. Pero, pasaron varios siglos antes de que, intencionalmente, guardaran semillas para plantarlas después.

Dedicados ya a la agricultura inventaron el arado y el azadón de piedra y madera para aflojar la tierra. En ciertas regiones utilizaron un palo puntiagudo, endurecido al fuego, para agujerear antes de sembrar.

Construyeron los primeros sistemas rudimentarios de riego, que fueron tan importantes como sus primeras casas.

Estudiaron los astros, y descubrieron el cambio periódico de las estaciones y así empezaron a calcular las épocas más adecuadas para la siembra y la cosecha.

Una vez establecidos, comenzaron a criar animales para comérselos

Mientras tanto otros hombres, los de las tribus de pastores, continuaron viajando por las llanuras, o las montañas, para alimentar y cuidar a sus rebaños. Ya no les fue tan necesario alejarse en busca de alimento, ni tenían que afrontar siempre los peligros de la caza.

Sembraron cereales como trigo, cebada, mijo, maíz., y plantas no comestibles como el algodón, el lino, el maguey, muy útiles porque sus fibras les sirvieron para hilar y tejer.

Los agricultores sustituyeron al hombre por los animales en el duro trabajo de jalar el arado.

Inventaron el huso para hilar el pelambre de algunos animales, y el telar para tejer fibras. Desde ese momento ya no dependieron solamente de las pieles para cubrirse. Construyeron viviendas y trojes más sólidas usando los materiales que tenían a su alrededor: madera, piedras, palmas, cañas.

Puliendo piedras duras, hicieron hachas, cuchillos y raspadores más filosos

Así comenzó la vida en sociedad. Fortificaron las aldeas con bardas de piedras muy pesadas. Es bastante probable que descubrieran la ventaja de acarrearlas sobre troncos.

Este fue el principio de la rueda, de ahí inventaron el torno para la cerámica.

Ahuecaron troncos que fueron sus primeras canoas; construyeron toscos trineos para cruzar las nieves.... y después de varios siglos aparecen, rudos carros de dos ruedas de madera maciza.

Mientras tanto, los agricultores llegaron a cosechar más granos de los que necesitaban e inventaron la manera de contarlos. El mercado fue el centro de reunión.; hacían trueque de granos por mantas, o frutos por bellas plumas, animales por hachas, cuchillos o jade.

Con el crecimiento de las aldeas, el desarrollo del comercio y las técnicas de guerra, se modificaron totalmente las relaciones entre los hombres.

La cerbatana, el arco y la flecha, que inicialmente servían para alcanzar animales distantes, luego se usaron en combates.

Desde entonces, unos hombres se aprovecharon de otros dominándolos por la fuerza. Los poderosos se apropiaron de las mejores tierras. Así se originó la propiedad privada. Los vencidos en los combates, fueron convertidos en esclavos. Los ganadores, para hacerse más ricos y más poderosos, los obligaban a trabajar a su servicio. A partir de estos hechos la historia de los inventos, es decir, la historia de los hombres, se fue haciendo más compleja y se llenó de penurias.

Desde siempre los hombres desarrollaron formas de comunicación. Bailaban y cantaban. Con gestos, sonidos y señales inventaron todo un lenguaje. Los cazadores hacían señales especiales para identificar animales o para prevenir la amenaza de serios peligros. En las cuevas pintaron lo que sabían y sentían de la caza. Luego tallaron en hueso, madera, piedra, cornamentas o barro aquellos sucesos que deseaban recordar o contar.

Finalmente inventaron la escritura, la mejor forma de decir sus cosas sin necesidad de hablar.

A todo lo que sucedió antes de la invención de la escritura se le llama prehistoria, y a lo que aconteció a partir de la escritura, historia. Estos importantes inventos, realizados en épocas tan lejanas, son la base de los actuales.

Al desarrollarse los nuevos modos de vida los hombres tuvieron más tiempo para pensar y para desarrollar inventos que les facilitaran la vida y que incrementan la tecnología que actualmente vivimos. Las sociedades urbanas dieron otro gran paso con el descubrimiento de la metalurgia y la invención de la rueda y el arado.

1.2. Descubrimiento de la rueda

Las primeras ruedas de que se tiene conocimiento aparecieron en la antigua Mesopotamia (el actual Irak) entre los años 3500 y 3000 a de C. Los carros más primitivos eran una especie de trineos montados sobre ruedas y de aquí surge la idea de la práctica de colocar troncos debajo de grandes pesos o masas para que actuaran como rodillos: cuando el cuerpo avanzaba rodando.

Las ruedas o torno de alfarero, inventado aproximadamente en aquel mismo tiempo, fue el antepasado de las actuales poleas, ruedas de molino y de engranaje, mecanismos de relojería y una extensa variedad de máquinas análogas.

Las primeras carretas y carros de guerra tenían dos o cuatro ruedas. Los últimos no resultaban prácticos, porque no podían efectuar virajes cerrados, ya que tanto los ejes frontales como los posteriores estaban firmemente unidos a la estructura del carro, y ninguno lograba describir curvas.

Hace unos dos mil años alguien inventó un eje frontal, montado en un gorrón, de manera que giraba a izquierda y derecha. Aunque el juego de este eje mejoró su rendimiento, el uso del vehículo de cuatro ruedas no se generalizó.

Las ruedas macizas de los primeros vehículos mesopotámicos fueron útiles y aun lo son para transportar cargas pesadas, de traslado lento. Los desplazamientos rápidos requerían otras más ligeras de aquí han experimentado los métodos de fabricación de ruedas hasta los tiempos modernos, cuando se dispuso de piezas de metal moldeadas y llantas de goma.

La rueda permitió la invención del carro y del torno del alfarero, lo que revolucionó el transporte terrestre y la producción de cerámica.

El arado, tirado por bueyes o asnos, permitió remover mejor la tierra y labrar una mayor extensión de terreno en menos tiempo.

1.2.1. Las ruedas actuales

La revolución industrial de los siglos XVIII y XIX aumentó la importancia de las ruedas. Las máquinas de vapor desplazaron las velas de los barcos y a su vez dichas velas que eran elaboradas a mano desde el inicio de la civilización hasta la fabricación en hilanderías y otras fabricas, que dependieron también de las ruedas: poleas para transmitir la energía de los grandes motores de vapor a las máquinas y engranajes para controlar la velocidad de sus partes movibles.

Esos motores de las máquinas eran grandes y pesados, por lo que constituían elemento importantísimo para ellos, puesto que acumulaba energía y contribuía a que el motor funcionara con regularidad. En nuestros días, una gran parte de los de gasolina y de Diesel lo poseen.

El engrane es una rueda dentada. Sus dientes engranan (encajan entre los espacios) con los de otro, de manera que el primero hace girar al segundo. Su invento se efectuó poco más de dos mil años atrás. En la actualidad resultan indispensables.

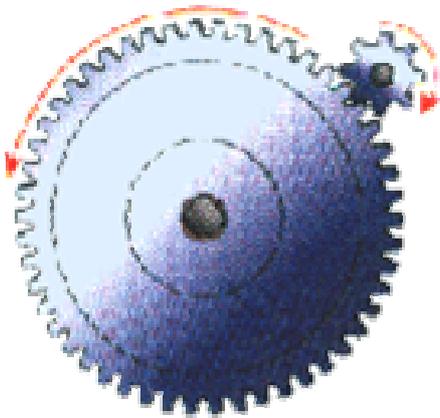


Figura 1. 19. Engranaje de ruedas rectas a engranaje plano.

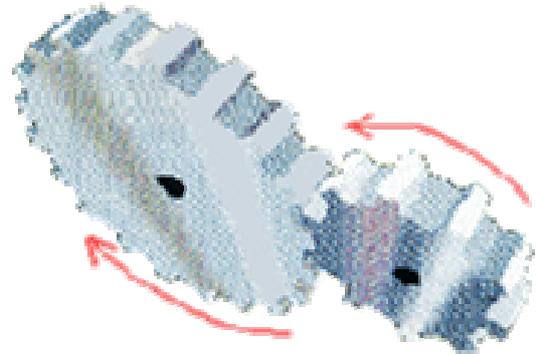


Figura 1.20. Ruedas dentadas cuyos eslabones encajan entre los dientes de las ruedas.

Los relojes se basan en engranajes minúsculos que se encargan de mover las manecillas a ritmo constante.



Figura 1.21. El mecanismo interior de un reloj mecánico es una máquina de precisión de suma complejidad.

Ningún automóvil, ni siquiera los de transmisión automática como los de transmisión manual o estándar podrían funcionar sin ellos. Y la maquinaria automática de casi todas las fábricas del presente los requieren para llevar a buen término sus funciones.

Muchas otras clases de ruedas se usan hoy día. Sin ellas, la industria y la agricultura, el transporte y muchos otros servicios, se paralizarían por completo. A raíz de todo lo dicho con anterioridad, se comprende fácilmente por qué se considera a la rueda uno de los principales inventos de la historia de la humanidad.

1.2.2. La rueda hidráulica

En la Edad Media, la rueda hidráulica fue ampliamente utilizada en Europa para una gran variedad de usos industriales. El Domesday book, el catastro inglés elaborado en 1086, por ejemplo reporta 5,624 molinos de agua, todos del tipo vitruviano. Estos molinos fueron usados para accionar aserraderos, molinos de cereales y para minerales, molinos con martillos para trabajar el metal, para accionar fuelles de fundiciones y para una variedad de otras aplicaciones. De este modo tuvieron también un papel importante en la redistribución territorial de la actividad industrial.

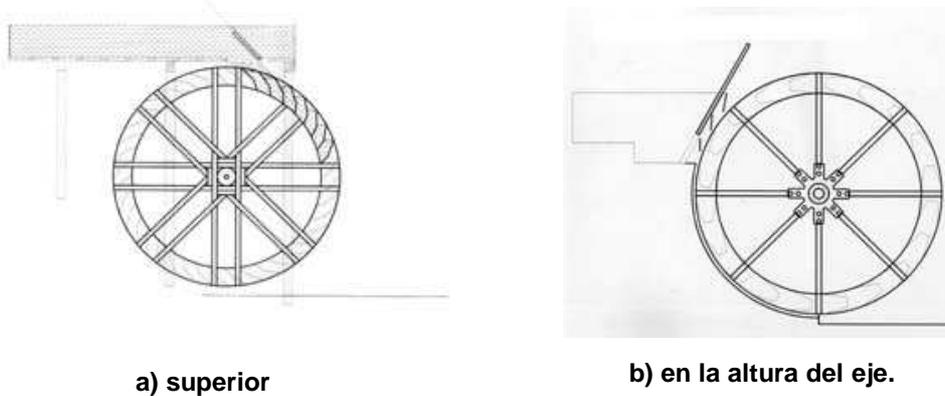


Figure 1.22. Rueda hidráulica con canal de alimentación:

Otra forma de energía desarrollada en la Edad Media fue el molino de viento.

Desarrollado originalmente en Persia en el siglo VII, parece que tuvo su origen en las antiguas ruedas de oraciones accionadas por el viento utilizadas en Asia central. Otra hipótesis plausible pero no demostrada, es la de que el molino de viento se derivaría de las velas de los navíos.

Durante el siglo X estos molinos eólicos fueron ampliamente utilizados en Persia, para bombear agua. Los molinos persas estaban constituidos por edificios de dos pisos, en el piso inferior se encontraba una rueda horizontal accionada por 10 a 12 alabes adaptadas para captar el viento, conectadas a un eje vertical que transmitía el movimiento a la máquina situada en el piso superior, con una disposición que recuerda los molinos de agua griegos. Los molinos de viento de eje horizontal se desarrollaron en Europa del norte entorno al siglo XIII

Basta con observar unos instantes la estruendosa caída de las aguas de un río de montaña para apreciar la enorme fuerza de una corriente fluvial. Hace más de dos

mil años, los romanos comprendieron la importancia de esta fuerza y la aprovecharon para construir molinos de trigo; para ello utilizaron ruedas hidráulicas. Posteriormente se utilizaron estas ruedas para fabricar máquinas cada vez más complicadas.

La rueda hidráulica tradicional es de madera y tiene muchas aspas; además, es casi del tamaño de una casa de dos pisos actual. A la rueda impulsada por la parte baja se le llama “rueda de impulsión inferior”, y a la que recibe la corriente en la parte alta se le nombra “rueda de impulsión superior”. Esta última es mucho más poderosa que la otra, pues aprovecha tanto el peso del agua como la fuerza de la corriente.

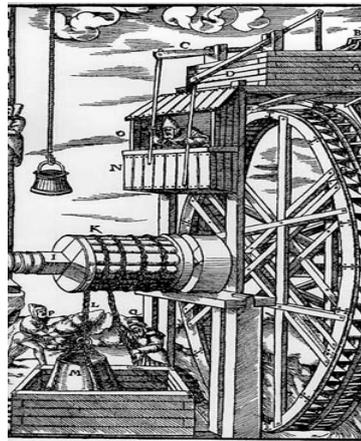


Figure 1.23. Rueda hidráulica tradicional

En el diagrama del engranaje impulsor podemos darnos idea de una de las formas en las que la rueda hidráulica funciona para mover una piedra de molino. En el extremo interno del eje de la rueda hay un engranaje reductor que se acopla a un engranaje recto para impulsar la flecha de madera para impulsar la flecha de madera que hace girar a la muela volandera sobre la muela solera para triturar trigo o cebada. En lo alto de la flecha impulsora está sujeta una rueda de corona, dispuesta para mover otros mecanismos del molino.



Figure 1.24. Nomenclatura de un molino

La energía almacenada en una masa de agua puede ser utilizada de varias maneras: por su peso, por su choque o por su reacción. Las ruedas hidráulicas de eje horizontal tenían como propósito aprovechar el peso del agua. El deficiente rendimiento de ellas dio origen a ruedas de eje vertical para aprovechar el golpeo de las corrientes, así como su reacción.

La versión moderna de las ruedas hidráulicas son las turbinas utilizadas para producir electricidad en los sistemas hidroeléctricos. Por lo general, las ruedas hidráulicas no se instalan sobre el cauce mismo un río, sino en un canal conectado con él. La ventaja de este procedimiento es que se logra que el agua corra con mayor uniformidad y así se aproveche mejor la uniformidad y así se aproveche mejor la energía de la corriente.

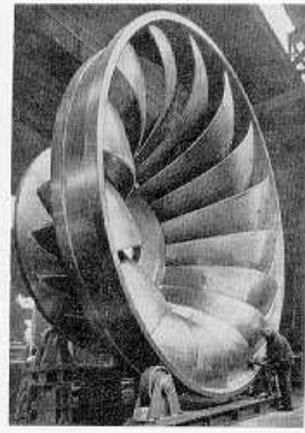


Figura 1.25. Turbina tipo Francis.

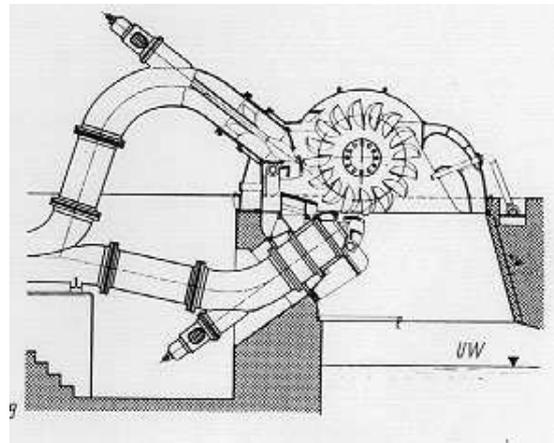


Figura 1.26. Turbina tipo Pelton.

1.3. La polea

El surgimiento de la polea, que se considera como un dispositivo mecánico de tracción o elevación, formado por una rueda (también denominada roldana) montada en un eje, con una cuerda que rodea la circunferencia de la rueda. Tanto la polea como la rueda y el eje pueden considerarse máquinas simples que constituyen casos especiales de la palanca.



Figura 1.27. Polea antigua.

Una polea fija no proporciona ninguna ventaja mecánica, es decir, ninguna ganancia en la transmisión de la fuerza: sólo cambia la dirección o el sentido de la fuerza aplicada a través de la cuerda. Sin embargo, con un sistema de poleas móviles (también llamado polipasto) sí es posible obtener una ventaja o ganancia mecánica, que matemáticamente se define como el cociente entre la fuerza de salida (carga) y la fuerza de entrada (esfuerzo).

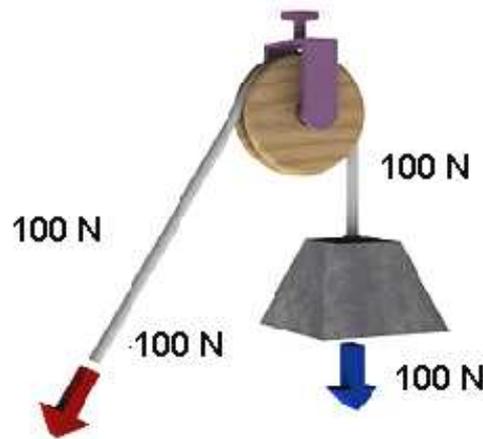


Figura 1.28. Polea simple fija.

1.4. Los molinos de viento

La rueda hidráulica dio lugar al molino harinero activado por energía hidráulica. Pero surge a la par la necesidad de aprovechar otra de las fuentes de la naturaleza, la energía eólica. El primer molino de viento fue ideado por Herón (20-62 d. de C.) y servía para mover los fuelles de un órgano.

Los persas como se indicó en párrafos anteriores, a partir del siglo VII, ya poseían molinos para riego y molienda, formados por alabes montadas sobre un palo vertical, cuyo extremo inferior movía una molienda. Estos molinos se difundieron por los países árabes y fueron llevados a Europa por los cruzados, aunque otros investigadores opinan que fueron los mismos árabes quienes los introdujeron en Europa. Se cree que alrededor del siglo XI, Inglaterra había adoptado este invento, y en los Países Bajos, un molino se supone que data del 1197. Entre los siglos XI y XIII se difundieron por Europa, el ejemplar que ha llegado a conocerse era de un molino, en que todo el cuerpo giraba alrededor de un eje vertical montado sobre troncos de encina, apoyados sobre una base de ladrillos.

Eran estructuras de madera (torres de molino), que se hacían girar a mano alrededor de un poste central para levantar sus aspas al viento.

El molino de torre se desarrolló en Francia a lo largo del siglo XIV, consistía en una torre de piedra coronada por una estructura rotativa de madera que soportaba el

eje del molino y la maquinaria superior del mismo. Más adelante, todo el edificio se construyó de ladrillos.

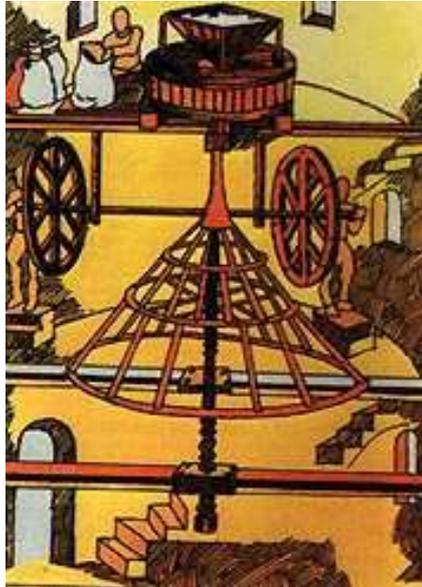


Figura1.29. Interior de un molino harinero del siglo XVI.

Generalmente de la parte superior sobresalía un eje horizontal. De este eje partían de cuatro a ocho aspas, con una longitud de entre 3 y 9 metros. Las vigas de madera se cubrían con telas o planchas de madera, en los primeros se usaron velas de barcos. La energía generada por el eje al girar, se transmitía, a través de un sistema de engranajes, a la maquinaria ubicada en la base de la estructura.

Holanda, país en el que predominan los vientos marinos de cierta intensidad, fue el país europeo que contó con más molinos de viento, aunque en la España del Quijote, ya existían.

También numerosos molinos de viento (que el personaje inolvidable imaginó gigantes), y en Inglaterra, a fines del siglo XIX existían alrededor de 10,000. Se los usaba para el riego y moler el grano, además de bombeo de agua en tierras bajo el nivel del mar, aserraderos de madera, fábricas de papel, prensado de semillas para la obtención de aceite, triturado de todo tipo de materiales.

Y como curiosidad hay que citar aquí ciertos proyectos teóricos basados en el molino, como el ascensor de energía eólica para elevar soldados sobre las fortificaciones enemigas, de Kyeser, en 1405; y un carro automóvil accionado por paletas de viento ideado en 1460 por Valturio. En Holanda fueron empleados molinos de viento para desaguar las tierras costeras invadidas por el mar.

Un gran adelanto en el molino, fue el agregado del abanico de aspas, inventado en 1745, que giraban impulsadas por el viento. En 1772, se introdujo el aspa con resortes, consistentes en cerraduras de madera que se controlan de forma manual o automática, con el objeto de mantener una velocidad constante en caso de vientos variables.



Figura 1.30. Molino harinero de viento.

Y otro avance fue el freno hidráulico para detener el movimiento; y el uso de hélices aerodinámicas para aumentar el rendimiento de los molinos en zonas con vientos débiles.

En la actualidad, no se utilizan los molinos harineros medievales, puesto que, con la aparición de la máquina a vapor, y posteriormente otras máquinas motrices y altamente tecnificadas, fueron disminuyendo y desapareciendo los molinos de viento europeos pero sí es una escena cotidiana, el paisaje de las llanuras con explotación agrícola-ganadera con sus molinos metálicos orientados en la dirección del viento para la extracción de agua para los bebederos de animales y riego.

En países como Holanda y Bélgica se utilizaron los molinos no sólo para la molienda, sino también para bombear agua hacia los canales de riego.



Figura 1.31. Molinos de viento en Holanda.

Un molino de viento consta de una torre redonda coronada con una torreta en la que está montada una enorme hélice, generalmente de cuatro aspas de madera forradas con tela. Las aspas giran en un plano más o menos vertical e impulsan, por medio de un sistema de engranajes, un árbol de madera o de hierro de casi diez metros de longitud que, a su vez da vueltas a la piedra de moler, llamada piedra volandera. El árbol o eje, también transite el movimiento a otros engranajes auxiliares del molino.

La torreta gira sobre la torre con el fin de permitir que las aspas queden siempre frente al viento. Esto último se logra por medio de un timón formado de varias aspas mucho más pequeñas que las que impulsan al molino. El timón va colocado en el extremo opuesto al de las aspas mayores.

El molino de viento no es sin embargo, una máquina del pasado; aún se utiliza en muchas granjas para producir electricidad y para bombear agua. La principal diferencia es que los molinos de viento modernos están fabricados completamente de hierro. En algunos países se les viene utilizando para impulsar grandes turbinas, como medio de remediar en parte la escasez de energía eléctrica.

1.5. La transmisión

En casi todos los autos, la caja de velocidades está unida al eje de las ruedas traseras por medio de un tubo hueco llamado árbol de cardán. Los engranajes del eje trasero del automóvil transmiten el movimiento del árbol del cardán a la rueda. En la mayoría de los automóviles, las ruedas traseras son las que reciben el impulso de la fuerza del motor; las delanteras, en cambio, están diseñadas para controlar la dirección del vehículo.



Figura 1.32. Transmisión, grupo cónico diferencial.

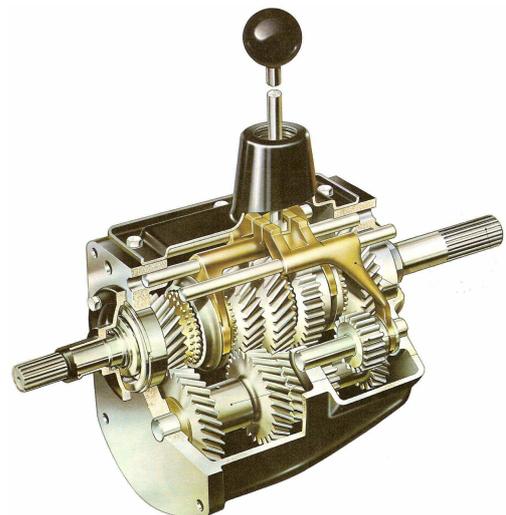


Figura 1.33. Transmisión manual.

Cuando un auto avanza por un camino lleno de baches, de caja de velocidades y el eje trasero suben y bajan en momentos diferentes. Por eso, el árbol del cardán está

adaptado a tales movimientos por medio de uniones universales, que consisten en soportes con forma de “U”, unidos con una cruceta. Para permitir los movimientos de avance y retroceso, el eje motor de la caja de velocidades tiene estrías que facilitan que la unión se desplace automáticamente por ellas a lo largo del eje cuando es necesario.

El árbol del cardán se une al eje trasero en una unidad diferencial, que tiene dos funciones: cambiar la dirección del movimiento del cardán para dar impulso a las ruedas y frenarlo cuando gira demasiado aprisa. Ambas funciones se logran por medio de una corona y un juego de piñones satélites.

Las ruedas traseras son impulsadas por sendas flechas unidas al mecanismo de transmisión. La corona impulsa a las flechas por medio de un sistema de engranajes y piñones. Tal sistema permite que una de las ruedas traseras gire más lentamente que la otra cuando, por ejemplo, el auto da vuelta. La rueda del lado hacia donde se vira tiene que girar más despacio que la otra; en caso contrario, el vehículo derraparía.

Hay automóviles sin árbol del cardán; tienen, por ejemplo, la transpón al frente, en cuyo caso el motor, también al frente, impulsa las ruedas delanteras. A menudo, el motor se instala transversalmente e impulsa las ruedas por medio de una unión universal, llamada unión de velocidad constante. Otros automóviles tienen el motor atrás para impulsar directamente las ruedas traseras.

1.6. Máquina simple

En física, una máquina simple es un mecanismo o conjunto de mecanismos que transforman, una fuerza aplicada en otra saliente, habiendo modificado, la magnitud de la fuerza, la dirección o el sentido, o una combinación de ellas. En una máquina simple se cumple la conservación de la energía, la energía ni se crea ni se destruye solo se transforma, la fuerza por el espacio aplicado, trabajo aplicado, tendrán que ser igual a la fuerza por el espacio resultante, trabajo resultante. Una máquina simple ni crea ni destruye trabajo mecánico, transforma algunas de sus características.

No confundir una máquina simple, con componentes de máquinas, o piezas para máquinas, ni con sistemas de control o regulación de otra fuente de energía. Una máquina simple transforma una fuerza aplicada o potencia, en otra saliente o resistencia, según el principio de conservación de la energía.

Las máquinas simples que podamos tratar aquí, esta formada por una serie de mecanismos, que los consideramos sin rozamiento, sin perdidas de energía debido al rozamiento, son máquinas teóricas que nos permiten establecer la relación entre la fuerza aplicada, su desplazamiento dirección y sentido, y la fuerza resultante, su desplazamiento su dirección y su sentido.

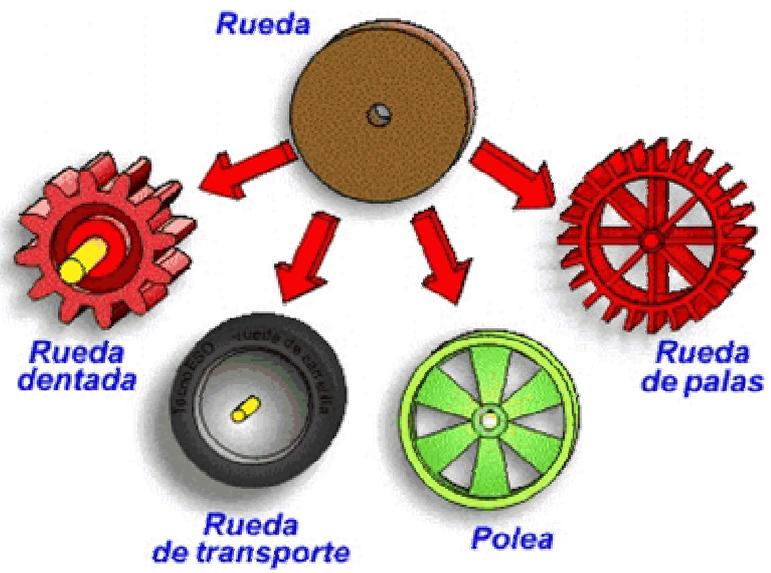


Figura 1.34. Máquina simple.

CAPÍTULO 2. **LA TRANSMISIÓN**

2.1. Concepto de engrane

El engranaje fue invención de Leonardo da Vinci (1452-1519), que además de ser artista fue también un gran escultor, arquitecto, físico, escritor, músico e ingeniero, educando en la escuela florentina Al engranaje le llamo "rueda dentada".

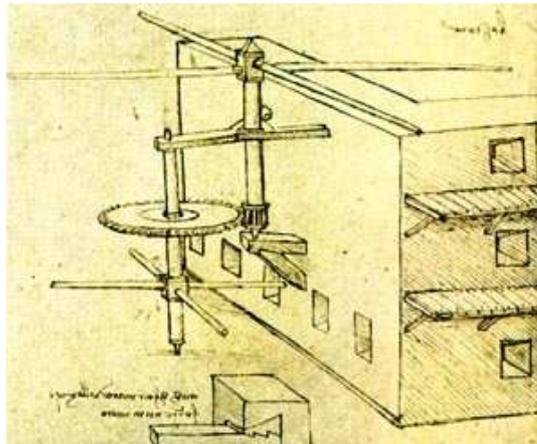


Figura. 2.1 Mecanismo para repeler ataques enemigos, consiste de aspas al nivel del techo movidas por un eje vertical, unido a un "engranaje"

Las ruedas dentadas cumplen una función que es la de transmitir el movimiento de rotación de un eje a otro, invirtiendo eventualmente sentido o modificando su velocidad angular.

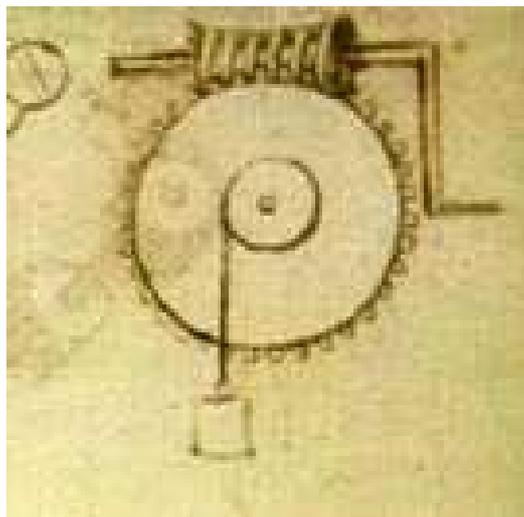


Figura. 2.2. Transmisión de movimiento y potencia de un eje a otro

Todos los engranajes son, por definición, de acción directa: los dientes de una rueda engrana en los de otra. En ciertos casos, cual ocurre con el plato y el piñón de las bicicletas, las ruedas dentadas están más o menos alejadas y las enlaza una cadena cuyos eslabones engranan en los dientes. Ese modo de transmisión es calificado de *engranaje de acción indirecta*

2.2. Clasificación de engranes

Se clasifican en función de la disposición relativa de los ejes entre los cuales debe transmitir la velocidad:

- Engranajes paralelos o cilíndricos con dientes rectos, helicoidales o dobles helicoidales para transmitir velocidad y potencia entre ejes paralelos. Figura 2.3.
- Engranajes concurrentes o cónicos con dientes rectos o en espiral para ejes que se cortan. Figura 2.4.
- Engranajes hiperbólicos para ejes que se cruzan Figura 2.5.

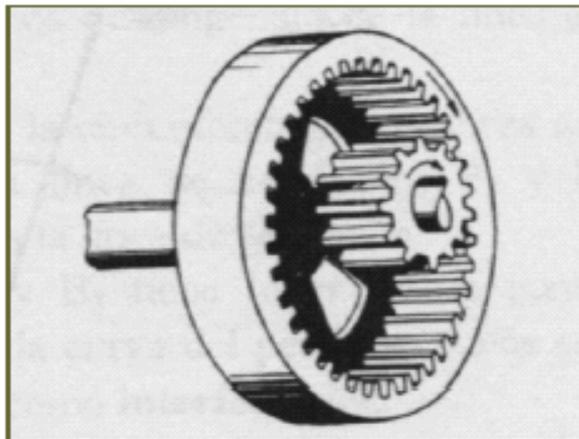


Figura 2.3. Engranaje paralelo

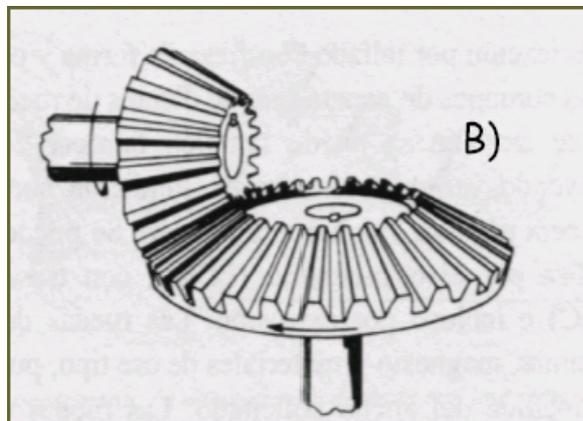


Figura 2.4. Engranaje concurrente



Figura 2.5. Engranaje hiperbólico

La menor de las dos ruedas de un par se llama *piñón*, especialmente cuando difieren mucho las dimensiones de ambas. El diámetro de una rueda, el número y tamaño de sus dientes son muy variables, pues dependen de las fuerzas que han de vencer, de la resistencia de metales empleados y de las condiciones en que han de transmitir o cambiar el movimiento.



Figura 2.6. Piñón

La relación entre las dimensiones de la rueda y las de los dientes se expresa en forma de paso circunferencial o simplemente paso, que es el coeficiente resultante de dividir la circunferencia primitiva por el número de dientes (es, por consiguiente, la distancia que media entre el centro de dos dientes consecutivos).

Para los ingenieros resulta más cómoda la noción de *paso diametral* o *módulo*, relación entre el diámetro de dicha circunferencia y el número de dientes: cuanto mayor es el módulo, mayores y más resistentes son los dientes. Por lo demás, cuanto menor

es el módulo, más numerosos son los dientes que están simultáneamente en contacto y entre los cuales se reparte la carga. Módulos y pasos han sido normalizados.

Existe una extraordinaria variedad de engranajes, desde los que se emplean en relojes diminutos hasta los de las máquinas más gigantescas. Por esto no es raro que una aplicación determinada suscite la aparición de una nueva familia de engranajes.

Así, al observar con que frecuencia se rompían los dientes en la transmisión de los coches mal conducidos, los ingenieros de la industria automovilística inventaron los *engranajes de dientes cortos*, mucho más resistentes que los de dientes normales.

Por lo general, para transmisiones entre ejes paralelos suelen usarse engranajes cilíndricos, de dientes de rectos asimismo paralelos a aquéllos. Como se indica a continuación.



Figura 2.7. Engrane helicoidal de ejes paralelos

Si los ejes no son paralelos, se requiere de *engranajes cónicos*. La intersección entre ambos puede formar un *ángulo axial* de cualquier abertura, pero en la práctica suele ser de 90° .

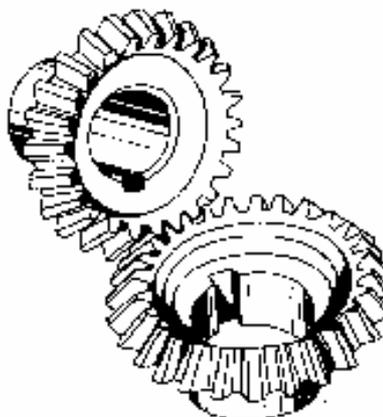


Figura 2.8. Engrane cónico

Las ruedas y piñones de estos engranajes son troncos de sendos conos cuyos vértices teóricos convergen en la intersección de los ejes. Los dientes coinciden con las generatrices de los conos. Existen, no obstante, algunas variantes.

En el engranaje cónico de dentado espiral, el diente es tallado a lo largo de una espiral que se enrolla en el cono. El *engranaje hipoide* se distingue del anterior en que los ejes no están en un mismo plano (sus vértices no coinciden en un mismo punto), lo cual hace que se pueda situar el árbol del piñón a cierta distancia por debajo del de la corona.

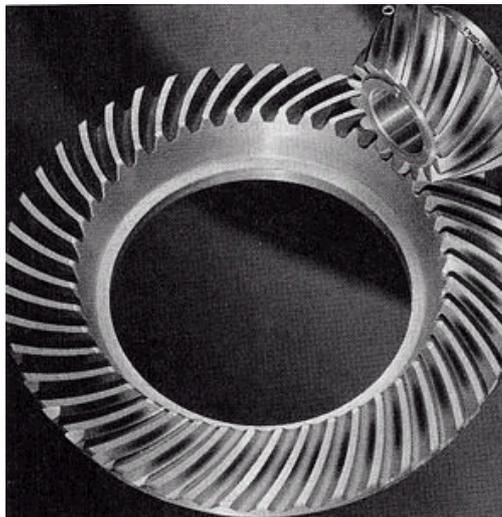


Figura 2.9. Engrane hipoide

De los engranajes cilíndricos y cónicos derivan muchos otros. En un *engranaje helicoidal* las ruedas y piñones son cilíndricos, pero los dientes adoptan la forma de arcos de hélice inclinados respecto al eje de rotación. El *engranaje de tornillo sin fin* constituye un caso particular de engranaje helicoidal para árboles cuya orientación difiere de 90°.

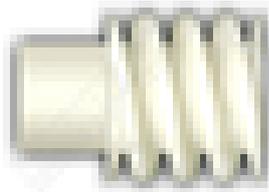


Figura 2.10. Helicoidal tornillo sin fin

Su piñón está constituido por un tornillo que, en vez de ser cilíndrico, adopta la forma circular de la rueda al par que está, de perfil acanalado, se adapta a la de aquél, engranando con él a lo largo entre 60 a 90°.

Los engranajes helicoidales se benefician de la propiedad que tienen sus dientes de engranar progresivamente y de asegurar así una transmisión más suave y silenciosa que la que se obtiene con los engranajes de dientes rectos.

Tienen el inconveniente de engendrar un empuje longitudinal sobre los árboles, efecto fácilmente corregible con un tope adecuado o merced a una segunda rueda simétrica de la primera. Por lo demás, ambas pueden estar unidas en una sola, que constituye entonces una *rueda de flecha*, *bihelicoidal* o de *cheurones*.

En algunas aplicaciones de los engranajes cilíndricos el piñón engrana no ya con una rueda, sino con una barra dentada, la *cremallera*, que puede ser considerada como un segmento de rueda de diámetro infinito. Su cometido es la transformación de un movimiento circular en movimiento rectilíneo o viceversa.



Figura 2.11. Engrane cilíndrico con cremallera

Los *engranajes interiores* tienen la forma de una corona, con los dientes tallados en el interior de la llanta. A este tipo pertenece, por ejemplo, la corona de los trenes epicicloidales o planetarios como el del diferencial de los automóviles.

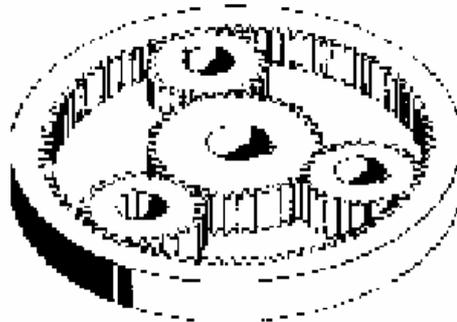


Figura 2.12. Engranajes planetarios

Engranaje de husillo, también llamado tornillo sin fin y corona: A si llaman las ruedas dentadas que engranan con un tornillo de filete trapecoidal.

En este sistema, un tornillo sin fin es largo y estrecho dotado de uno o más dientes helicoidales continuos engrana con una rueda dentada helicoidal, visto de otra manera se pueden considerar como engranajes helicoidales en los cuales, una rueda toma la forma de un anillo, y la otra de una rueda con los dientes inclinados como los filetes de un tornillo.

La diferencia entre un engranaje de husillo y un engranaje helicoidal es que los dientes del primero se deslizan a lo largo de los dientes del engranaje impulsado en lugar de ejercer una presión de rodadura directa. Los engranajes de husillo se utilizan para transmitir rotación (con una gran reducción de velocidad) entre dos ejes perpendiculares.

Transmiten el movimiento entre ejes perpendiculares situados en distintos planos se emplean donde se requiere una acción silenciosa y gran reducción de velocidad también se usa para aumentar la potencia y para los sistemas irreversibles, es decir, que siempre es el sinfín el que manda la rueda.

Generalmente este mecanismo se hace trabajar en cajas cerradas llenas de aceite o grasas, un ejemplo es el vehículo: la caja de cambios que a continuación se menciona:

Los motores desarrollan su máxima potencia a un número determinado de revoluciones. Si el cigüeñal estuviera unido directamente a las ruedas, provocaría que sólo pudiera circularse de forma eficiente a una velocidad determinada.

Para solventar este problema se utiliza el cambio de marchas, que es un sistema que modifica las relaciones de velocidad y potencia entre el motor y las ruedas motrices.

En los automóviles europeos, el sistema más usado es la caja de cambios convencional, de engranajes desplazables. En los automóviles americanos se utilizan mucho más los sistemas Hydra-Matic y los convertidores de par o torsión.

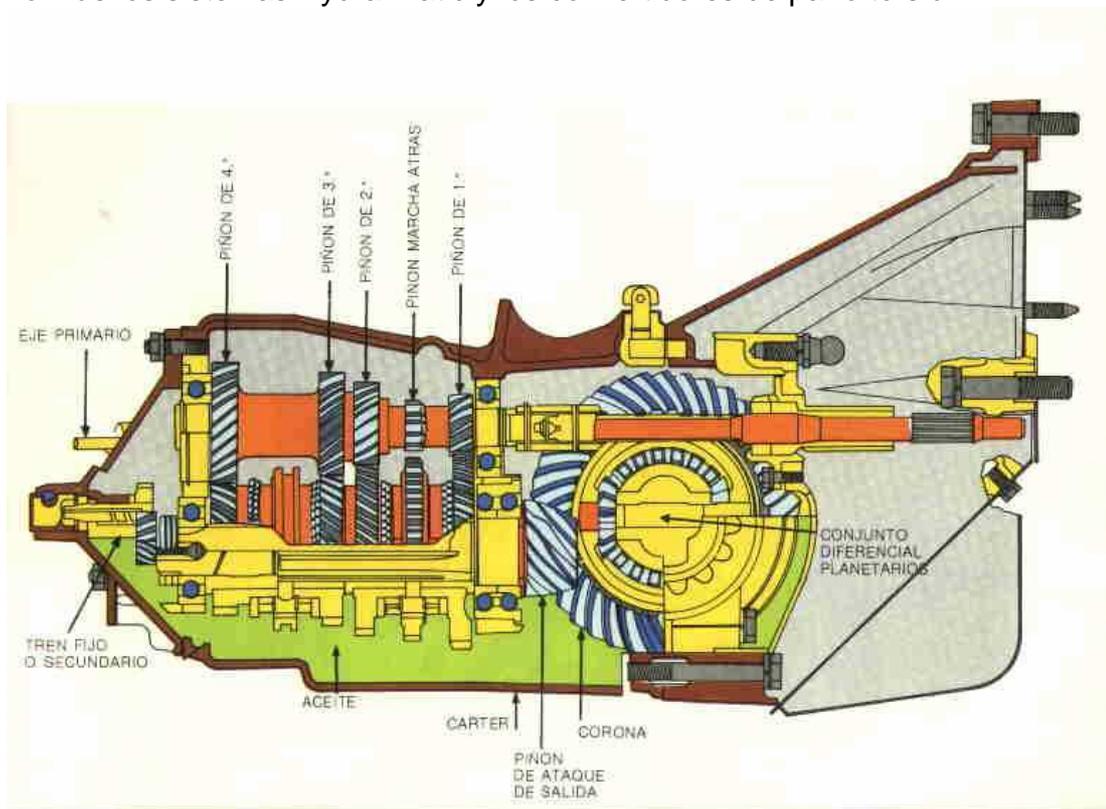


Figura 2.13. Caja de cambios de cuatro velocidades y reversa

Una caja de cambios convencional proporciona cuatro o cinco marchas hacia delante y una marcha atrás o reversa. Está formada esencialmente por dos ejes dotados de piñones fijos y desplazables de diferentes tamaños.

El eje primario, conectado al motor a través del embrague, impulsa el eje intermedio, uno de cuyos piñones fijos engrana con el piñón desplazable del secundario correspondiente a la marcha seleccionada (salvo si la palanca está en punto muerto: en ese caso el eje secundario no está conectado con el intermedio).

Para la marcha atrás hace falta un piñón adicional para cambiar el sentido de giro del eje secundario.

En la marcha más alta, el eje primario queda unido directamente al secundario, girando a la misma velocidad. En las marchas más bajas y en la marcha atrás, el eje secundario gira más despacio que el primario.

Cuando el eje secundario gira más rápido que el primario, se habla de *overdrive* o supermarcha, que permite aumentar la velocidad del automóvil sin que el motor exceda del número normal de revoluciones.

La transmisión de tipo Hydra-Matic combina el embrague hidráulico o convertidor de torsión con una caja de cambios semiautomática. Un regulador controlado por la presión ejercida sobre el pedal del acelerador selecciona las marchas a través de un sistema de válvulas distribuidoras de control hidráulico. El cambio Hydra-Matic proporciona dos o tres marchas hacia adelante.

Los convertidores de par proporcionan un número ilimitado de relaciones de velocidad entre los ejes primario y secundario sin que se produzca ningún desplazamiento de engranajes.

El convertidor de par es un mecanismo hidráulico que utiliza la potencia del motor para mover una bomba que a su vez impulsa chorros de aceite contra las aspas

Se llama cremallera, a dos elementos que engranan de los cuales uno es en forma de engranaje recto y el otro de una barra dentada, que transmiten el movimiento rectilíneo de un eje a un plano. Se emplean donde se tienen que mover mecánicamente un elemento en sentido rectilíneo alternado.

2.3. Partes de un engrane

Como anteriormente ya se menciona que es un engrane ahora continuamos con la partes que componen a un engrane recto.

En un engranaje hay que distinguir las siguientes partes:

- Cubo o masa: Esta parte es mejor identificada por ser la parte central del engranaje la cual abraza al eje y queda unida a el por medio de una chaveta o pasador.
- Rayos: Son aquellos elementos que tienen como función principal estar encargados de unir las llantas con la masa, los cuales pueden ser remplazados por una parte maciza o bien en forma de plato (disco).
- Llanta o corona: es aquel anillo circular en la cual van tallados los dientes.



2.13. Corona

- Dientes: Son los elementos, como ya se dijo anteriormente que están destinados a la transmisión del movimiento en forma de engrane de unos con otro en un par de ruedas dentadas. Cuyas partes son las siguientes:
 1. Cabezas: Es la parte considerada desde diámetro primitivo hacia el diámetro exterior, mirado un diente de frente.
 2. Pie: Es la parte considerada desde el diámetro primitivo hacia el diámetro interior, mirado un diente de frente.
 3. Flanco: Es la superficie lateral de un diente, donde se produce la rodadura o empuje de un diente con otro.

2.4. Nomenclatura de un engrane recto

Para el diseño de un engrane recto cilíndrico se toman en cuenta las siguientes nomenclaturas y dimensiones:

- Diámetro primitivo: Es la circunferencia en la cual se verifica la tangencial de un par de engranajes.
- Diámetro exterior: Es la circunferencia en la cual esta inscrito el engranaje (diámetro de torneado).
- Diámetro interior: (o de fondo) Es la circunferencia en la cual nacen los dientes de un engranaje.
- Paso circular: Es la distancia entre dos dientes consecutivos, tomados sobre el diámetro primitivo (un hueco más un espesor).
- Espesor: Es el ancho que tiene un diente mirado de frente, tomado sobre el diámetro primitivo (de flanco izquierdo a derecho).
- Hueco: Es la magnitud considerada de flanco a flanco de un par de dientes consecutivos, tomado sobre el diámetro primitivo.
- Altura de dientes: Es la diferencia que existe en el diámetro exterior y el diámetro interior de un engranaje.
- Altura de la cabeza del diente: Es la magnitud considerada entre el diámetro primitivo y el diámetro interior.
- Altura del pie de un diente: Es la magnitud considerada entre el diámetro primitivo y el diámetro interior.
- Largo del diente: Es la longitud que tiene un diente por la parte de su flanco.
- Juego: Es la distancia o medida que se deja entre el diámetro exterior de un engranaje y el diámetro interior de otro que engrana.
- Distancia entre centros: Es la medida o distancia comprendida de eje a eje de un par de engranajes que se encuentran engranados.
- Numero de dientes: Se entiende por número de dientes a la cantidad de dientes que tiene un engranaje.

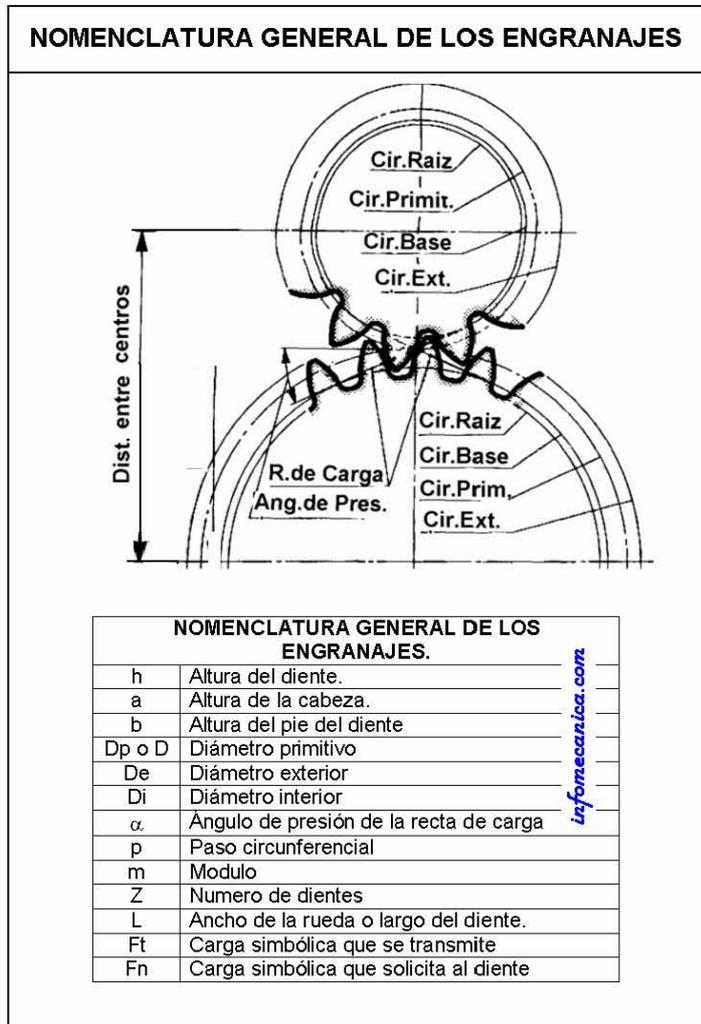


Fig. 2.14. Nomenclatura general de los dientes de engrane

2.5. Definición de transmisión

Comenzaremos describiendo la finalidad las poleas y correas que son organismos mecánicos que tienen por finalidad en conjunto, transmitir movimiento de rotación entre ejes, ya sean estos paralelos o no, a una relativa distancia entre ellos, con la ayuda de rozamiento o fricción (deslizamiento).

Ahora bien continuamos con las partes de una transmisión en la cuestión de las poleas.

En una transmisión por poleas hay que distinguir; la polea conductora, que es la que transmite la fuerza, la polea conducida es aquella que recibe la fuerza y un tercer elemento que a veces se ocupa, que es polin tensor, el cual aumenta el ángulo de contacto, mejorando la fricción y como último componente, la o las correas.

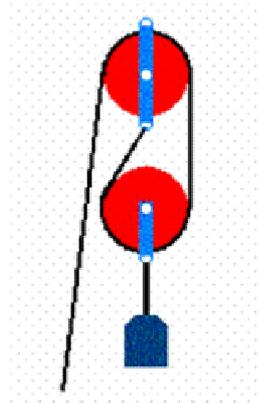


Figura 2.15. Conjunto de poleas

Las partes que componen una polea son las siguientes:

- El cuerpo es el elemento que une el cubo con la garganta. En algunos tipos de poleas está formado por radios o aspas para reducir peso y facilitar la ventilación de las máquinas en las que se instalan.
- El cubo es la parte central que comprende el agujero, permite aumentar el grosor de la polea para aumentar su estabilidad sobre el eje. Suele incluir un chavetero que facilita la unión de la polea con el eje o árbol (para que ambos giren solidarios).
- La garganta (o canal) es la parte que entra en contacto con la *cuerda* o la *correa* y está especialmente diseñada para conseguir el mayor agarre posible. La parte más profunda recibe el nombre de llanta. Puede adoptar

distintas formas (plana, semicircular, triangular...) pero la más empleada hoy día es la trapezoidal.

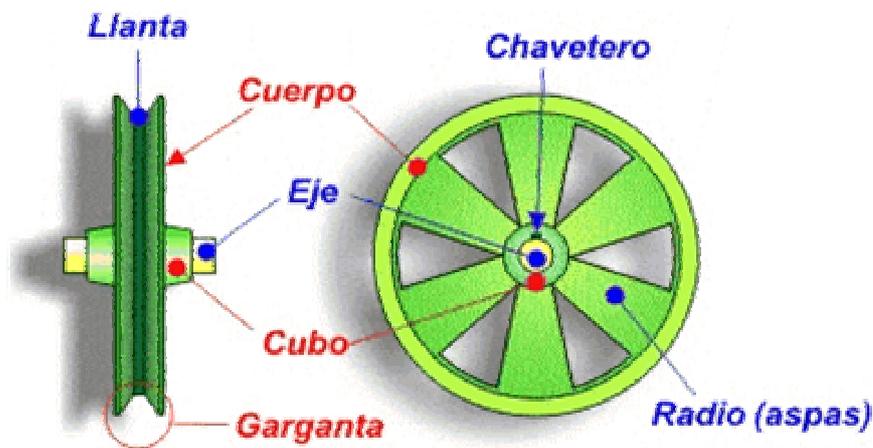


Figura 2.16. Partes de una polea

La forma de las poleas varía según su diámetro que puede ser pequeño, mediano y grande. En la polea de pequeño diámetro se confunde la llanta con la masa, desapareciendo los rayos. En la polea de diámetro mediano, los rayos se unen en tal forma que quedan formando un disco agujereado.

Las poleas de grandes diámetros se construyen con rayos de diferentes formas y secciones. Las poleas pueden ser de llanta plana o acanalada.

Las poleas de llantas plana en la práctica no son planas, porque si así lo fueran, las correas saltarían de su lugar, por este motivo se fabrican con una conicidad de uno a tres grados, desplazando a ambos lados de la llanta.

El ángulo de estas canales es de 34, 36, y 40 grados, indistintamente. El número de canales está limitado según la fuerza a transmitir.

2.5.1. Función de transmisión de tren de engranes

Las funciones principales de los engranes y de las transmisiones de engranes son: reducción de la velocidad, multiplicación del momento de torsión o par motor y la colocación en posición de los árboles o ejes.

Donde:

- Reducción de velocidad: Desde el punto de vista económico, suele ser mejor utilizar un motor primario pequeño de alta velocidad y un reductor de engranes que una fuente de potencia más grande de baja velocidad.
- Incrementador de la velocidad: En algunos casos resulta impráctico operar un motor primario a una velocidad lo suficientemente alta como para satisfacer las necesidades del equipo como incrementadores de la velocidad.
- Orientación del árbol o eje: Los engranes pueden suministrar la orientación deseada y la rotación correspondiente de los árboles. Algunas disposiciones comunes que se utilizan son: en línea, ejes paralelos y en ángulo recto. Por ejemplo, los engranes.

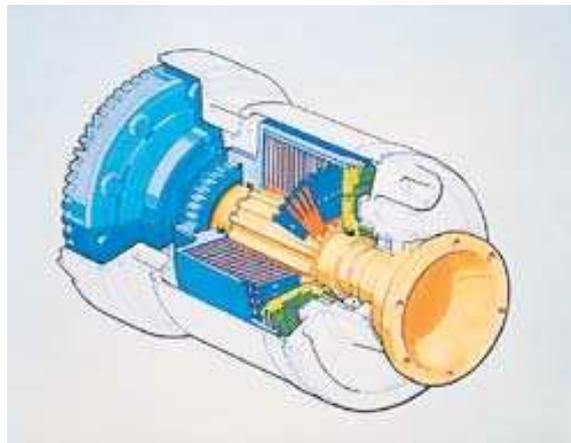


Figura 2.17. Transmisión de potencia

2.6. Tren de engranes

Tren de engranes es un mecanismo que consiste en un piñón central denominado planetario alrededor del cual y engranado con él se hallan otros tres o cuatro piñones denominados satélites los cuales giran locos con relación a los ejes montados en un soporte común a estos llamado caja o soporte de satélites y rodeando el conjunto se halla una corona dentada interiormente que engrana con los satélites.

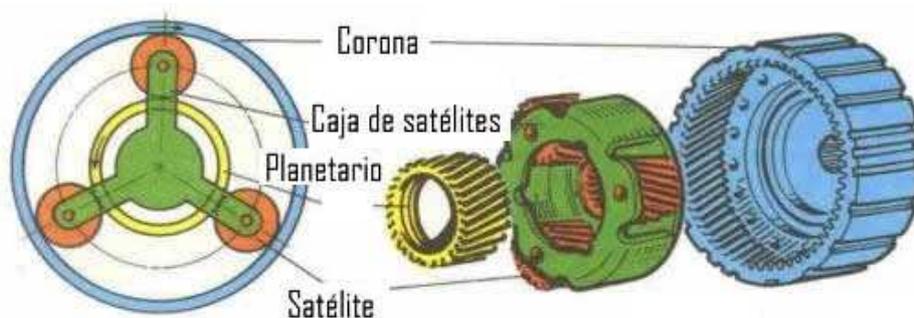


Figura 2.18. Tren de engranajes con satélites

Pero antes que esto daremos una pequeña introducción del desarrollo de tren de engranes comenzando por la locomotora, que a continuación mencionaremos.

Locomotora, cualquier tipo de vehículo autopropulsado utilizado en vías férreas o ferrocarriles para impulsar o arrastrar otros tipos de unidades rodantes. Las locomotoras se diferencian de otros tipos de vehículos de vías férreas autopropulsados en que sólo se utilizan como unidades de arrastre y no están diseñadas para el transporte de pasajeros o de cargas

La primera locomotora práctica fue construida en Inglaterra en 1804 por el ingeniero e inventor Richard Trevithick. Esta locomotora, con cuatro ruedas motrices, tenía ruedas lisas que corrían sobre rieles metálicos lisos; su éxito demostró que se podía obtener suficiente tracción sin utilizar ni ruedas ni cadena dentada.

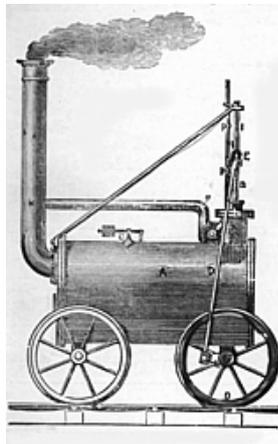


Figura 2.19. Locomotora de Trevithick

La locomotora de Trevithick expelía el vapor en el conducto de humo de la caldera del motor; esto proporcionaba un impulso de corriente para el fuego de la caldera y se empleó en locomotoras a vapor posteriores.

En 1829 se probó en Honesdale, Pennsylvania (Estados Unidos de América), la primera locomotora que funcionó en el hemisferio occidental. Esta locomotora, llamada Stourbridge Lion, fue construida en Inglaterra por la Delaware and Hudson Canal Company.

Al año siguiente se comenzaron a utilizar con regularidad las primeras locomotoras construidas en los Estados Unidos: la Best Friend, puesta en circulación por la South Carolina Canal and Railroad Company, y la Peter

Como consecuencia de este avance se realizaron muchas mejoras mecánicas, tanto en Gran Bretaña como en Estados Unidos. Estos dos países tuvieron un desarrollo de locomotoras casi paralelo.

En 1831, el chasis giratorio o carretilla suplantó a la carretilla fija; en 1836 se introdujeron los pares externos de ruedas motrices y en 1837 se aplicaron contrapesos a las ruedas motrices y otras partes para suavizar el funcionamiento del motor.

La primera locomotora con seis ruedas motrices y carretilla de cuatro ruedas, también llamada de diez ruedas, apareció en 1847. En 1863 se comenzaron a utilizar locomotoras con seis ruedas motrices y carretilla de arrastre de dos ruedas, y en 1867 se construyó la primera locomotora con ocho ejes motrices y carretilla de dos ruedas.

2.6.1. Locomotora de vapor

Las locomotoras a vapor se pueden clasificar de diversas formas. La clasificación más utilizada, sin embargo, se basa en el número y disposición de las ruedas.

Esta clasificación proporciona el número de ruedas en la carretilla de arrastre, el número de ruedas motrices y el número de ruedas en la carretilla de remolque. De esta forma, una locomotora 2-4-0 tendría una carretilla de arrastre de dos ruedas, cuatro ruedas motrices y carecería de carretilla de arrastre. Muchas locomotoras tienen también nombres especiales según su tipo.

Hasta 1940, los motores a vapor proporcionaban la fuerza motriz de la mayoría de las locomotoras utilizadas en las vías férreas. Después, la locomotora de vapor se fue quedando obsoleta, primero en los Estados Unidos y más adelante en el resto del mundo.

Hacia finales de la década de 1980, sólo unas pocas, como las utilizadas en líneas turísticas de vía estrecha, se utilizaban en los países industrializados.

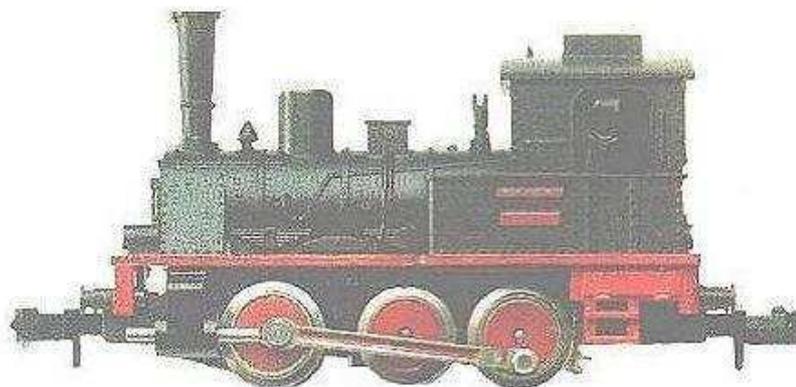


Figura 2.20. Locomotora de vapor

2.6.2. Locomotoras diesel-eléctricas

Entre las locomotoras más importantes desarrolladas en el siglo XX se encuentran las locomotoras eléctricas, que reciben la energía eléctrica mediante una red de cable superior (catenaria) o un tercer carril situado junto a la vía normal (vías férreas), y las locomotoras diesel-eléctricas.

En las locomotoras diesel-eléctricas, conocidas comúnmente como diesel, los motores diesel se utilizan para proporcionar energía a generadores o alternadores conectados a rectificadores de estado sólido que mueven motores eléctricos conectados a los ejes.



Figura 2.21. Locomotora Diesel

Este tipo de locomotora elimina la necesidad de costosas líneas de transmisión de energía. Comparada con la locomotora a vapor, tiene mayor disponibilidad, es decir, mayor número de horas productivas por día, puesto que no necesita realizar paradas frecuentes para repostar agua ni requerir otros servicios.

Otras ventajas respecto a los motores a vapor incluyen su relativa eficacia para convertir el gasóleo en energía disponible y su capacidad para desarrollar una mayor proporción de su máxima potencia de arrastre a bajas velocidades. Además, mientras que las locomotoras a vapor requieren un conductor y un fogonero por cada unidad, un solo conductor puede manejar varias diesel-eléctricas, lo que permite trenes de mayor longitud con menor número de empleados.

Los recientes diseños de locomotoras aprovechan el uso de turbocargadores mejorados que trabajan con motores de mayor potencia y más eficientes. Los sistemas de control de las locomotoras se han convertido en dispositivos electrónicos, que sustituyen la mayor parte de las funciones de regulación eléctrica.

Los microprocesadores a bordo controlan la velocidad del motor, la inyección de gasoil y el trabajo del alternador, y se interrelacionan con sistemas mejorados para detectar problemas de tracción de las ruedas motrices, produciendo una corrección más rápida y una adherencia más óptima.

Una función adicional del microprocesador es controlar el rendimiento de todos los sistemas de la locomotora, incrementando su fiabilidad y facilitando la corrección de los problemas. Una innovación importante de la locomotora es la introducción de motores de tracción de frecuencia variable, voltaje variable y de corriente alterna de tres fases, reduciendo el peso y mejorando la adherencia de las ruedas a la vía.

2.6.3. Locomotoras de turbina eléctrica

Después de la Segunda Guerra Mundial, la investigación realizada en la ingeniería de combustión ayudó al desarrollo de locomotoras de turbina-eléctricas, en las que las turbinas de gas o vapor se usaban para impulsar generadores que proporcionaban energía a motores eléctricos.

Se necesitaba una caldera para producir el vapor en una turbina de vapor. En la turbina de gas, el gas se producía en una cámara de combustión situada directamente delante de la maquinaria de la turbina.

El carbón o el aceite se podían usar como carburante para producir vapor o gas para el funcionamiento de la turbina. El propano líquido se ha utilizado de forma experimental como carburante para turbinas de gas.

Todas estas locomotoras basadas en turbinas se han considerado poco económicas para el transporte general de carga. Sólo la turbina de gas, con tracción mediante transmisión hidráulica, ha continuado en servicio en automotores que impulsan trenes ligeros de pasajeros.

2.6.4. Automóvil

Después de un avance tecnológico por fin llegan a formar bicicletas que poco a poco fueron innovando cada uno de sus elementos para mejor funcionamiento y comodidad.

Hasta llegar a los automóviles que hoy en día encontramos en el mercado y cada vez mas novedosos, a continuación se habla de algunos de sus componentes.

El tren de rodaje debe proporcionar al conductor facilidad de manejo y control en situaciones límite del vehículo, esto se consigue gracias a una extensa insensibilidad al viento lateral, una dirección precisa y una manejabilidad fiable; instrumentos que permiten al conductor responsable circular con máximo nivel de seguridad.

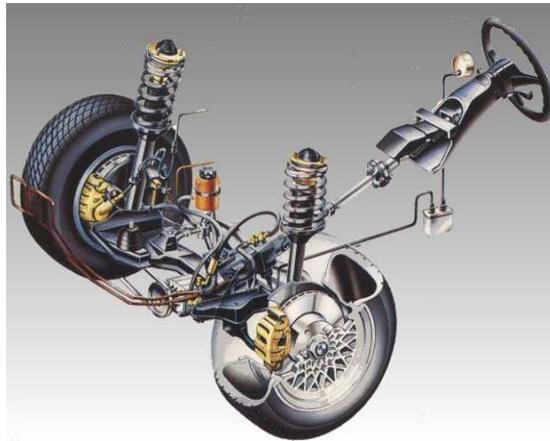


Figura 2.22. Dirección del automóvil

Otro papel clave en materia de la seguridad activa lo desempeñan los frenos: deben responder espontánea y uniformemente y seguir aportando pleno rendimiento incluso si se someten a cargas permanentes. El deporte del motor es el campo de experimentación ideal: cualquier elemento que prueba aquí sus virtudes, demuestra ser a su vez un elemento de fiabilidad superior para el uso cotidiano.

Todo el control de un vehículo pasa por el tren de rodaje el cual engloba muchos otros sistemas como los frenos, las suspensiones y numerosos sistemas electrónicos. Dicho tren debe tener un comportamiento de conducción neutro y consiguientemente calculable, indistintamente de que circule en curvas, sobre pistas en malas condiciones o en lluvia.

Tren de rodaje con tracción integral y frenos de disco en las cuatro ruedas. Mencionaremos algunos de los diferentes dispositivos que forman parte o están relacionados con el tren de rodaje.

Cualquier componente del tren de rodaje puede ser tan perfecto como se quiera, y sin embargo lo decisivo es siempre la acción concertada del conjunto.

Esto rige por igual para todos los componentes de un eje como para la acción conjunta de los ejes anterior y posterior y para el reparto de pesos sobre ambos ejes. Y no por último, la rigidez de la carrocería también desempeña un papel importante pues, en combinación con la geometría de los ejes, influye asimismo sobre el comportamiento de autodirección del vehículo.

Dirección: Una dirección precisa representa una de las condiciones más importantes para la conducción segura. Pero la precisión también exige una resistencia

perceptible de la dirección y suficiente fuerza de retrogiro, de modo que el conductor obtenga la sensación más directa posible acerca de las condiciones del pavimento y la marcha.

Una servodirección (dirección asistida) demasiado confortable, que se deje mover con un solo dedo a cualquier velocidad de marcha, puede conducir a situaciones de extremo peligro. Por otra parte, las fuerzas de direccionamiento al aparcar y acomodar el coche deben ser lo más reducidas posibles.



Figura 2.23. Automóvil

Los fabricantes tras años de investigación desarrollaron un sistema capaz de regular la servoasistencia* en función del régimen, lo cual se traduce en maniobras de aparcamiento más suaves con regímenes bajos de motor, pero redireccionamiento exacto en regímenes altos.

Los frenos: Los frenos constituyen uno de los más importantes sistemas de seguridad de un automóvil. En virtud de ello, los fabricantes dedican mucho tiempo al desarrollo y diseño de los sistemas de frenado. Este tipo de coches son fruto de años de evolución de la industria automovilística

Los neumáticos: El neumático es un órgano de seguridad y único lazo de unión entre el suelo y el vehículo. Su elección dependerá en gran medida del tipo de suelo sobre el que rueda normalmente el vehículo así como del modelo que lo monte.



Figura 2.24. Neumáticos (llantas) para uso pesado

CAPÍTULO 3. **MATERIALES y TRATAMIENTOS**

3.1. Aceros

El principal producto siderúrgico es el acero al carbono. Este material metálico es el más importante para la industria metalmeccánica y de la construcción, principalmente. Su elaboración es una aleación de composición química compleja. aproximadamente 90% del propio acero al carbono y 10%, acero aleado.

Además de hierro, cuyo contenido puede oscilar entre 97 o 99.5%, hay en él muchos elementos cuya presencia se debe a los procesos de su producción (manganeso y silicio) a la dificultad de excluirlos totalmente del metal (azufre, fósforo, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno) o a circunstancias casuales (cromo, níquel, cobre y otros).

El aumento del contenido de carbono en el acero eleva su resistencia a la tracción, incrementa el índice de fragilidad en frío y hace que disminuya la tenacidad y la ductilidad. Los aceros se clasifican teniendo en cuenta sus propiedades y utilización, en tres grandes grupos: aceros de construcción, aceros de herramientas y aceros inoxidables.



Figura 3.1. Acerería

3.1.1. Aceros de construcción

Son los aceros que se utilizan para la fabricación de piezas, órganos o elementos de máquinas, motores, instalaciones, carriles, vehículos, etc.

- Aceros al carbono que se usan en bruto de laminación para construcciones metálicas y para piezas de maquinaria en general.
- Aceros de baja aleación y alto límite elástico para grandes construcciones metálicas, puentes, torres etc.
- Aceros de fácil mecanización en tornos automáticos.

Los aceros de construcción generalmente se emplean para la fabricación de piezas, órganos o elementos de maquinas y de construcción de instalaciones. En ellos son fundamentales ciertas propiedades de orden mecánico, como la resistencia a la tracción, tenacidad, resistencia a la fatiga y alargamiento.

Aceros ordinarios al carbono que se usan en bruto de forja o laminación se incluyen los aceros cuyas propiedades dependen principalmente del porcentaje de carbono que contienen. Se emplean en grandes cantidades para la construcción de estructuras metálicas de edificios, para elementos y piezas de maquinaria, motores, ferrocarriles, etc., y su contenido de carbono suele variar desde 0.03 a 0.70%.

Además siempre contienen pequeñas cantidades de manganeso y silicio que se emplean como elementos auxiliares en los procesos de fabricación, fósforo y azufre que son impurezas perjudiciales que provienen de las materias primas (lingotes, chatarra, combustibles y minerales).

En general los aceros ordinarios contienen:

- Mn < 0.90%,
- Si < 0.50%,
- P < 0.10%,
- S < 0.10%

De acuerdo con las propiedades mecánicas, se establecen una serie de grupos de aceros ordenados por su resistencia a la tracción.

Cuando se desean resistencias de 38 a 55 kg/mm² (kilogramos/milímetros al cuadrado) se emplean aceros en bruto de forja o laminación. Para resistencias de 55 a 80 kg/mm² se emplean unas veces los aceros al carbono en bruto de forja y laminación, y otras veces se emplean los aceros al carbono tratados (templados y revenidos), para resistencias superiores a 80 kg/mm² se suelen emplear aceros tratados.

3.1.2. Aceros de bajo contenido de carbono

Estos aceros contienen menos del 0.25% C, no adquieren dureza sensible con un temple. Su resistencia media en estado normalizado varia de 35 a 53 kg/mm² y los alargamientos de 33 a 23%.

Denominación Características aproximadas: R (kg/mm²) A%, Carbono%
Semidulces, Dulces, Extra dulces 5045 <40 2528>30 0.200.15<0.08. donde:

R: resistencia a la tracción

A: alargamiento

Con estos aceros de 0.06 a 0.25% de carbono, se fabrican los puentes de ferrocarril, las grandes estructuras de las estaciones, las columnas metálicas de las líneas eléctricas, los cascos de los buques, las estructuras de las casas, las carrocerías de los automóviles, los tubos de las bicicletas, los clavos, los alfileres, las cerraduras de las puertas, los asientos de las clases y muchos objetos más que utilizamos diariamente. En la mayoría de los casos se utiliza el acero tal como viene de las acerías, sin darle ningún tratamiento térmico especial.

Aceros semiduros forjados o laminados para la construcción de piezas de maquinaria en general.

Los aceros ordinarios de contenido en carbono comprendido entre 0.25 y 0.70% de C que se emplean en estado bruto de forja o laminación se suelen emplear para piezas de maquinaria en general.

Aceros de 0.30% de C: ejes para vagones, ruedas, piezas de maquinaria, etc. (R=57 kg/mm², A = 23%).

Aceros de 0.40% de C: elementos de maquinas y motores, alambres para cables, ejes para locomotoras, etc. (R = 65 kg/mm², A = 19%).

Aceros de 0.50% de C: bandejas, alambres, flejes, herramientas agrícolas forjadas etc. (R = 74 kg/mm², A=17%).

Aceros de 0.60% de C: para fleje duro, alambre, herramientas para agricultura, etc. (R = 82 Kg/mm², A = 15%).

Influencia de elementos extraños en las características mecánicas de los aceros de bajo contenido en carbono.

La presencia de fósforo y azufre, salvo en muy pocas ocasiones, es perjudicial para la calidad de los aceros, procurándose eliminar esos elementos en los procesos de fabricación. En general se recomienda que en los aceros ordinarios el contenido de cada uno de esos elementos no pase del 0.06%, y en los aceros de calidad se suele exigir porcentajes de fósforo y azufre inferiores a 0.03%.

El azufre cuando se presenta como sulfuro de hierro, provoca durante los procesos de forja o laminación del acero poca resistencia y a veces se agrieta por iniciarse la fusión de éste, que se encuentra en el acero en forma de retícula en la

microestructura del acero. Por el contrario cuando aparece como sulfuro de manganeso, tiene una temperatura de fusión muy elevada, y no da paso a la fragilidad en caliente; en ambos casos el alargamiento y la resistencia del acero queda muy disminuido.

El fósforo se encuentra siempre disuelto en los granos de ferrita a los que comunica gran fragilidad.

3.1.3. Aceros al carbono de alta maquinabilidad (resulfurados)

Esta clase de aceros se usa en aquellos casos donde se desea una maquinabilidad mejor que la de los aceros al carbón. Se logran costos más bajos aumentando la producción con mayores velocidades de maquinado y mejor vida de la herramienta, o eliminando operaciones secundarias a través de una mejoría en la superficie terminada. La adición de azufre ocasiona algún sacrificio en las propiedades de soldabilidad, forja y conformación en frío.

Estos aceros se pueden cianurar o carburar. La maquinabilidad aumenta en este grupo al aumentar el azufre, el cual se combina principalmente con el manganeso del acero y precipita como inclusiones de sulfuros, las cuales favorecen la maquinabilidad al proporcionar la formación de virutas pequeñas, y al suministrar un lubricante propio evita que las virutas se agarren a la herramienta y emboten el filo.

Al disminuir esta adherencia, se necesita menos potencia, se mejora la superficie y la velocidad de maquinado se puede doblar en comparación de un acero no resulfurado.

A continuación se indica el siguiente grupo de aceros SAE según su nomenclatura::

- SAE: 1108 - 1109 - 1116 - 1117 - 1118 - y 1119. Los aceros de este grupo se usan cuando se necesita una combinación de buena maquinabilidad y respuesta a tratamiento térmico. En variedades de bajo carbono se usan para partes pequeñas que deben cianurarse o carbonitrurarse.
- SAE 1117 - 1118 y 1119, tienen más manganeso para mejor templabilidad, permitiendo temple en aceite después de la carburación.
- SAE 1132 - 1137 - 1140 - 1141 - 1144 - 1145 - 1146 y 1151. Cada tipo tiene características comparables a los aceros al carbono del mismo nivel del carbón. Se usan para partes donde es necesario una gran cantidad de maquinado, o donde la presencia de roscas, estrías, u otra operación ofrece problemas especiales de herramental.
- SAE 1132 -1137 - 1141 - 1144: de alto manganeso ofrecen mayor templabilidad y los tipos de alto carbono son adecuados para temple en aceite, para temple por inducción o para temple con llama.

Otra clasificación del acero desde el punto de vista de su producción es: efervescente, calmado, semicalmado o tapado.

En los aceros efervescentes sólo se ha eliminado una pequeña parte del oxígeno mientras dura el proceso de solidificación, lo que deja una capa exterior o cerco relativamente libre de carbono, o sea que el centro del lingote tiene un mayor contenido de carbono que el exterior

Esta superficie con una porción de carbono extremadamente baja es muy dúctil, tiene excelentes cualidades de su superficie y muy buenas características para su conformado en frío.

Los aceros calmados son lo opuesto a los efervescentes; a estos aceros se les ha extraído gran cantidad de oxígeno, de donde resulta un acero relativamente libre de carbono. Los aceros calmados son útiles cuando se necesitan técnicas severas de conformado, pero siempre requiere un tratamiento térmico al terminar la técnica de conformado de manufactura.

Los aceros semicalmados tienen una composición y propiedades mecánicas que varían entre las de los aceros efervescentes y los calmados. Los aceros tapados combinan las características de los aceros efervescentes y las de los semicalmados o sea, el cerco de carbono se forma en la superficie del acero, y el grueso de la sección transversal interior tiene las características del acero semicalmado.

En este grupo se incluyen todos los aceros que normalmente se emplean para la fabricación de útiles o herramientas destinados a modificar la forma, tamaño y dimensiones de los materiales por cortadura, por presión o por arranque de viruta.

Los aceros de herramientas tienen generalmente un contenido en carbono superior a 0.30%, aunque a veces también se usan para la fabricación de ciertas herramientas, aceros de bajo contenido en carbono (0.1 a 0.30%).

3.1.4 Aceros de herramientas

En esta parte del capítulo se describen los diferentes aceros que se utilizan para la elaboración de herramientas:

- Aceros al carbono: para la fabricación de herramientas para los usos más diversos, se emplean aceros sin elementos de aleación con porcentajes de carbono variables de 0.50% a 1.40% para herramientas que deban tener gran tenacidad como martillos y picas; se emplean medios contenidos en carbono 0.50% a 0.70% para herramientas de corte como brocas, cuchillas, y limas; calidades intermedias de 0.70% a 1%. Para conseguir en cada caso la máxima dureza, deben ser templados en agua.

- Aceros rápidos: la característica fundamental de estos aceros es conservar su filo en caliente, pudiéndose trabajar con las herramientas casi a l rojo (600°) sin disminuir su rendimiento. Algunas composiciones típicas de los aceros rápidos son: C = 0.75%, W = 18%, Cr = 4% y V = 1% ; otra C = 0.75%, W = 18%, Co = 4% y V = 1.25%.
- Aceros indeformables: reciben este nombre los aceros que en el temple no sufren casi deformaciones y con frecuencia después del temple y revenido quedan con dimensiones prácticamente idénticas a las que tenían antes del tratamiento. Esto se consigue empleando principalmente el cromo y el manganeso como elementos de aleación. Estos aceros templan con un simple enfriamiento al aire o en aceite. Composiciones típicas: C = 2% y Cr = 12%; C = 1% y Cr = 5% y otra C = 1% y Mn = 1%.
- Aceros al corte no rápidos: se agrupan varios aceros aleados, principalmente con cromo y wolframio, muy empleados para la fabricación de herramientas de corte que no deben trabajar en condiciones muy forzadas. Pueden considerarse como unas calidades intermedias entre los aceros rápidos y los aceros al carbono, y la mayoría de herramientas fabricadas con ellos suelen quedar con durezas comprendidas entre 60 y 66 Rockwell-C

3.1.5. Aceros aleados

Se da el nombre de aceros aleados a los aceros que además de los cinco elementos: carbono, silicio, manganeso, fósforo y azufre, contienen también cantidades relativamente importantes de otros elementos como el cromo, níquel, molibdeno, etc., que sirven para mejorar alguna de sus características fundamentales.

También puede considerarse aceros aleados los que contienen alguno de los cuatro elementos diferentes del carbono que antes hemos citado, en mayor cantidad que los porcentajes que normalmente suelen contener los aceros al carbono, y cuyos límites superiores suelen ser generalmente los siguientes: Si=0.50%, Mn=0.90%, P=0.100% y S=0.100%.

Los elementos de aleación que más frecuentemente suelen utilizarse para la fabricación de aceros aleados son: níquel, manganeso, cromo, vanadio, wolframio, molibdeno, cobalto, silicio, cobre, titanio, circonio, plomo, Selenio, aluminio, boro y Niobio.

La influencia que ejercen esos elementos es muy variada, y, empleados en proporciones convenientes, se obtienen aceros con ciertas características que, en cambio, no se pueden alcanzar con los aceros ordinarios al carbono. Utilizando aceros aleados es posible fabricar piezas de gran espesor, con resistencias muy elevadas en el interior de las mismas.

En elementos de máquinas y motores se llegan a alcanzar grandes durezas con gran tenacidad. Es posible fabricar mecanismos que mantengan elevadas resistencias,

aún a altas temperaturas. Hay aceros inoxidable que sirven para fabricar elementos decorativos, piezas de maquinas y herramientas, que resisten perfectamente a la acción de los agentes corrosivos. Es posible preparar troqueles de formas muy complicadas que no se deformen ni agrieten en el temple, etc.

La tendencia que tienen ciertos elementos a disolverse en la ferrita o formar soluciones sólidas con el hierro alfa, y la tendencia que en cambio tienen otros a formar carburos, la influencia de los elementos de aleación en los diagramas de equilibrio de los aceros (Elevación o descenso de las temperaturas críticas de los diagramas de equilibrio y las temperaturas **Ac y Ar** correspondientes a calentamientos y enfriamientos relativamente lentos, modificaciones en el contenido de carbono del acero eutectoide,

Tendencia a ensanchar o disminuir los campos austeníticos o ferríticos correspondientes a los diagramas de equilibrio, y otras influencias también relacionadas con el diagrama hierro-carbono, como la tendencia a grafitizar el carbono, a modificar el tamaño del grano, etc. La influencia de los elementos aleados sobre la templabilidad. La influencia que tienen en retardar el ablandamiento que se produce en el revenido.

Existen otras influencias diversas, como mejoras en la resistencia a la corrosión, resistencia al calor, resistencia a la abrasión, etc., las cuales se deben directa o indirectamente a alguna de las variaciones o fenómenos citados anteriormente.

Clasificación de los aceros aleados de acuerdo con su utilización

Aceros en los que tiene una gran importancia la templabilidad:

- Aceros de gran resistencia
- Aceros de cementación
- Aceros de muelles
- Aceros indeformables

Aceros de construcción:

- Aceros de gran resistencia
- Aceros de cementación
- Aceros para muelles
- Aceros de nitruración
- Aceros resistentes al desgaste
- Aceros para imanes
- Aceros para chapa magnética
- Aceros inoxidable y resistentes al calor

Aceros de herramientas:

- Aceros rápidos

- Aceros de corte no rápidos
- Aceros indeformables
- Aceros resistentes al desgaste
- Aceros para trabajos de choque
- Aceros inoxidable y resistentes al calor.

En esta tabla se señalan los aceros aleados de uso más corriente clasificados en tres grupos. Se señalan los dos grupos clásicos de aceros de construcción y de herramientas, y además otro grupo en el que se destaca la importancia de la templabilidad, y en el que se incluyen los aceros de gran resistencia, muelles cementación, etc., que aun perteneciendo a los otros dos grupos, interesa destacar por separado por la gran importancia que en ellos tiene la templabilidad.

3.1.6. Nomenclatura de los aceros sistema S.A.E - A.I.S.I

Como la micro estructura del acero determina la mayoría de sus propiedades y aquella está determinada por el tratamiento y la composición química; uno de los sistemas más generalizados en la nomenclatura de los aceros es el que está basado en su composición química.

En el sistema SAE-AISI. los aceros se clasifican con cuatro dígitos XXXX. Los primeros dos números se refieren a los dos elementos de aleación más importantes y los dos o tres últimos dígitos dan la cantidad de carbono presente en la aleación. Un acero 1040 AISI es un acero con 0.4% C; un acero 4340 AISI, es un acero aleado que contiene 0.4%C, el 43 indica la presencia de otros elementos ale antes.

Las convenciones para el primer dígito son:

- 1 - MANGANESO
- 2 - NIQUEL
- 3 - NIQUEL-CROMO, principal aleante el cromo
- 4 - MOLIBDENO
- 5 - CROMO
- 6 - CROMO-VANADIO, principal aleante el cromo
- 8 - NIQUEL-CROMO-MOLIBDENO, principal aleante el molibdeno
- 9 - NIQUEL-CROMO-MOLIBDENO, principal aleante el níquel.

No hay aceros numerados 7xxx porque estos aceros resistentes al calor prácticamente no se fabrican. Se observa entonces que si el primer número es 1 se sabe que es un acero al carbono; si el dígito siguiente es el 0, o sea que la designación es 10xx, se trata de un acero ordinario al carbono

Una de las ventajas más grandes que reporta el empleo del níquel, es evitar el crecimiento del grano en los tratamientos térmicos, lo que sirve para producir en ellos gran tenacidad. El níquel además hace descender los puntos críticos y por ello los

tratamientos pueden hacerse a temperaturas ligeramente más bajas que la que corresponde a los aceros ordinarios. Experimentalmente se observa que con los aceros aleados con níquel se obtiene para una misma dureza, un límite de elasticidad ligeramente más elevado y mayores alargamientos y resistencias que con los aceros al carbono o de baja aleación.

En la actualidad se ha restringido mucho su empleo, pero sigue siendo un elemento de aleación indiscutible para los aceros de construcción empleados en la fabricación de piezas para maquinas y motores de gran responsabilidad, se destacan sobre todo en los aceros cromo-níquel y cromo-níquel-molibdeno.

El níquel es un elemento de extraordinaria importancia en la fabricación de aceros inoxidable y resistentes a altas temperaturas, en los que además de cromo se emplean porcentajes de níquel variables de 8 a 20%.

Los aceros al níquel más utilizados son los siguientes:

- a) Aceros al níquel con 2, 3 y 5%. Con 0.10 a 0.25% de carbono se utilizan para cementación, y con 0.25 a 0.40% de carbono para piezas de gran resistencia.
- b) Aceros cromo-níquel-molibdeno con porcentajes de níquel variables desde 1 a 5%; con bajos porcentajes de carbono (0.10 a 0.22%) se emplean para cementación y con porcentajes de 0.25 a 0.40% de carbono se emplean para piezas de gran resistencia. En estos aceros los porcentajes de estos elementos aleados suelen estar en relación aproximada de 1% de cromo y 3% de níquel.
- c) Aceros de media aleación níquel-molibdeno y níquel-manganeso. Se suelen emplear para piezas de gran resistencia y para piezas cementadas con porcentajes de carbono variables de 0.25 a 0.40% en el primer caso y de 0.10 a 0.25% en el segundo, variando el contenido en níquel de 1 a 2%, el de manganeso de 1 a 1.5% y el molibdeno de 0.15 a 0.40%.
- d) Aceros inoxidable y resistentes al calor cromo-níqueles, con 8 a 25% de níquel que son de estructura austenítica.
- e) Otros aceros de menor importancia son los aceros cromo-níqueles para estampación en caliente y para herramientas.

Cromo

Otro de los elementos especiales más empleados para la fabricación de aceros aleados es el cromo, usándose indistintamente en los aceros de construcción, en los de herramientas, en los inoxidable y los de resistencia en caliente.

Se emplea en cantidades diversas desde 0.30 a 30, según los casos y sirve para aumentar la dureza y la resistencia a la tracción de los aceros, mejora la templabilidad, impide las deformaciones en el temple, aumenta la resistencia al desgaste, la inoxidabilidad, etc.

Los aceros con cromo de mayor utilidad son:

- a) Aceros de construcción, de gran resistencia mecánica de 0.50 a 1.50% de cromo y 0.30 a 0.45% de carbono, aleados según los casos, con níquel y molibdeno para piezas de gran espesor, con resistencias variables de 70 a 150 Kg/mm².
- b) Aceros de cementación con 0.50 a 1.50% de cromo y 0.10% a 0.25% de carbono, aleados con níquel y molibdeno.
- c) Aceros de nitruración cromo-aluminio-molibdeno.
- d) Aceros para muelles cromo-vanadio y cromo-silicio.
- e) Aceros de herramientas con 0.30 a 1.50% de cromo y 0.070 a 1.50% de carbono. En ellos el cromo mejora la penetración de temple, la resistencia al desgaste, permite el temple en aceite y evita deformaciones y grietas.
- f) Aceros indeformables con 5 a 12% de cromo.
- g) Aceros rápidos y de trabajos en caliente.
- h) Aceros inoxidables martensíticos con 12 y 17% de cromo, aceros austeníticos con 14% a 25% de cromo en cantidades de níquel variables de 8 a 25% y aceros inoxidables con 27% de cromo.

El cromo se disuelve en la ferrita y muestra una fuerte tendencia a formar carburos de cromo y carburos complejos.

El molibdeno mejora notablemente la resistencia a la tracción, la templabilidad y la resistencia al creep de los aceros. Añadiendo solo pequeñas cantidades de molibdeno a los aceros cromo-níqueles, se disminuye o elimina casi completamente la fragilidad Krupp, que se presenta cuando estos aceros son revenidos en la zona de 450° a 550°.

El molibdeno a aumenta también la resistencia de los aceros en caliente y reemplaza al wolframio en la fabricación de los aceros rápidos, pudiéndose emplear para las mismas aplicaciones aproximadamente una parte de molibdeno por cada dos de wolframio.

El molibdeno se disuelve en la ferrita, pero tiene una fuerte tendencia a formar carburos. Es un potente estabilizador de los carburos complejos y tiende a retarde el ablandamiento de los aceros, durante el revenido.

Los aceros de molibdeno más utilizados son:

- a) Aceros de manganeso-molibdeno, cromo-molibdeno y cromo-níquel-molibdeno de bajo contenido de carbono para cementación, y de 0.15 a 0.40% de carbono para piezas de gran resistencia.
- b) Aceros rápidos con 6 a 10% de molibdeno; son de utilización relativamente parecida a los aceros rápidos al wolframio, pero en ellos el wolframio es sustituido por el molibdeno.
- c) Aceros de 0.50 a 6% de molibdeno que se emplean principalmente para construcciones metálicas, tuberías e instalaciones en refinerías de petróleo, en las que llegan a calentarse de 100° a 300° y deben resistir bien el efecto de esos calentamientos relativamente moderados.

Wolframio (tungsteno)

Es un elemento muy utilizado para la fabricación de aceros de herramientas, empleándose en especial en los aceros rápidos, aceros para herramientas de corte y aceros para trabajos en caliente. Sirve para mantener la dureza de los aceros a elevada temperatura y evitan que se desafilan o ablanden las herramientas, aunque lleguen a calentarse a 500° o 600°. También se usa para la fabricación de aceros para imanes.

El wolframio se disuelve ligeramente en la ferrita y tiene una gran tendencia a formar carburos. Los carburos de wolframio tienen gran estabilidad.

Los aceros más utilizados de wolframio son:

- a) Los aceros rápidos con 18% de wolframio y cantidades variables de cromo, vanadio y molibdeno y 0.701% aproximadamente de carbono.
- b) Aceros para trabajos en caliente con 9 a 15% de wolframio y 0.30% a 0.40% de carbono. Para algunos usos de menos responsabilidad se emplean aceros de más baja aleación con 1% a 5% de wolframio.
- c) Aceros para la fabricación de herramientas varias con n1% a 14% de wolframio y otros elementos: cromo, manganeso, vanadio, etc., que se emplean para trabajos de corte.
- d) Aceros inoxidables cromo-níqueles con wolframio, de gran resistencia mecánica a elevada temperatura.

El vanadio se emplea principalmente para la fabricación de aceros de herramientas, tiende a afinar el grano y a disminuir la templabilidad. Es un elemento desoxidante muy fuerte y tiene una gran tendencia a formar carburos.

El vanadio tiene una gran tendencia muy fuerte a formar carburos, por esta razón, basta con añadir pequeñas cantidades, y pocos aceros, excepto los de herramientas, contienen más de 0.02% de vanadio. Una característica de los aceros con vanadio, es su gran resistencia al ablandamiento por revenido.

Los aceros con vanadio más utilizados son:

- a) Aceros rápidos que suelen contener de 0.50 a 1% de vanadio.
- b) Aceros de herramientas de diversas clases. Para troqueles indeformables, etc., que suelen tener de 0.10 a 0.30% de vanadio.
- c) Aceros para muelles cromo-vanadio.

El manganeso, aparece prácticamente en todos los aceros, debido, principalmente, a que se añade como elemento de adición para neutralizar la perniciosa influencia del azufre y del oxígeno, que siempre suelen contener los aceros cuando se encuentran en estado líquido en los hornos durante los procesos de fabricación. El manganeso actúa también como desoxidante y evita, en parte, que en la solidificación del acero que se desprendan gases que den lugar a porosidades perjudiciales en el material.

Si los aceros no tuvieran manganeso, no se podrían laminar ni forjar, porque el azufre que suele encontrarse en mayor o menor cantidad en los aceros, formarían sulfuros de hierro, que son cuerpos de muy bajo punto de fusión (981° aprox.) que a las temperaturas de trabajo en caliente (forja o laminación) funden, y al encontrarse contorneando los granos de acero crean zonas de debilidad y las piezas y barras se abren en esas operaciones de transformación.

Los aceros ordinarios y los aceros aleados en los que el manganeso no es elemento fundamental, suelen contener generalmente porcentajes de manganeso variables de 0.30% a 0.80%.

Los aceros al manganeso de uso más frecuente son:

- a) Aceros al manganeso de gran resistencia, que generalmente pertenecen al grupo de aceros de media aleación, en los que al emplearse el manganeso en cantidades variables de 0.80 a 1.60%, con contenidos en carbono de 0.30 a 0.050%, se consigue mejorar la templabilidad y obtener excelentes combinaciones de características mecánicas aun en piezas de cierto espesor.

b) Aceros indeformables al manganeso con 1 a 3% de Mn y 1% de carbono, aproximadamente, en los que la presencia de un alto porcentaje de manganeso, hace posible el temple con simple enfriamiento en aceite, o el aire, con lo que las deformaciones de las herramientas son muy pequeñas.

c) Aceros austeníticos al manganeso con 12% de Mn y 1% de carbono, aproximadamente, que a la temperatura ambiente son austeníticos y tienen gran resistencia al desgaste, empleándose principalmente, para cruzamientos de vías, mordazas de maquinas trituradoras, excavadoras, etc.

El silicio es un elemento aparece en todos los aceros, lo mismo que el manganeso, porque se añade intencionadamente durante el proceso de fabricación. Se emplea como elemento desoxidante complementario del manganeso con objeto de evitar que aparezcan en el acero los poros y otros defectos internos. Los aceros pueden tener porcentajes variables de 0.20 a 0.34% de Si.

Se emplean aceros de 1% a 4.5% de Si y bajo porcentaje de carbono para la fabricación de chapas magnéticas, ya que esos aceros, en presencia de campos magnéticos variables, dan lugar solo a pérdidas magnéticas muy pequeñas, debido a que el silicio aumenta mucho su resistividad.

Mejora ligeramente la templabilidad y la resistencia de los aceros a disminuir la tenacidad, y en ciertos casos mejora también su resistencia a la oxidación.

El cobalto, se emplea casi exclusivamente en los aceros rápidos de más alta calidad este elemento al ser incorporado en los aceros, se combina con la ferrita, aumentando su dureza y su resistencia. Es uno de los pocos elementos aleados que mueva el punto eutectoide hacia la derecha y reduce la templabilidad de los aceros.

El cobalto se suele emplear en los aceros rápidos al wolframio de máxima calidad en porcentajes variables de 3 a 10%.

El aluminio se emplea como elemento de aleación en los aceros de nitruración, que suele tener 1% aproximadamente de aluminio. Como desoxidante se suele emplear frecuentemente en la fabricación de muchos aceros. Todos los aceros aleados en calidad contienen aluminio en porcentajes pequeñísimos, variables generalmente desde 0.001 a 0.008%.

El titanio se suele añadir pequeñas cantidades de titanio a algunos aceros muy especiales para desoxidar y afinar el grano. El titanio tiene gran tendencia a formar carburos y a combinarse con el nitrógeno. En los aceros inoxidables cromo-níquel, actúa como estabilizador de los carburos y evita la corrosión intercrystalina.

El cobre se suele emplear para mejorar la resistencia a la corrosión de ciertos aceros de 0.15 a 0.30% de carbono, que se usan para grandes construcciones metálicas. Se suele emplear contenidos en cobre variables de 0.40 a 0.50%.

Y el boro se ha visto que en cantidades pequeñísimas de boro del orden de 0.0001 a 0.0006%, mejoran notablemente la templabilidad, siendo en este aspecto el más efectivo de los elementos aleados y el de mayor poder templante de todos.

3.2. Los tratamientos superficiales de los engranes

3.2.1. Generalidades

En un engrane podemos distinguir dos tipos de cualidades que inciden directamente en el funcionamiento de dicho mecanismo: las geométricas y las mecánicas.

- a) Geométricas: el proceso de tallaje es el que define la dentadura y existe un grado de perfección.
- b) Mecánicas: Son función del metal que hemos elegido para hacer el engrane (límite elástico, resistencia) y también función del tratamiento térmico o superficial que ha recibido. Hay que tener mucho cuidado porque los tratamientos térmicos pueden influir sobre la geometría de la pieza por las deformaciones que producen.

Las diferentes formas de tratamiento de endurecimiento en el engrane son:

- a) T.T. completo: sobre engranes tallados o no tallados.
 - b) Endurecimiento superficial: Cementación (T.T. posterior), nitruración, temple por llama, temple por inducción,...
- Cementación (T.T. posterior)
 - Nitruración
 - Temple por inducción
 - Temple a la llama
 - Sur – Sulf



FIGURA 3.2.

3.2.3 Características Necesarias

Un engrane tiene que tener las siguientes características para el buen funcionamiento:

- a) Una capa superficial muy dura para hacer frente a toda la problemática de desgaste, deformación, grietas.
- b) Un núcleo tenaz, capaz de absorber los grandes esfuerzos que se generan en los engranajes, enganches,... sin romperse o fracturarse.

3.2.3. Clases y mModos de fallo

3.2.3.1. Desgaste

Consiste en la evacuación y desplazamiento del material de la superficie envolvente del diente debido a una acción mecánica, química o eléctrica.

3.2.3.2. Adhesión

La adhesión es causada por el desplazamiento desde una superficie del diente a otra debido a una micro soldadura y posterior desgarramiento. Se restringe únicamente a capas superficiales y capas de óxido.

3.2.3.3. Abrasión

Es el desplazamiento de material debido a la presencia de partículas duras, como pueden ser viruta, cascarilla, partículas e óxido, arena o polvo abrasivo, suspendidas en el lubricante o incrustadas en los flancos de los engranajes.

La abrasión produce estrías o ranuras en la dirección de deslizamiento. Normalmente aparece en la parte alta y baja del flanco del diente, ahí donde el deslizamiento es mayor. Bajo aumento óptico, las estrías se presentan como surcos paralelos lisos.

La abrasión debido a contaminantes sueltos se denomina "three-body abrasión". Cuando son las partículas duras incrustadas en el diente los que producen la abrasión se ocurre, lo que se llama "two-body abrasión".

3.2.3.4. Corrosión

La corrosión es una reacción química o electroquímica entre la superficie del engranaje y el medio ambiente. Las caras aparecen manchadas y corroídas, cubiertas por partículas de óxido rojizas depositadas.

Si las partículas sueltas de corrosión son removidas se podrán revelar los pequeños cráteres que hay debajo. Normalmente la corrosión ataca a la superficie entera y puede proceder intergranularmente atacando los bordes de los granos de las superficies del diente.

3.2.3.4. Decapado

Las áreas rayadas de los flancos del diente son debidas a un proceso de oxidación durante el tratamiento térmico y posterior caída de materias activas. Cuando avanzan bajo la carga en el horno, el esfuerzo es transmitido por los dientes por lo que estos sufren y rápidamente adquieren un aspecto metálico.

3.2.3.5. Cavitación

Es la nucleación e implosión de burbujas del fluido lubricante. Esto puede dañar la superficie de la pieza que a simple vista parece estar intacta y limpia como si hubiera recibido un chorro de partículas de arena pero mirando en el microscopio, se puede observar claramente los profundos cráteres que se parecen a panales de abejas.

3.2.3.6. Descarga eléctrica

Un arco eléctrico que va a través del film de aceite entre el engranaje produce temperaturas que pueden hasta llegar a fundir localmente el material. Bajo aumento, el defecto aparece como pequeños cráteres semiesféricos. Los bordes de los cráteres pueden estar rodeados por metal quemado o fundido y algunas veces se pueden detectar micro grietas cerca de los cráteres.

3.2.3.7. Scuffing

Es una especie de severa adhesión que causa la transmisión de metal desde un diente a otro debido a la soldadura y desgarramiento. Las áreas parecen tener una textura mate, sin brillo. El defecto ocurre normalmente en el fondo y extremo del diente, lejos del círculo primitivo, y se presenta como estrechas bandas que están orientadas en la dirección de deslizamiento. Si miramos en el microscopio, la superficie presenta un aspecto rugoso y deformado plásticamente.

3.2.3.8. Deformación Plástica

La deformación plástica es una deformación permanente que ocurre cuando el esfuerzo supera el límite de esfuerzo elástico del material. Puede ocurrir en la superficie o en el interior del engrane.

3.2.3.9. Indentación

Los flancos activos del engrane pueden ser dañadas por indentación causado por partículas extrañas (no propias) que son retenidas entre los dientes que están engranando.

3.2.3.10. Rodadura

La deformación plástica puede ocurrir en los flancos activos del engrane debido a los grandes esfuerzos de contacto en rodadura y deslizamiento del engrane. El desplazamiento de material de la superficie puede formar una hendidura a lo largo del círculo primitivo y también rebabas en las crestas y valles del engrane conductor.

3.2.3.11 Martilleo

Los impactos de las vibraciones con contactos intermitentes producen el aplastamiento de las superficies. El defecto consiste en surcos pocos profundos en los flancos activos.

3.2.3.12. Ondulaciones

Consiste en deformaciones periódicas con forma de olas. Las crestas de las olas van perpendicularmente a la dirección de deslizamiento. Ocurre normalmente cuando soportan grandes esfuerzos en condiciones de lubricantes extremas.

3.2.3.13 Aplastamiento de raíces

Los engranes pueden quedar permanente curvados si el esfuerzo de torsión en las raíces de los dientes supera el campo de la resistencia del material lo que produce una ligera variación del espacio entre dientes. Consecuentemente el engrane se puede romper.

3.2.3.14 Fatiga

Un esfuerzo continuo puede causar que se agriete la superficie y que se desprendan fragmentos de material

3.2.3.14 Pitting

Ocurre cuando la grieta comienza en la superficie o un poco mas adentro. Debido a la tensión, la grieta se va propagando hasta que alcanza una longitud tal que se separa un trozo de material de la pieza creando un poro. En muchos casos, se pueden encontrar grietas cerca de los poros.

3.2.3.16. Micropitting

Es lo mismo que el anterior solo que los poros tienen profundidades inferiores a 20µm. Este defecto da un aspecto mate a la pieza. Este fenómeno aparece en superficies templadas bien en la superficie o bien en el interior.

3.2.3.17. Agrietamiento

Aparte de las grietas que se forman en las raíces de los dientes debido a la fatiga a torsión, también pueden surgir grietas en cualquier otro sitio debido al esfuerzo mecánico, térmico o proceso inapropiado.

3.2.3.18. En el temple

El agrietamiento en el temple ocurre durante o después de un enfriamiento rápido. Son normalmente grietas intergranulares que van desde la superficie hasta el núcleo. Si el agrietamiento ocurre antes del "tempering" las superficies fracturadas se descolorarán debido a la oxidación cuando el engrane sea expuesto a la atmósfera del horno durante el "tempering"

3.2.3.19. En el rectificado

Las grietas se pueden desarrollar en las superficies rectificadas. Se presentan como una serie de surcos poco profundos y paralelos. Pueden aparecer inmediatamente después del rectificado, durante la manipulación o almacenado, o después de cierto tiempo en servicio.

3.2.3.20. Grietas en borde y armadura

Si el cuerpo del engrane es fino (menos que el doble de la altura del diente) pueden aparecer grietas en la armadura debido al esfuerzo que tiene que soportar tan poca masa de material. Las grietas en el borde ocurren cuando el engrane tiene que soportar esfuerzos de vibración con una frecuencia parecida a la natural).

Estos defectos pueden causar accidentes catastróficos en engranes que giran a gran velocidad si el esfuerzo centrífugo provoca la propagación de la grieta y con ello el desgarramiento y abertura de la armadura.

3.2.3.21. Separación superficie/núcleo

Ocurre en las superficies templadas donde hay grietas internas cerca del límite entre el núcleo y la capa superficial.

3.2.3.22. Agrietamiento por fatiga

Son grietas que avanzan bajo la influencia de esfuerzos cíclicos y alternativos que están por debajo de la tensión de resistencia del material.

3.2.3.23. Fractura

Cuando un engrane esta sobrecargado, se puede romper por deformación plástica o por fractura. Los defectos por fatiga culminan en fractura cuando las grietas

creadas por fatiga crezcan en un punto donde la sección del diente que falta hasta el extremo no puede soportar la carga. En este caso, la parte exterior está sobrecargada. Sin embargo, la fractura es un defecto secundario que es causado por el agrietamiento por fatiga.

3.2.4. Tratamientos de endurecimiento

La finalidad de estos tratamientos es obtener en la parte exterior de la pieza una capa, caracterizada por una dureza notablemente superior a la del núcleo.

Esto se puede obtener, haciendo penetrar en la pieza, desde el exterior y hasta la profundidad deseada, un determinado elemento químico, generalmente de Carbono o Nitrógeno. Otra posibilidad puede ser, realizar un temple localizado solamente sobre la zona exterior de la pieza.

Con estos tratamientos, obtenemos Resistencia al Desgaste y Dureza en el exterior y tenacidad en el interior.

3.2.4.1. Cementación carburante

Consiste en efectuar un calentamiento prolongado de las piezas de acero a elevada temperatura en un ambiente capaz de suministrarle carbono. La finalidad, es obtener la dureza sólo en la capa exterior, manteniendo la tenacidad en el interior. La profundidad de la capa que queramos obtener está en función de la duración del tratamiento y la velocidad de penetración.

Al tratamiento de cementación, siempre sigue un tratamiento térmico de temple. Mediante el cual se obtiene el endurecimiento de la capa exterior.

Las piezas que se someten a este tratamiento suelen ser de aceros de cementación, los cuales tienen bajo contenido en carbono (< 0.20% C). También, deben tener porcentajes mínimos de S y P. Los cuales obstaculizan absorción del carbono, dándole fragilidad. Los aceros pueden ser al carbono o aleados (cromo, níquel, molibdeno), los cuales tienen como finalidad, hacer más rápida la cementación, mejorar la templabilidad y las características mecánicas.

El intervalo de temperatura en el cual se realiza el temple es de 880 a 930°C. A mayores temperaturas, la velocidad de cementación será mayor, pero el inconveniente es el excesivo crecimiento de grano y el peligro de quemado del material. La temperatura debe ser superior al punto crítico A_{c3} , para llevar el material a estructura totalmente austenítica, capaz de disolver el carbono que penetra desde el exterior.

Las piezas a cementar, suelen estar totalmente terminadas, dejando solamente ligeras creces para quitar después del temple mediante rectificado.

4 tipos de cementación, según el ambiente en el cual se realiza la cementación:

1. Cementación en fase sólida o en caja
2. Cementación en fase líquida o en baño de sales
3. Cementación en fase gaseosa
4. Carbonitruración

3.2.4.2. Cementación en caja

Las piezas se colocan rodeadas de un material granular capaz de ceder carbono, en el interior de cajas apropiadas cerradas.

El mecanismo de penetración se realiza transformando el carbono (sólido) en óxido de carbono (gas). Este penetra en la capa exterior del material y reacciona con el hierro. El carbono se difunde gradualmente hacia el interior.

La caja se coloca en el horno a 500° C y es calentada gradualmente hasta alcanzar la temperatura de cementación prevista. La cementación comienza cuando las piezas han llegado a la temperatura deseada. La velocidad con la que se difunde el carbono hacia el interior depende de la mezcla cementante y la temperatura. La velocidad de penetración suele ser aproximadamente una o tres décimas de mm. por cada hora. La velocidad de penetración no se suele mantener cte., decrece a medida que se prolonga el tratamiento.

La profundidad de cementación normalmente suele ser de 1mm. y es conveniente considerar el sobre espesor de rectificado. A veces suele interesar, no cementar algunas zonas de las piezas. Para ello, a las partes que no queramos cementar se les suele dar un revestimiento.

Acabada la operación de cementación puede dejarse enfriar al aire o templarse directamente. Es conveniente, en el caso de cementaciones muy largas, eliminar el excesivo tamaño de grano cristalino. Para ello se deben enfriar lentamente al aire. (Normalización). Posteriormente se dará el revenido

3.2.4.3. Cementación en baño de sales fundidas

Las piezas se suelen colocar en cestillas o colgadas de ganchos, se introducen en un baño de sales fundidas. La temperatura suele rondar entre 900 y 930°C. Los baños de sales suelen estar constituidos por una sal de base (cloruro o carbonato de sodio) con adición de una sal capaz de suministrar carbono (cianuro de sodio o de potasio) y de una sal activante, (cloruro de bario). Al haber nitrógeno en los cianuros, se forman nitruros.

Ventajas:

- Eliminación del precalentamiento, necesario en el método de las cajas.
- Mayor velocidad de penetración, aunque se produce cambio brusco de dureza entre la capa externa y el núcleo.

- Posibilidad de templar directamente a la salida del baño (moderado aumento del tamaño de grano).
- Mayor limpieza, por ausencia de polvo.

Desventajas:

La desventaja notable de este proceso, se encuentra en la toxicidad de los baños usados, por la presencia del cianuro.

3.2.4.4. Cementación gaseosa

Las piezas previamente desengrasadas se introducen en hornos especiales en cestillas. La temperatura de los hornos suele ser aproximadamente 900 y 920°C. En la primera fase en el horno circulan mezclas gaseosas, capaces de ceder carbono (pe. CO₂). En la segunda, en la difusión fluye un gas muy diluido, obteniéndose la difusión del carbono retenido en la superficie hacia el interior.

El porcentaje óptimo de carbono en la capa exterior es de 0.86% C, con disminución gradual hacia el interior. La velocidad de cementación 1mm. en 3 horas.

Ventajas respecto a la cementación en caja:

- Rapidez del proceso
- Posibilidad de controlar el porcentaje de carbono
- Menor coste
- Más higiénica

3.2.4.5. Carbonitruración

El tratamiento está basado en la acción del carbono y del nitrógeno en la superficie del acero. Una vez finalizado el proceso, las piezas son templadas adecuadamente, obteniéndose una gran dureza superficial en la capa superficial y una buena tenacidad en el núcleo.

Generalmente para este tratamiento térmico se emplea un horno de cementación gaseosa, donde es inyectada una corriente de gas amoniacal, el cual cede nitrógeno que, juntamente con el carbono es absorbido por el acero.

La carbonitruración reduce la velocidad crítica de enfriamiento del acero, alcanzando un mayor grado de dureza una pieza carbonitrurada y templada que cementada y templada, aun para un mismo tipo de material.

En la actualidad, y particularmente en la industria de la automoción, se están supliendo aceros aleados por aceros más sencillos dadas las grandes ventajas técnicas

que ofrece la carbonitruración (elevadas durezas, regularidades de temple, menos deformaciones).

En los procesos de carbonitruración se puede obtener capas entre 0.1-0.6mm., siendo las durezas en la periferia del orden de los 60-66 HRC.

Otra de las ventajas que ofrece la carbonitruración es la de que los aceros sometidos a este tratamiento admiten temperaturas más elevadas de revenido que las admitidas en los procesos normales de cementación, para un mismo grado de dureza. La temperatura elevada de revenido siempre es favorable, puesto que aumenta el punto de relajación tensional de la pieza tratada. Igualmente es aumentada la resistencia al ablandamiento por efectos del calor.

3.2.4.6. Tratamiento térmico de las piezas cementadas

Un primer método consiste en enfriar estas lentamente, después calentarlas hasta 800 a 820°C y templarlas en agua o en aceite. Por último se efectúa un revenido para la regeneración del grano, para ello calentando la pieza a 180°C y enfriando al aire. Las piezas tratadas no presentan deformaciones apreciables.

Un segundo método consiste en realizar un doble temple. Apenas acabada la cementación, son sometidas a un primer temple en aceite, después se calientan hasta 800 a 820°C y después se templan de nuevo en aceite o agua. El primero sirve para el afinado del grano y el segundo para mejorar las características mecánicas. Por último se da un revenido de 180°C, para reducir las tensiones internas

3.2.4.7. Nitruración y nitrocarburation

3.2.4.7.1. Nitruración

Es un proceso para endurecimiento superficial que consiste en penetrar el hidrogeno en la capa superficial. La dureza y la gran resistencia al desgaste proceden de la formación de los nitruros que forman el nitrógeno y los elementos presentes en los aceros sometido a tratamiento.

El Carbono aumenta la dureza de la capa nitrurada y reduce el espesor total de la nitruración. El Si estabiliza los nitruros y aumenta la dureza de la capa nitrurada.

El Nitrato en pequeños porcentajes aumenta la dureza de la capa nitrurada, pero con porcentajes elevados dificulta el espesor y favorece la fragilidad por lo que los aceros donde el tanto por ciento de Ni sobrepasa el 0,5% son rechazados. El Cr con el 1%, aumenta la dureza de la capa nitrurada y estabiliza los nitruros.

El Aluminio es muy importante en el acero cuando se desee obtener la máxima dureza. Los porcentajes de Al en los aceros de nitruración suelen ser del orden de 0,5 al 1,5%. El Molibdeno en débiles porcentajes, elimina la fragilidad del material y remedia

el efecto nefasto del Nitrato desde este punto de vista. El Ti aumenta proporcionalmente con su porcentaje la dureza de la capa nitrurada.

Los aceros recocidos con estructura perlita+ferrita nitrurados son muy frágiles, dado que los nitruros se colocan en la ferrita. El resultado es que la capa nitrurada es frágil, sin presentar la dureza deseada. Para evitar esto se suele someter el material a temple seguido de un revenido a temperatura superior a la de la nitruración.

Este tratamiento deberá efectuarse antes de que las piezas estén totalmente mecanizadas a medida, con la finalidad de retirar la capa superficial donde el material puede ser descarburado o oxidado durante la bonificación. Normalmente se suele dejar un excedente de material de 2 a 3 milímetros (mm). Después del bonificado se mecanizan las piezas a una medida próxima a las cotas definitivas. Se puede realizar un segundo revenido para eliminar las tensiones del mecanizado.

Una vez de haber terminado de mecanizar a medida, desengrasar y proteger las partes donde no se desee la nitruración se procede a nitrurar la pieza. En la nitruración el material sufre un ligero aumento de volumen que debe tenerse en cuenta durante el mecanizado de piezas de gran precisión.

Las piezas preparadas son colocadas en la cuba de nitruración y convenientemente separadas mediante rejillas. El tipo de horno que mas regularidad da en toda la carga es de tipo vertical, provisto de una turbina, la cual favorece la circulación del gas por todas las partes de la carga. Una vez cerrado bien se conecta el horno y se da paso al gas NH_3 . Cuando la temperatura alcanza los 400°C esta es mantenida hasta evacuar completamente el aire del interior de la carga. Al elevarse la temperatura hasta $480-510^\circ\text{C}$ el gas amoniacal empieza a descomponerse ($\text{NH}_3=3\text{H}+\text{N}$).

El nitrógeno naciente nitrura el acero. Terminada la operación de nitrurar se corta la corriente eléctrica manteniendo el paso del amoniaco para evitar la oxidación hasta que la temperatura alcance 100°C . Finalmente se inyecta aire para evacuar el NH_3 y se descarga.

La velocidad de penetración es de una décima de mm por cada 11 horas de tratamiento. La duración suele ser muy larga (10 a 100 horas) y los espesores que se obtienen suelen ser menores de 1 mm. La dureza superficial que se obtiene (72 HRc) es mayor al obtenido en la cementación (65 HRc).

Ventajas de las piezas nitruradas:

- La capa nitrurada es relativamente inoxidable.
- Las deformaciones son débiles.
- La dureza persiste aun después de someterse a calentamientos de 520°C , cosa que no ocurre en las capas cementadas.

- La resistencia a la fatiga por corrosión del agua, el aire y el vapor es muy elevada.
- Se pueden realizar frotamientos directos de la capa nitrurada.
- La resistencia al desgaste y a la fatiga son muy buenas.

La desventaja que tiene este proceso es su coste, debido al mayor precio de los aceros empleados, la larga duración del tratamiento y el coste de las instalaciones.

3.2.4.7.2. Nitrocarburation

Se realiza la nitruración en baños de sales con contenidos de cianuros que ceden al acero, carbono y nitrógeno. Estas sales a distintas temperaturas adquieren diferentes propiedades. Cuando la temperatura de un baño con elevado contenido de cianuro alcanza los 760° C el efecto nitrurante disminuye, dando, por el contrario una mayor actividad al efecto cementante. Por el contrario, a medida que esta temperatura decrece la carburación disminuye, dando paso totalmente al nitrógeno al llegar a los 600° C. Puede mejorarse el rendimiento mecánico de las piezas sometidos después de temple a un corto periodo de nitruración en sales. El tiempo de permanencia en el baño nitrurante suele ser de unos pocos minutos que puede elevarse hasta 40 minutos en piezas de mayor sección. Las piezas serán retiradas del baño dejando que se enfríen al aire, nunca deberán acabarse de enfriar en aceite o en agua.

Un revenido posterior mejora las condiciones mecánicas del material nitrurado. La temperatura del revenido puede estipularse en los 500° C, con un tiempo de una hora aproximadamente. Igual al proceso de nitruración las piezas deberán ser enfriadas al aire. Este tratamiento antidesgaste es utilizado a menudo en engranajes. La capa superficial obtenida de unos 20 µm, evita el gripaje y la oxidación. Con este tratamiento podemos lograr una superficie dura (hasta 70 HRc) conservando la tenacidad del núcleo. Las deformaciones producidas durante el tratamiento son menores que las producidas en otros tratamientos como el temple debido a su menor temperatura.

3.2.4.8. Temple superficial por soplete o por inducción

En estos dos métodos de temple superficial el acero debe de contener un porcentaje de carbono que permita alcanzar después del temple la dureza superficial que se desea. El porcentaje de carbono oscila entre el 0.4 y el 0.5.

3.2.4.9. Temple por soplete

La llama la podemos obtener por la combustión de tres elementos diferentes:

- I) Oxígeno – acetileno.
- II) Oxígeno propano.
- III) Oxígeno - gas de ciudad.

Entre las diferencias entre estos tres métodos de calentamiento podemos citar que la llama de un soplete a oxiacetileno calienta más rápidamente que una llama de oxipropano o de gas ciudad. El oxígeno gas ciudad se emplea a la hora de calentar más profundamente para conseguir una mayor penetración del temple, ya que al ser su temperatura más baja el riesgo de un sobrecalentamiento superficial del material es reducido.

La penetración del calor en la profundidad deseada se produce por simple conducción térmica. Se exige que la llama propague la menor cantidad posible de calorías hacia el centro de la pieza a tratar; es decir, localizar al máximo el calentamiento en la superficie.

La zona calentada es enfriada rápidamente a medida que avanza la llama del soplete, mediante un chorro de agua que se encuentra en la proximidad de los dardos, permitiendo que el enfriamiento sea casi instantáneo.

Con el temple superficial se logran mejores durezas y profundidades de temple en piezas de grandes espesores que si éstas son sometidas a temple corriente, motivado por el calentamiento localizado y por su enérgico enfriamiento.

3.2.4.10. Temple por inducción

En el tratamiento por inducción el calentamiento es limitado a la zona a tratar y es producido por corrientes alternativas inducidas.

Cuando se coloca un cuerpo conductor dentro del campo de una bobina o de un solenoide con corrientes de media o alta frecuencia, el cuerpo es envuelto por una corriente inducida, la cual produce el calentamiento. Para ello se emplea inductores que tienen la forma apropiada de la dentadura que queremos tratar.

La ausencia de todo contacto entre el inductor y la pieza sometida a calentamiento permite la obtención de concentraciones del orden de los 25.000 Wats por cm^2 , mientras que en el método por soplete solo se llega a alcanzar 1500 Wats/ cm^2 . La velocidad de calentamiento es casi unas 15 veces más rápida que por soplete.

Para templar una pieza por inducción será necesario que tenga un espesor por lo menos unas diez veces superior al espesor que se desea templar.

El éxito de un buen temple reside en acertar con la frecuencia de corriente de calentamiento, para que ésta produzca una concentración suficiente de corriente inducida en la zona a templar.

El sistema que se emplea en el calentamiento es en dos ciclos. 10,000 ciclos para el calentamiento de la base de los dientes y 375,000 para el calentamiento de la periferia. Después de efectuados los dos calentamientos el engrane es sumergido en agua o aceite en función del tipo de acero que sea.

3.2.4.11. Sur-sulf

Sur-sulf es un tratamiento de nitruración en baño de sales, no contaminante activado con azufre, que se efectúa a temperatura de 565 +/-5 PC.

Gracias al elevado poder nitrurante del baño, la utilización de sur-sulf permite resolver con gran eficacia los problemas de desgaste, de fatiga, de gripaje y de corrosión que a menudo presentan ciertas piezas mecánicas fabricadas de acero o fundición, y gracias a su alto potencial nitrurante también se alcanzan elevadas durezas en tiempos muy cortos con sensibles ventajas, tanto técnicas como económicas, respecto a otros procesos.

La originalidad del procedimiento radica en su composición, basada en sales de litio y productos azufrados, además de los elementos cianatos y carbonatos.

A su vez, la introducción en el baño, en muy pequeñas cantidades, aparejada a una concomitante insuflación de aire en todo el volumen de sal, permite conseguir en el baño un perfecto equilibrio de los productos azufrados, tales como S o "azufre activo", que influye directamente en la morfología y el espesor de las capas de los compuestos y a su vez en la cantidad de productos azufrados presentes en las porosidades superficiales de tales capas de compuestos, o como "productos azufrados oxidados", cuya presencia, particularmente la de los sulfitos (SO), permite la oxidación constante de los pequeños indicios de cianuro.

Según sea el contenido de azufre en el baño, el tratamiento sur-sulf podrá ser adaptado a voluntad para resolver, bien sea problemas de desgaste y de fatiga o de gripaje. Además este azufre activo actúa como catalizador de difusión del nitrógeno, lo que permite alcanzar en tiempos muy cortos el límite de saturación del material tratado.

Respecto al aspecto metalúrgico de las piezas tratadas, para contenidos constantes de azufre activo, cuanto más aumenta el contenido en carbono y el porcentaje de elementos de aleación del substrato, más compactas y duras serán las capas de compuestos; por el contrario, el espesor medio disminuirá. Además con la presencia de azufre activo en el baño sur-sulf, se logra, para la misma duración de tratamiento una mayor concentración de nitrógeno en la sub-capa y superior penetración total de nitrógeno, que en un baño desprovisto de azufre.

El proceso origina un ligero aumento de medida de las piezas independiente de su forma y de su colocación en el curso del tratamiento; este aumento es variable según la naturaleza de la pieza tratada. Además, tal y como ocurre en todos los tratamientos en baño de sales de su categoría, el sur-sulf tiende a aumentar la rugosidad superficial de las piezas tratadas.

Las piezas tratadas con sur-sulf pueden ser completadas con un baño constituido por hidróxidos alcalinos, nitratos, carbonatos y álcalis fuertemente oxidantes, denominado oxynit. Este baño opera a temperatura de 350-450°C, y en él, los

compuestos sulfurosos, el hierro residual y una parte de los nitruros formados en el baño sur-sulf, se transforman en "óxidos de hierro negros" (Fe O), que manteniendo las propiedades anti desgaste, anti gripaje y antifatiga, confiere a las piezas una mayor resistencia a la corrosión.

El Sulf BT es un procedimiento de sulfurización superficial realizado mediante electrólisis en baño de sales fundidas, a base de tiocionatos alcalinos que, por su baja temperatura, 195° C, permite ser aplicado a piezas de acero o fundición con elevadas características mecánicas (temperatura de revenido inferiores a 200°C), mejorando sus propiedades a la fricción y en particular su resistencia al gripaje y adherencia, sin riesgo de pérdida de dureza ni deformación.

El Sulf BT se aplica en aceros previamente sometidos a tratamiento térmico. La baja temperatura del tratamiento permite realizar este tratamiento anti desgaste en piezas templadas a corazón o bien superficialmente por inducción, en piezas cementadas y templadas sin afectar sensiblemente a las durezas. En determinados casos se puede utilizar en las fundiciones.

Las piezas pueden ser tratadas después de un desengrase seguido de un acabado, o después de un arenado. Las piezas así preparadas se sumergen en el baño durante un tiempo máximo de 15 a 20 minutos, siendo sometidas a electrólisis.

El Sulf BT crea en la superficie de las piezas una micro-capa con espesor entre 7 y 8 μm constituida esencialmente por sulfuros de hierro, con penetración total en el cuerpo de las piezas. El tratamiento Sulf BT ocasiona una pérdida de cota de 6 a 10 μm al diámetro, lo que debe de tenerse siempre en cuenta al mecanizar piezas de gran precisión. La rugosidad de las piezas tratadas depende directamente de los parámetros de la electrólisis. En términos generales el Sulf BT tiende a disminuir la rugosidad inicial si esta última es mayor a 1 μm y a aumentarla si es menor. Después de tratadas en Sulf BT, las piezas presentan color negro, muy mate.

Gracias a la micro-capa inhibidora de soldadura, compuesta por sulfuro de hierro, el Sulf BT elimina los riesgos de gripado durante la fricción en seco o cuando la lubricación de las piezas es aleatoria, al reducir sensiblemente el coeficiente de fricción. El Sulf BT mejora las condiciones de acomodación de las superficies y las condiciones de rodadura. Los sulfuros de hierro carecen de características mecánicas (material muy blando) permitiendo una buena acomodación por deformación plástica y fluencia de las asperezas en contacto, lo que asegura una mejor presión específica. Por este motivo, el Sulf BT retarda los límites de aparición de pitting, facilitando el rodaje, y disminuyendo además considerablemente el coeficiente de fricción desde el inicio de puesta en funcionamiento.

Los rendimientos de las piezas destinadas a funcionar sin lubricación aumentarán en gran escala si estas son tratadas en Sulf BT. Confiere al material una buena resistencia a la oxidación.

3.2.4.12. Niquelado químico

Una posibilidad que hemos barajado para solucionar los problemas que aparecen en los engranajes ha sido el níquel químico. Los depósitos de níquel le confieren a la pieza tratada una buena resistencia a la corrosión, una gran resistencia a la fricción y una gran dureza con ayuda de unos precipitados concretos.

Con el niquelado químico conseguimos que las capas sean uniformes, siempre y cuando todas las partes de la pieza estén en contacto con la solución y la composición de esta se mantenga constante, y el espesor de esta capa varía según el tiempo de tratamiento y la composición.

Las piezas antes de ser tratadas deben de pasar por otras fases como pueden ser el decapado, ataque..., para garantizar su adhesión, y otra cosa a tener en cuenta es que el niquelado químico reproduce en la superficie la rugosidad de la pieza tratada.

3.2.5. Tratamientos termoquímicos del acero

En el caso de los tratamientos térmicos, no solo se producen cambios en la estructura del Acero, sino también en su composición química, añadiendo diferentes productos químicos durante el proceso del tratamiento. Estos tratamientos tienen efecto solo superficial en las piezas tratadas.

- **Cementación:** mediante este tratamiento se producen cambios, en la composición química del acero. Se consigue teniendo en cuenta el medio o atmósfera que envuelve el metal durante el calentamiento y enfriamiento. Lo que se busca es aumentar el contenido de carbono de la zona periférica, obteniéndose después, por medio de temple y revenidos, una gran dureza superficial, resistencia al desgaste y buena tenacidad en el núcleo.
- **Nitruración:** Este tratamiento Termoquímico busca endurecer superficialmente un acero con nitrógeno, calentándolo a temperaturas comprendidas entre 400-525°C, dentro de una corriente de gas amoníaco, más nitrógeno.

El tratamiento térmico es la operación de calentamiento y enfriamiento de un metal en su estado sólido para cambiar sus propiedades físicas. Con el tratamiento térmico adecuado se pueden reducir los esfuerzos internos, el tamaño del grano, incrementar la tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil.

Para conocer a que temperatura debe elevarse el metal para que se reciba un tratamiento térmico es recomendable contar con los diagramas de cambio de fases como el de hierro - hierro - carbono. En este tipo de diagramas se especifican las temperaturas en las que suceden los cambios de fase (cambios de estructura cristalina), dependiendo de los materiales diluidos.

Los tratamientos térmicos han adquirido gran importancia en la industria en general, ya que con las constantes innovaciones se van requiriendo metales con mayores resistencias tanto al desgaste como a la tensión

El proceso de endurecimiento del acero consiste en el calentamiento del metal de manera uniforme a la temperatura y luego enfriarlo con agua, aceite, aire o en una cámara refrigerada. El endurecimiento produce una estructura granular fina que aumenta la resistencia a la tracción (tensión) y disminuye la ductilidad.

El acero al carbono para herramientas se puede endurecer al calentarse hasta su temperatura crítica, la cual se adquiere aproximadamente entre los **1,450 FE y 1,525 FE (790 a 830 PC)** lo cual se identifica cuando el metal adquiere el color rojo cereza brillante.

Cuando se calienta el acero la perlita se combina con la ferrita, lo que produce una estructura de grano fino llamada austenita. Cuando se enfría la austenita de manera brusca con agua, aceite o aire, se transforma en martensita, material que es muy duro y frágil.

Después que se ha endurecido el acero es muy quebradizo o frágil lo que impide su manejo pues se rompe con el mínimo golpe debido a la tensión interior generada por el proceso de endurecimiento. Para contrarrestar la fragilidad se recomienda el temple del acero (en algunos textos a este proceso se le llama revenido y al endurecido temple).

Este proceso hace más tenaz y menos quebradizo el acero aunque pierde algo de dureza. El proceso consiste en limpiar la pieza con un abrasivo para luego calentarla hasta la temperatura adecuada (ver tabla), para después enfriarla con rapidez en el mismo medio que se utilizó para endurecerla.

Cuando se tiene que maquinar a un acero endurecido, por lo regular hay que recocerlo o ablandarlo. El recocido es un proceso para reducir los esfuerzos internos y ablandar el acero. El proceso consiste en calentar al acero por arriba de su temperatura crítica y dejarlo enfriar con lentitud en el horno cerrado o envuelto en ceniza, cal, asbesto o vermiculita.

Consiste en el endurecimiento de la superficie externa del acero al bajo carbono, quedando el núcleo blando y dúctil. Como el carbono es el que genera la dureza en los aceros en el método de cementado se tiene la posibilidad de aumentar la cantidad de carbono en los aceros de bajo contenido de carbono antes de ser endurecido. El carbono se agrega al calentar al acero a su temperatura crítica mientras se encuentra en contacto con un material carbonoso.

Los tres métodos de cementación más comunes son: empacado para carburación, baño líquido y gas. Este procedimiento consiste en meter al material de

acero con bajo contenido carbónico en una caja cerrada con material carbonizado y calentarlo hasta 1,650 o 1,700 FE (900 a 927 PC) durante 4 a 6 horas. En este tiempo el carbón que se encuentra en la caja penetra a la superficie de la pieza a endurecer. Entre más tiempo se deje a la pieza en la caja con carbón de mayor profundidad será la capa dura. Una vez caliente la pieza a endurecer a la temperatura adecuada se enfría rápidamente en agua o salmuera.

Para evitar deformaciones y disminuir la tensión superficial se recomienda dejar enfriar la pieza en la caja para posteriormente sacarla y volverla a calentar entre 1,400 y 1,500 FE (rojo cereza) y proceder al enfriamiento por inmersión. La capa endurecida más utilizada tiene un espesor de 0.38 mm, sin embargo se pueden tener espesores de hasta 4 mm.

El acero a cementar se sumerge en un baño de cianuro de sodio líquido. También se puede utilizar cianuro de potasio pero sus vapores son muy peligrosos. Se mantiene la temperatura a 1500 FE (845 PC) durante 15 minutos a 1 hora, según la profundidad que se requiera. A esta temperatura el acero absorberá el carbono y el nitrógeno del cianuro.

Después se debe enfriar con rapidez al acero en agua o salmuera. Con este procedimiento se logran capas con espesores de 0.75 mm. En este procedimiento se utilizan gases carburizantes para la cementación. La pieza de acero con bajo contenido carbónico se coloca en un tambor al que se introduce gas para carburizar como derivados de los hidrocarburos o gas natural.

El procedimiento consiste en mantener al horno, el gas y la pieza entre 1650 y 1750 FE (900 y 927 PC). Después de un tiempo predeterminado se corta el gas carburizante y se deja enfriar el horno. Luego se saca la pieza y se recalienta a 1400 FE (760 PC) y se enfría con rapidez en agua o salmuera. Con este procedimiento se logran piezas cuya capa dura tiene un espesor hasta de 6 mm, pero por lo regular no exceden de 0.7 mm. carburado, cianurado y nitrurado

CAPÍTULO 4. LAS MÁQUINAS HERRAMIENTA

4.1. Introducción

El maquinado es uno de los 4 métodos principales para manejar metales; los otros son el conformado en frío, el conformado en caliente y la fundición

El maquinado se utiliza cuando se necesita una superficie tersa y precisa. Al metal se le da forma y dimensión mediante el corte de virutas ya sea con herramienta de corte o abrasivo. Durante el proceso de maquinado el metal es torneado, cepillado, fresado y rectificado, arrancando las virutas con máquinas herramienta.

Henry Ward Beecher dijo: "la herramienta es solo una prolongación de la mano del hombre y la máquina es solo una herramienta mas complicada"



Figura.4.1. Henry Ward Beecher

Desde que el hombre recogió por primera vez una piedra para usarla como martillo, su progreso a estado condicionado por la clase de herramientas que necesita. Sin las máquinas no podría existir la civilización ni el hombre moderno por tanto la población del mundo no podría alimentarse ni vestirse por si mismo.

El torno se considera la máquina herramienta madre porque además de que en ella se puede ejecutar las operaciones que se realizan en otras maquinas, de esta se tomo la base para diseñar el taladro, cepillo o limadora, fresadora, rectificadora y otras por lo que partiremos de esta para reseñar sus orígenes, el antecesor más antiguo del

torno es la rueda de alfarero que se empleaba aproximadamente 4,000 años antes de nuestra era, el primer torno se hacia funcionar con una cuerda y un pedal como se observa en la figura 4.2.

En el siglo XV, la cuerda de acondicionamiento iba fijada a un listón elástico sujeto al techo; la mayoría de las mejoras primitivas que se diseñaron para ser introducidas en el torno se hicieron para sujetar y accionar las piezas, los relojeros franceses idearon un torno para tallar roscas pero su disposición lo limitaba al tallado de roscas del mismo paso.



Figura 4.2. El primer torno manipulado por un pedal

El creador del torno moderno fue Henry Maudsley (mecánico ingles) quien inventó primero el carro deslizante y combino después el carro móvil con un tornillo de avance por medio de engranes; esta combinación le permitió el tallado de roscas de 16 a 1,000 hilos por pulgada a principios del siglo XIX, convirtiendo el torno en la máquina mas importante de la revolución industrial.

A partir de entonces el torno a sido mejorado y perfeccionado dando mejores acabados así como mas precisión en las tareas realizadas.

4.1.1. Clasificación de las máquinas-herramienta

Las máquinas-herramienta pueden construirse en una gran variedad de tipos, básicamente podemos clasificarlas en tres categorías siendo las dos primeras las mas importantes:

- La de tipo cortante, que da forma y contorno al metal recortando las porciones indeseables con una herramienta de corte como el torno, fresadora, rectificadora, cepillo y taladradora

- Esta segunda, es un conjunto de tipos de máquinas todas ellas de origen reciente, controlando las características y la fuerza de sustancias químicas de la electricidad, del magnetismo, de la luz, de los líquidos y el sonido, principalmente; es posible transformar materiales que con frecuencia rebasan la capacidad del equipo convencional.

En este último grupo se integran las que dan forma al material por cizallado (como unas tijeras de papel) martillándolo u oprimiéndolo (forjado en frío o caliente) hasta obtener la forma deseada.

4.1.2. Características de las máquinas –herramienta

La particularidad de las máquinas herramienta es el procesamiento del material para darle forma y dimensión deseada mediante el arranque de viruta y la precisión con que se realiza, la operación empleando la herramienta de corte que esta fijada a la máquina

El arranque de viruta se realiza aprovechando una serie de movimientos combinados por lo que pueden estar animadas las herramientas, la pieza o ambas simultáneamente. A continuación se indican los diferentes movimientos.

- Movimiento de corte: es el principal mediante el cual, se ejerce una acción de corte por medio de una herramienta sobre la superficie de la pieza.
- Movimiento de avance: en este movimiento se pone bajo la acción de la herramienta nuevo material a separar.
- El movimiento de penetración: en este se acerca la herramienta al material y regula la profundidad de corte (penetración).

Las características de las maquinas-herramienta se basan en el movimiento de corte que puede ser rectilíneo o circular (rotatorio).



Figura 4.3. Engrane maquinado

4.2. Fabricación de engranajes

Pueden obtenerse por moldeo o por talla de muy variadas materias: aceros especiales, hierro colado, bronce, latón, aleaciones de aluminio, nailon, madera e incluso tejidos y papeles baquelizados bajo presión (figura 4.4).

Los que se obtienen vaciando metal en moldes apropiados son menos costosos pero, al carecer de precisión, requieren ser montados con mucho juego y son por ende, ruidosos. Sólo convienen para maquinaria agrícola, grúas y otros mecanismos en los que funcionan a velocidades moderadas.

La talla de las ruedas dentadas se efectúa con máquinas especiales y a veces son simples fresadoras de cabezal divisor. Con la fresadora, los mejores resultados se obtienen, no ya con la fresa de perfil constante, sino con otra en forma de tornillo sin fin poliroscado y varias veces interrumpido para formar otros tantos filos cortantes. Esa *fresa de rodadura* gira sobre su eje horizontal y sus dientes atacan al contradentado de la rueda a labrar que gira sobre un eje vertical.

En *la talla por generación* el útil consiste en un peine cuyos dientes cortantes labran la pieza merced a un movimiento alternativo de traslación paralelo al eje de la pieza. Como ésta gira al mismo tiempo, el movimiento relativo de la herramienta y el de la rueda que se labra es semejante al de un engranaje de piñón y cremallera.

En otros casos el útil actúa como mortajadora, y sus dientes cortantes van ahondando más y más las entredientes de la pieza a medida que el eje de ésta y el de la herramienta se van acercando.



Figura 4.4. Vaciado en planta metalúrgica

Los dientes, con perfecta que haya sido su talla, nunca están exentos de estrías, asperezas y deformaciones. Por lo demás, aunque fueran perfectos, sufrirían deformaciones al ser templados. Es imprescindible someterlos a las alteraciones de operaciones de rectificación.

Los procedimientos corrientemente aplicados con dicho fin son: el esmerilado con muelas especiales, muy finas, a las cuales, tallándolas con diamantes, se ha conferido el perfil exacto del entrediente; el lapeado, que es un esmerilado con un abrasivo tan finísimo que se llegan a respetar tolerancias del orden de la milésima de milímetro; el bruñido, consistente en montar la ruedas y piñones en su posición de trabajo hasta que se consume el desgaste de sus asperezas. Los engranajes perfectamente tallados y rectificadas no disipan por fricción más del 1% o a lo mucho, 2% de la energía mecánica transmitida.

4.2.1. Las máquinas utilizadas comúnmente para la fabricación de engranes

4.2.1.1. Torno

El torno, la máquina giratoria más común y más antigua, sujeta una pieza de metal o de madera y la hace girar mientras un útil de corte da forma al objeto. El útil puede moverse paralela o perpendicularmente a la dirección de giro, para obtener piezas con partes cilíndricas o cónicas, o para cortar acanaladuras. Empleando útiles especiales un torno puede utilizarse también para obtener superficies lisas, como las producidas por una fresadora, o para taladrar orificios en la pieza.

Esta máquina es una de las máquinas herramientas más antiguas e importantes, ya que una de sus principales funciones es dar diversas formas y dimensiones a un tejo de algún material, realizándolo por medio de diferentes operaciones como taladrados, moleteados, pulidos, roscados, conicidad.

Pero estas máquinas herramienta fueron evolucionado ya que los primeros tornos se utilizaban en la edad media y solo se usaban para la madera, este tipo de torno generalmente eran impulsados mediante un pedal que actuaba como palanca y al ser accionado movía un mecanismo que hacía girar el torno.

En el siglo XVI, los tornos ya se propulsaban de forma continua mediante manivelas o energía hidráulica, y estaban dotados de un soporte para la herramienta de corte que permitía un torneado más preciso de la pieza y por lo tanto obtener acabados mejorados.

Al comenzar la Revolución Industrial en Inglaterra, durante el siglo XVII, se desarrollaron tornos capaces de dar forma a una pieza metálica. El desarrollo del torno pesado industrial para metales en el siglo XVIII, hizo posible la producción en serie de piezas de precisión.

En la década de 1780, el inventor francés Jacques de Vaucanson construyó un torno industrial con un portaherramientas deslizante que se hacía avanzar mediante un tornillo manual. Hacia 1797, el inventor británico Henry Maudslay y el inventor estadounidense David Wilkinson mejoraron este torno conectando el porta herramientas deslizante con el husillo, que es la parte del torno que hace girar la pieza trabajadora

(figura 4.5). Esta mejora permitió hacer avanzar la herramienta de corte a una velocidad constante.



Figura 4.5. Toreta porta-herramientas

En 1820, el mecánico estadounidense Thomas Blanchard inventó un torno en el que una rueda palpadora seguía el contorno de un patrón para una caja de fusil y guiaba a la herramienta cortante para torneare una caja idéntica al patrón. El torno revolver, desarrollado durante la década de 1840, incorpora un portaherramientas giratorio que soporta varias herramientas con solo girar el portaherramientas y fijarlo en posición deseada. Hacia finales del siglo XIX se desarrollaron tornos de revolver automáticos para cambiar las herramientas de forma automática. Los tornos pueden programarse para controlarse la secuencia de operaciones, la velocidad del giro del usillo, la profundidad y dimensiones del corte y el tipo de herramienta ver figura 4.6.

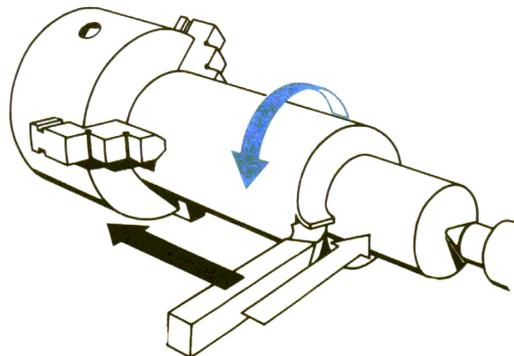


Figura.4.6. Sentido de giro y avance para desbaste de engrane a diferentes diámetros

Todos los tornos desprenden viruta de piezas que giran sobre su eje de rotación, por lo que su trabajo se distinguirá por que la superficie generada será circular, teniendo como centro su eje de rotación.

En el torno de manera regular se pueden realizar trabajos de desbastado o acabado de las siguientes superficies:

- Cilíndricas (exteriores e interiores)
- Cónicas (exteriores e interiores)
- Curvas o semiesféricas
- Irregulares (pero de acuerdo a un centro de rotación)
- Se pueden realizar trabajos especiales como:
- Tallado de roscas
- Realización de barrenos
- Realización de escariado
- Moletiado de superficies
- Corte o tronzado

Seguidamente se describen las partes que integran a un moderno torno:



Figura 4.7. Torno paralelo moderno

- **CABEZAL:** Cavidad fijada al extremo de la bancada por medio de tornillos o bridas o formando parte de la misma. En ella va alojado el eje principal. En su interior van alojados los diferentes mecanismos de velocidad avances roscados...etc. por medio de los mandos adecuados desde el exterior. Los sistemas mas utilizados son los engranajes.

- **INVERSOR:** Se utiliza cuando estas trabajando y quieres hacer una función de avance automático o roscado y quieres seleccionar el sentido de dicho trabajo, tanto si es transversalmente como longitudinalmente. Con lo cual en transversalmente será para delante o detrás y longitudinalmente hacia la izquierda o la derecha.
- **CAJA DE AVANCES:** El mecanismo de avance hace posible el avance automático y regula su magnitud. Como el cambio de ruedas en la lira resulta una operación lenta y engorrosa, la mayoría de tornos tiene en la parte anterior una bancada, una caja de cambios, mas o menos compleja, para obtener diversas velocidades a su salida, sin cambiar las ruedas de recambio. Uno de los mecanismos que mas utilizamos es el método Norton
- **BANCADA:** Zócalo de fundición soportado por 1 o mas pies que sirve de apoyo y guía que sirve de las demás partes del torno. Normalmente es: fundición gris perlifica dura y frágil capaz de soportar las fuerzas que se originan durante el trabajo sin experimentar deformaciones apreciables que pudieran falsear la medidas de las piezas mecanizadas.
- **EJE DE ROSCAR:** Su finalidad es accionar el avance longitudinal automático del carro, únicamente en el caso de tallado de roscas y cuando se trata de otro tipo de trabajos (por ejemplo, la construcción de muelles) que requieran un avance exacto)
- **EJE DE CILINDRAR:** Tiene por objeto transmitir el movimiento desde la caja de avances al carro para efectuar las operaciones de cilindrado y refrenado. El avance de cilindrado es siempre menor que el del roscado, pero van relacionados entre si.
- **TABLERO DE CARRO:** Consta de dos partes, una de las cuales se desliza sobre las guías de la bancada y la otra, llamada delantal, está atornillada a la primera y se desliza por la parte anterior de la bancada. Unas protecciones provistas de hendiduras, en los extremos anterior y posterior del carro, que sirven de alojamiento a unos filtros, tienen por finalidad que penetren las virutas y suciedad entre la superficie de desplazamiento y las guías.
- **CONTRACABEZAL Y CONTRAPUNTO:** El contracabezal con el cabezal fijo es el segundo soporte de la pieza cuando se trabaja entre puntos. Se desliza sobre la bancada; el eje de simetría del manguito o caña debe estar rigurosamente a la misma altura que el eje del cabezal y en línea con el. Se utiliza también para soportar útiles tales como porta brocas...etc. otras funciones son: taladrar, escariar, roscar,...

- **EJE DEL CONTRACABEZAL:** Puede moverse transversalmente sobre la primera mediante 1 o 2 tornillos puede fijarse en cualquier punto mediante una tuerca. Tiene un agujero en el interior donde permite el bloqueo de la caña, cuyo final acaba en cono morse para alojar el punto.
- **CARRO PRINCIPAL:** Consta de dos partes, una de las cuales se desliza sobre las guías de la bancada y la otra, llamada delantal, está atornillada a la primera y se desliza por la parte anterior de la bancada. Unas protecciones provistas de hendiduras, en los extremos anterior y posterior del carro, que sirven de alojamiento a unos filtros, tienen por finalidad que penetren las virutas y suciedad entre la superficie de desplazamiento y las guías.
- **CARRO TRANSVERSAL:** El carro transversal se desplaza sobre el cuerpo del carro principal siguiendo al eje de rotación del carro principal. En la parte superior lleva una ranura circular en forma de T que sirve para alojar a las cabezas de los tornillos que servirán para el carro portaherramientas. Se puede desplazar a mano o automáticamente.
- **CARRO ORIENTABLE:** El carro orientable, llamado también carro portaherramientas esta apoyado en el carro transversal en una plataforma giratoria que puede girar sobre un eje central y fijarse en cualquier posición al carro transversal por medio de cuatro tornillos.
- **PLATAFORMA GIRATORIA:** Fijada al carro transversal graduada y movilidad absoluta aflojando diversos tornillos sirve para hacer conicidad e inclinaciones.
- **PORTAHERRAMIENTAS:** El carro orientable esta provisto de un eje fijo sobre el que puede girar una torreta cuadrada que permite fijar 4 útiles a la vez y presentarlos en el momento preciso sobre la pieza. Para cambiar de útil solo es necesario aflojar la tuerca central y girar luego se aprieta otra vez y ya esta.
- **PUENTE & ESCOTE:** En algunos tornos se puede trabajar piezas de gran diámetro y poca longitud mediante el escote, o sea que se puede quitar el escote y se forma el puente.
- **PUNTO:** Es el punto céntrico de la pieza que vamos a mecanizar cuando ya esta sujeta tanto sean piezas excéntricas como céntricas.
- **PLATO:** Pieza normalmente metálica sujeta al eje principal donde se alberga y fija la pieza que nos disponemos a mecanizar. Hay diferentes tipos de platos como el plano, 3 garras, 4 garras... etc.

- **EJE PRINCIPAL:** Es el mecanismo que mas esfuerzos soporta mientras se esta mecanizando, ya que esta sujeto a esfuerzos de torsión y axiales. Se fabrica de acero tratado al cromoniquel, debe de ser robusto y estar perfectamente guiado por casquillos o rodamientos para que no haya desviaciones, la barra suele estar hueca. En la punta exterior tiene que llevar un sistema para la sujeción del plato.

4.2.1.2. Fresadora

Una fresadora es una máquina de potencia utilizada para dar formar complejas a las partes de metal (o posiblemente de otros materiales). Su forma básica es el de un cortador rodante que gira en el eje vertical, y que se puede mover en tres dimensiones en relación a la pieza de trabajo.



Figura 4.7. Fresadora universal con sus accesorios

El movimiento a lo largo de la superficie de la pieza de trabajo se lleva a cabo generalmente mediante una tabla móvil en la que se monta la pieza de trabajo, preparada así para moverse en dos dimensiones. Se pueden operar las máquinas fresadoras tanto manualmente como mediante control numérico.

Las máquinas fresadoras pueden ejecutar una gran cantidad de operaciones complejas, como cortes de ranuras, planificación, perforaciones, encaminado, etcétera.

Es una estructura resistente muy rígida en forma de cajón que contiene el motor de accionamiento y la caja de velocidades. Esta es del tipo de trenes de engranajes intermediarios en el que el accionamiento se realiza con ayuda de un dispositivo

complejo que arrastra el husillo colocado en la parte superior. El montaje del husillo presenta similitudes con el del torno.

Funciona con dos rodamientos de rodillos cónicos que absorben los esfuerzos axiales, un rodamiento de rodillos cilíndricos colocado atrás o bien, cuando el husillo cilíndricos colocados atrás y que sirve de guía.

Delante de la estructura se desplaza verticalmente una ménsula que lleva un carro que se desplaza transversalmente. Este carro sostiene la mesa que se desplaza en sentido longitudinal. Estos movimientos: vertical, transversal y longitudinal se obtienen por tornillos y tercas y pueden ser manuales o automáticos.

Los desplazamientos de la mesa se denominan avances, pueden hacerse a velocidades muy variables gracias a una caja de engranajes colocada en la ménsula; el movimiento del motor se transmite a la caja por un árbol acanalado.

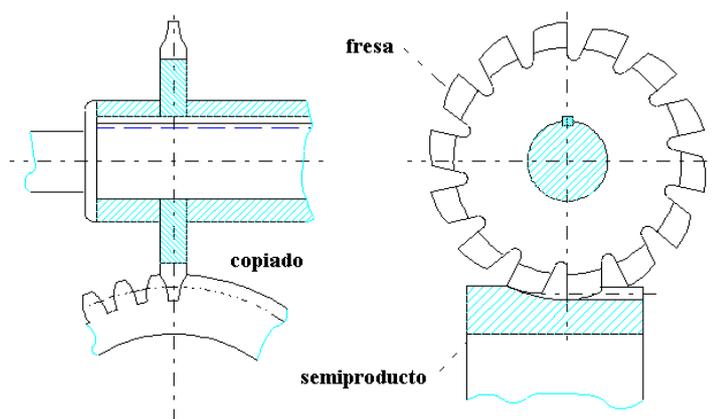


Figura 4.7. Diferentes operaciones

Las virutas son arrancadas en el fresado por medio de la rotación de la fresa cuyos filos están dispuestos en forma circunferencial. El movimiento de rotación de la fresa se llama movimiento principal o de corte. Para conseguir el espesor de viruta ejecuta la pieza un movimiento de avance.

En el fresado cilíndrico el eje de la fresa se halla dispuesto paralelamente a la superficie de trabajo en la pieza. La fresa es de forma cilíndrica y arranca las virutas con los filos de su periferia.

En el fresado frontal el eje de la fresa es normal a la superficie de trabajo. La fresa corta no solamente con los dientes de su periferia, sino también con los frontales.

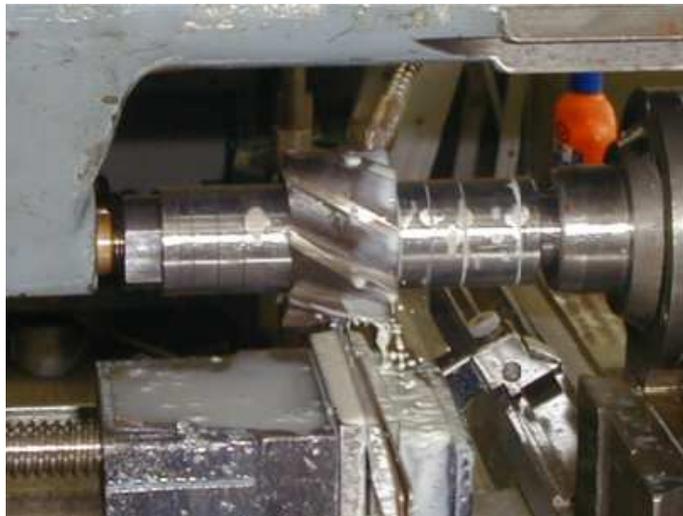


Figura 4.8. Operación compleja en fresadora

Partes principales de la máquina de fresado

Esta una de las maquinas herramientas utilizada para dar formas complejas a piezas de metal u otros materiales. Son máquinas que pueden ejecutar una gran cantidad de operaciones de mecanizado complejas, como cortes de ranuras, planificación, perforaciones, encaminado, etcétera.

Con liderando que hoy en dia con el avance de la tecnología tenemos una maquina totalmente actualizada de tal forma que obtenemos una funcion de la maquinaria mas eficiente

El cuerpo de la fresadora: soporta el husillo de fresar horizontalmente dispuesto, los accionamientos principal y de avance, la mesa de consola móvil con carro transversal y mesa de sujeción y el brazo superior que frecuentemente se descarga, apoyándolo en un soporte

El husillo de fresar: es soportado por cojinetes de deslizamiento o por cojinetes de rodadura. Para garantizar un funcionamiento silencioso se realiza en dimensiones que le den robustez. Para sujetar el útil de fresar, la cabeza del husillo tiene un cono exterior y un cono interior

El mecanismo del accionamiento principal da al husillo de fresar el movimiento de rotación o movimiento principal. Con el objeto de que la fresa pueda funcionar con la velocidad de corte más apropiada.

Mecanismo de accionamiento del avance: la pieza se sujeta sobre la mesa de fresar o de sujeción. Para poder acercarse a la fresa, la mesa consola se desplaza en altura (Fresadora Horizontal), el carro transversal lo hace en sentido lateral y la mesa de fresar en sentido longitudinal.

La velocidad de corte, no es más que el recorrido de un filo de la fresa en m/min. Será variable según la herramienta, el material trabajado y el modo de fresar que se utilice. Los valores mínimos se utilizarán para los trabajos de desbastado y los máximos para acabado. Y esta velocidad se saca de la tabla de valores prácticos para la velocidad de corte y para el avance

Si la velocidad de corte es demasiado grande, los dientes de la fresa se embotan prematuramente. Si la velocidad de corte es demasiado pequeña, el rendimiento del fresado será pequeño.

Ajuste del número de revoluciones: esta depende de la velocidad de corte admitida y del diámetro de la fresa.

$$n = \frac{v * 1000}{\pi * d}$$

Ajuste de avance: se da en el fresado por medio de la velocidad de avance en mm/min. Es el recorrido en mm que realiza la mesa fresadora y con ella la pieza en un minuto.

La velocidad de avance (s') viene definida por la fresa, el material de la pieza, profundidad de corte y la calidad superficial que se desee. Y se puede tomar por la tabla de valores prácticos para la velocidad de corte y para el avance.

$$s' = \frac{V * 1000}{a * b}$$

El tiempo principal en el fresado, viene dada por

$$tp = \frac{L}{s}$$

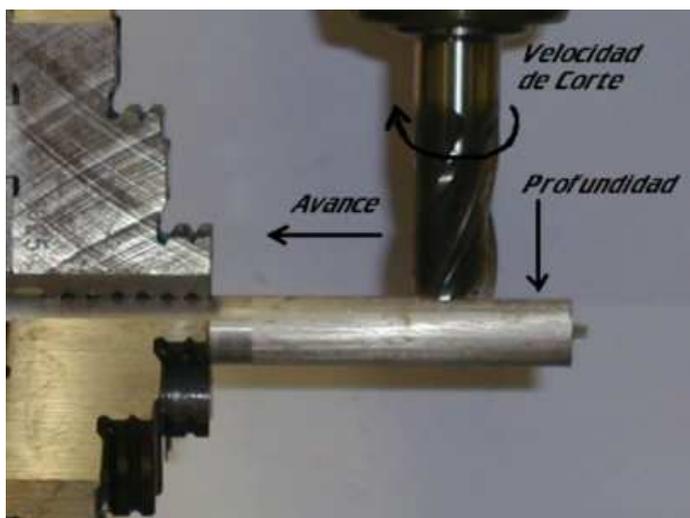


Figura 4.9. Movimientos de fresadora

Las herramientas de trabajo utilizadas en estas máquinas herramienta son las llamadas fresas. Son discos de acero provistos de dientes que están animados de un movimiento de rotación alrededor de su eje, lo que le permite producir el corte de material. Cada diente trabaja como una herramienta común y presenta las mismas características.

Según la posición del eje de rotación de la fresa respecto a las aristas de corte de la herramienta se distinguen dos modos de acción: el corte frontal y el lateral.

Las fresas son de formas muy variables de acuerdo con las operaciones que se deben ejecutar. Entre los tipos más corrientes se pueden distinguir:

Fresa de corte lateral: Este tipo de fresas son estrechas, cilíndricas y con dientes en cada lado y en la periferia se utilizan para cortar ranuras y caras verticales.

En este caso es una fresa de dientes rectos, y su montaje en la máquina se lleva a cabo mediante el uso de un árbol, que se coloca con su respectivo soporte en vez del cabezal.



Figura 4.10. Fresas de corte lateral

Fresa cortadora de engranes: Este tipo de fresadora esta dentro del grupo de *fresas perfiladas*, las cuales tienen la forma o perfil exactos de la pieza que se va a producir y permiten la reproducción exacta de piezas de forma irregular a menor costo que con la mayor parte de las otras fresas.

En este caso la fresa tiene exactamente la forma del engrane que se desea tallar. La sujeción es de la misma manera que la fresa de corte lateral.

Fresa escariadora con dientes integrales: Este tipo de fresadoras pueden tener dos o más acanaladuras, tienen dientes en el extremo y en la periferia y se instala en el husillo con un adaptador. Las fresas con dos acanaladuras, tienen filos de diferente longitud en el extremo y pueden utilizarse para taladrar agujeros poco profundos, en el caso de más de dos acanaladuras, como la de la fotografía, se requiere un agujero piloto para poder taladrar un agujero



Figura 4.11. Fresadora escariadora

Sierra para cortar metales: Estas son básicamente fresadoras delgadas para planchas. Algunas de ellas tienen los lados con rebajos o cóncavos para evitar rozamientos o que se atasquen cuando están en uso y las otras tienen dientes laterales.



Figura 4.12. Sierra para corte de metal

Las herramientas pueden ser de acero rápido o de placa de carburo.

Las fresas pueden ser de agujero roscado para la fresa de corte frontal y se montan sobre un mandril también roscado, pueden además ser de superficie lisa y diámetro normalizado lo que permite disponer de un solo mandril para todos los tipos de fresa.

La fresa debe trabajar sin sacudida, pues de lo contrario se desgastan rápidamente los dientes más salientes, con lo cual el tiempo de duración resulta acortada.

La sujeción de la pieza: las piezas tienen que estar sujetas de modo firme y seguro. Se sujetan en el tornillo de la máquina por medio de bridas y tornillos de sujeción.

4.3 Máquinas modernas para la fabricación de engranajes

El primer desarrollo en el área del control numérico por computadora (CNC) lo realizó el inventor norteamericano John T. Parsons (Detroit 1913-2007)⁶ junto con su empleado Frank L. Stulen, en la década de 1940. El concepto de control numérico implicaba el uso de datos en un sistema de referencia para definir las superficies de contorno de las hélices de un helicóptero. La aplicación del control numérico abarca gran variedad de procesos. Se dividen las aplicaciones en dos categorías: las aplicaciones con máquina herramienta, tales como taladrado, fresado, laminado o torneado; y las aplicaciones sin máquina herramienta, tales como el ensamblaje, trazado, oxicorte, o metrología.

El principio de operación común de todas las aplicaciones del control numérico es el control de la posición relativa de una herramienta o elemento de procesado con respecto al objeto a procesar. Al principio los desplazamientos eran de punto a punto, y se utilizaban básicamente en taladradoras. La invención de las funciones de interpolación lineal y circular y el cambio automático de herramientas hizo posible la construcción de una generación de máquinas herramientas con las que se taladra, rosca, fresa e incluso se tornea y que han pasado a denominarse centros de mecanizado en lugar de fresadoras propiamente dichas

Las fresadoras con control numérico por computadora (CNC) son un ejemplo de automatización programable. Se diseñaron para adaptar las variaciones en la configuración de productos. Su principal aplicación se centra en volúmenes de producción medios de piezas sencillas y en volúmenes de producción medios y bajos de piezas complejas, permitiendo realizar mecanizados de precisión con la facilidad que representa cambiar de un modelo de pieza a otra mediante la inserción del programa correspondiente y de las nuevas herramientas que se tengan que utilizar así como el sistema de sujeción de las piezas.



Figura 4.13. Fresadora de control numérico por computadora (CNC).

Seguidamente se mencionan otras máquinas-herramienta para la elaboración de engranes en el rubro de C:

- *Dentadoras Pfauter*:- Para tallar engranajes cilíndricos, rectos o helicoidales y coronas.
- *Dentadoras – Mortajadoras Fellows*: Para tallar engranajes cilíndricos, rectos o helicoidales, con dentado exterior o interior.
- *Dentadoras – Mortajadoras Maag*: Para tallar engranajes cilíndricos, rectos o helicoidales, con dentado exterior.

- *Dentadoras Bilgram:* Para tallar engranajes cónicos rectos.
- *Dentadoras Gleason:* Para tallar engranajes cónicos helicoidales o espiroidales.
- *Afeitadoras Fellows y rectificadoras Maag:* Para el acabado de los flancos de los dientes o helicoidales de engranajes exteriores.



Figura 4.14. Fresadora CNC para engranes



Figura 4.15. Engranajes fabricados en fresa CNC

CAPÍTULO 5. **RETROEXCAVADORA 416 CATERPILLAR**

5.1. Introducción

Febrero de 1957, es una fecha histórica para quienes están en el mundo de la construcción porque se puso en marcha la primera retroexcavadora del mundo. La Case 320, producida en los Estados Unidos de América (EUA), revolucionó el mundo del trabajo en obras de ingeniería: “Antes de eso, se adaptaban tractores agrícolas con accesorios de cargadoras y, algunas veces, se improvisaban accesorios de retroexcavadoras. A partir de la Case 320 obtuvieron una versatilidad inédita a través de una máquina que podía excavar, levantar y transportar la carga”



Figura 5.1. Retroexcavadora Case 320

La marca no solo fue líder por el lanzamiento de esta herramienta, sino también por las innovaciones que se fueron incorporando para mejorar su desempeño.

En estas cinco décadas, las retroexcavadoras pasaron por innovaciones importantes para atender con eficiencia las necesidades de los usuarios y estar al frente de las demandas y necesidades,

La primera retroexcavadora producida en serie, ya que fue incorporando prestaciones que ahora son normales: innovaciones como el retorno a la excavación y el retorno al desplazamiento, la cuchara 4 en 1, la retroexcavadora axial para mejorar el equilibrio, el balancín extensible, el enganche de transmisión de fuerza, el Ride Control (sistema antibalaceo) y el sistema patentado Pro Control System (PCS™) para un mejor control de la retroexcavadora y ciclos de trabajo más rápidos.

A lo largo de su historia, las empresas que construyen y comercializan estas maquinas siempre se ha preocupado del operario. Por lo que se fueron innovando los asientos acolchados, con respaldo, en lugar del asiento tradicional de acero de un tractor. La cabina de lujo actual proporciona un nivel de comodidad de referencia en estas máquinas y además es la más silenciosa del sector.

Según comentarios “la retroexcavadora es una máquina que está presente en escenarios tan diversos como el desierto de Chile y la junglas de Centroamérica, porque es considerada como uno de los equipos con mayor valor de reventa en el mercado. Hay usuarios que siguen trabajando con retros que tienen más de 30 años.

La importancia de la introducción de la retroexcavadora como aliada en la construcción no es menor ya que, “si se consideran a todas las máquinas de construcción (retros, motoniveladoras, cargadoras, excavadoras,etc.), las retroexcavadoras acaparan el 30 por ciento de las ventas en cualquier empresa dedica a este rubro. Eso quiere decir que el invento de las retroexcavadoras tiene una importancia que no ha sido superada.

5.2. Retroexcavadoras

Esta maquinaria puede estar montada o no en un equipo de propulsión similar al de grúa o sobre la base de un tractor, tiene varias características peculiares de diseño. El equipo va sostenido sobre una cinta de oruga o sobre ruedas, y tiene miembros salientes, a manera de pontones, para lograr estabilidad durante la excavación y la distribución de carga. El mecanismo de excavación tiene una pluma, un miembro o excavador con el cucharón instalado en un extremo exterior, y cables o cilindros hidráulicos para controlar los movimientos.



Uno de los extremos de la pluma esta sujeto al equipo de soporte, y pivotea tanto vertical, como horizontalmente. El giro horizontal se efectúa por rotación del plato giratorio situado en el equipo de autopropulsión y giro.

En el equipo sobre tractor, la pluma gira sobre el soporte de una base. El elemento excavador de una retroexcavadora, esta sostenido al extremo exterior de la pluma, y pivotea en torno de ese punto en el plano vertical de la misma. De igual manera esta sujeto el cucharón o excavador al extremo de elemento excavador, y también pivotea para excavar. Con este mecanismo, la retroexcavadora tiene gran alcance tanto horizontal como vertical, al interior de la trinchera, con la pluma, el brazo excavador y el cucharón extendidos para iniciar la excavación. Para vaciar la carga del cucharón, se levanta la pluma librando los lados de la trinchera, y luego se la hace girar horizontalmente para vaciar el cucharón lejos del borde de la trinchera. Este movimiento descrito del ciclo, se repite desde una sola posición del equipo, hasta que se extrae todo el material excavado de la trinchera.

La selección entre una retroexcavadora regular por sistema hidráulico o por cables, dependerá del equipo básico que se piense tener con el accesorio de corte de la trinchera. Los equipos del tipo de autopropulsión, con cucharón de $\frac{1}{2}$ a 3 yardas cúbicas (0.38 a 2.3 m³) pueden tener controladores accionados por cables o controles hidráulicos. La retroexcavadora telescópica, introducida por primera vez por Gradal, tiene un diseño exclusivo y merece especial mención como un equipo para la excavación de trincheras. Es semejante a una maquina de montaje sobre rueda, para mayor movilidad y versatilidad. La pluma esta formada por varias partes que embonan telescópicamente una en otra. Se cierra como un telescopio hasta su menor longitud, para lograr compacidad o para trabajar en espacios reducidos. No se trata de una grúa en el sentido estricto de la palabra, porque no esta diseñada para levantar mucha carga verticalmente. En cierta forma trabaja como la mano y el brazo humano. Teniendo tal flexibilidad, puede darse a los lados de la trinchera o zanja cualquier ángulo, si el equipo se sitúa correctamente.

5.2.1. Fuerzas de rompimiento, penetración y elevación

5.2.1.1. Tren de fuerza

En esta parte del trabajo se hincan las características de operación que actualmente cuenta cualquier retroexcavadora del siglo XXI El motor diesel y los nuevos sistemas de combustible minimizan el consumo. La transmisión servomecánica proporciona cuatro velocidades de avance y cuatro de retroceso. Los embragues de lanzadera de avance y retroceso con cambio hidráulico y engranajes sincronizados permiten cambios de velocidad y de sentido durante la marcha. La provisión de arranque es neutral evita el arranque mientras la lanzadera está conectada.

El control de amortiguación ofrece un desplazamiento suave en todas las condiciones y reduce el galope de la máquina durante la marcha. También proporciona una mejor retención del material durante las operaciones de carga y acarreo mientras aumenta la comodidad del operador. El sistema se conecta al activar el interruptor.

Opción de tracción en todas las ruedas: el eje motriz delantero se puede conectar en cualquier momento al activar el interruptor ubicado en la consola delantera.

El interruptor se puede activar mientras la máquina está parada o en movimiento, con o sin carga.

La máquina consta de mandos finales planetarios y mejora la movilidad y el rendimiento del cargador cuando no hay buenas condiciones para la tracción. Interruptor selector de modalidad de frenado: en máquinas con tracción en todas las ruedas tiene tres posiciones: tracción en dos ruedas, tracción en dos ruedas con freno en todas las ruedas y tracción en todas las ruedas. La posición central ofrece tracción en dos ruedas para prolongar la vida útil del neumático y conecta el eje delantero cuando se aplican los frenos para mejorar el rendimiento de frenado.



Figura 5.3. Retroexcavadora moderna

5.2.1.2. Rendimiento

Varillaje de alta rotación: el varillaje del cucharón de un pasador contribuye a obtener la mejor rotación en su clase, con 205 grados para todas las aplicaciones, eliminando la necesidad de cambiar la posición el pasador cuando éste se cambia de carga de camiones a apertura de zanjas verticales.

Pluma de la retroexcavadora: la pluma de tipo excavadora tiene una sección en caja con refuerzos internos para obtener un mejor equilibrio y distribución del peso. El diseño curvo proporciona mayor espacio libre sobre obstáculos mientras se excava una zanja o se carga un camión. La pluma estrecha aumenta la visibilidad hacia el cucharón y la zanja en toda el área de

operación. La expansión de la línea de cucharones incluye los diseños para coral y roca, los dientes del mismo están conectados con pasadores diagonales en lugar de pasadores horizontales que facilitan su reemplazo.

Los adaptadores son más fuertes al usar pasadores diagonales y material de desgaste adicional en los dientes del cucharón, lo cual prolonga su durabilidad. Acopladores rápidos: Los acopladores rápidos permiten la conexión rápida de los accesorios y otras herramientas.

Herramientas: diseñadas específicamente para la retroexcavadora cargadora, amplían la versatilidad de las máquinas, construidas para durar y rendir, ofrece alta productividad, vida útil prolongada y gran valor.

5.2.1.3. Sistema hidráulico

El avanzado sistema hidráulico con detección de carga y bomba de caudal variable y centro cerrado ofrece potencia a cualquier velocidad del motor.

5.2.1.4. Mantenimiento

Mantener el equipo en condiciones operativas a desempeño Pico es el objetivo primordial, para lo cual es necesario desarrollar un programa de análisis de fluidos detallado y confiable para predecir con antelación problemas en potencia antes de convertirse en un gasto mayor, o peor aún, en falla. Cada prueba suministra evaluaciones de diagnóstico por medio de:

- a) análisis de desgaste
- b) pruebas físicas y químicas y
- c) análisis del estado del aceite.

El proceso del muestreo propiamente dicho es sencillo y toma solamente pocos minutos.

Como el programa prueba todos los fluidos y no solamente el aceite de motor, ofrece protección total de la unidad, no sólo del motor.

Los problemas hidráulicos pueden ser diagnosticados temprano y los casos de averías en potencia serán identificados antes que se conviertan en verdaderos problemas. Esto ha sido especialmente el propósito dado el gran aumento en el uso de la hidráulica. Los operadores que trabajan continuamente en condiciones severas (climas calientes/fríos, terreno rocoso, exceso de polvo, tierra, etc.) están especialmene expuestos a desgaste y problemas tempranos de contaminación.

Informes reciente de los usuarios demuestra que el muestreo regular y continuo del aceite y el análisis de fluidos ha suministrado grandes ingresos en su

inversión, considerando la mayor producción realizada por el aumento de tiempo útil de las máquinas y por avería que se impidieron debido a mantenimiento preventivo mejorado.

5.2.1.5. Herramientas

Las herramientas con cuentan actualmente las retroexcavadoras han sido diseñadas específicamente para la retroexcavadora cargadora, amplían la versatilidad de las máquinas, construidas para durar y rendir, ofreciendo alta productividad, vida útil prolongada y gran valor.

Seguidamente se enlistan las herramientas mínimas y necesarias con las cual debe de contar cualquier retroexcavadora en la actualidad:

1. Cucharón de servicio estándar.
2. Cucharón de servicio pesado
3. Cucharón para roca de servicio pesado
4. Cucharón de alta capacidad
5. Cucharón para coral
6. Cucharón para limpieza de zanjas
7. Martillo hidráulico
8. Compactador de plancha vibratoria
9. Desgarrador
10. Herramientas del cargador
11. Cucharón de uso general
12. Cucharón de uso múltiple
13. Cucharón de descarga lateral
14. Cucharón para material liviano
15. Cucharón de penetración
16. Horquillas cargadoras
17. Cepillo
18. Rastrillo

5.2.1.6. Ejemplo

Un eje es una barra metálica sólida o hueca usualmente cilíndrica, usado para transmitir potencia o movimiento. Los ejes operan bajo un amplio rango de condiciones de servicio, incluyendo ambientes corrosivos y altas temperaturas. Los ejes pueden estar sometidos a una variedad de cargas como: tracción, compresión, torsión, flexión o una combinación de ellas. Los ejes se fabrican de varios materiales de acuerdo a su aplicación, pero los aceros al carbono son los más utilizados. La fatiga es la causa más común de falla de los ejes y se pueden presentar a partir de imperfecciones metalúrgicas o de diseño.

Por ejemplo, analizar las causas de falla de un eje en una empresa de tratamiento de agua, acoplado al motor perteneciente a un reductor de velocidad de dos etapas, de un agitador para homogenizar la mezcla agua-cal. El equipo se encuentra en operación desde hace 30 años, pero el tiempo de funcionamiento es esporádico, pues el motor se coloca en marcha de tres a cuatro veces a la semana, durante tres a seis horas. Al momento de poner en marcha el motor, se presentaban vibraciones en el equipo y cuando ocurrió la falla del eje se produjo un fuerte ruido seco, quedando el motor girando sin el eje acoplado a él. Se observó que en el eje había una chaveta desgastada aproximadamente 120° del chavetero usado para el acople del engranaje.

El eje analizado es de acero al carbono SAE 1045 con una resistencia última (Sut) de 520 MPa y un límite de fluencia (Sy) de 275 MPa. La temperatura de operación del reductor oscila entre 20° C y 25o C a presión atmosférica. La frecuencia de rutas de inspección es trimestral y las rutinas de lubricación del reductor son mensuales. El reductor se encuentra en un ambiente altamente polvoriento (cal). No se tienen datos de fallas anteriores ni sucesos anormales. Las especificaciones del reductor son las siguientes:

1. Potencia motor = 8,5 HP
2. Vel de entrada = 750 RPM (velocidad de entrada al reductor a la cual gira el eje)
3. Vel. de salida = 59,8 RPM (velocidad de salida del reductor)

En la siguiente figura se muestra un dibujo representativo de la zona del eje que presentó la falla y sus dimensiones en milímetros.

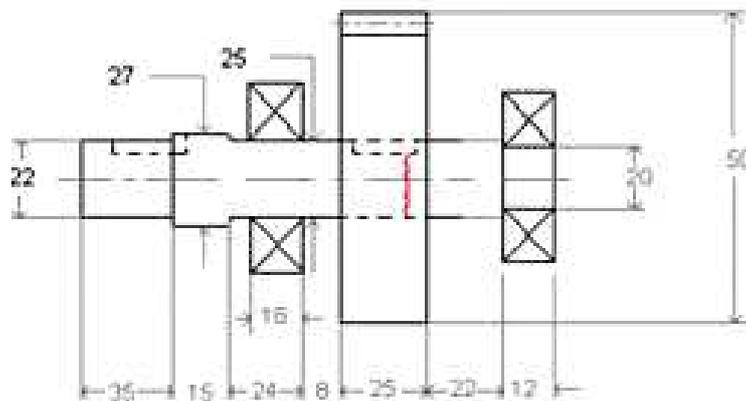


Figura 5.4. Representación esquemática del eje (cotas en mm)

5.2.1.7. Análisis macroscópico

Al observarse el eje con el chavetero que había sido usado anteriormente con su desgaste. Probablemente para mantener en funcionamiento el eje maquinaron un nuevo chavetero a 120° aproximadamente en el mismo eje, por donde se produjo la falla en cuestión. En dicha zona de falla se presenta deformación, produciendo descascaramiento entre el antiguo chavetero y el que

estaba en uso al momento de la falla (figura 5.5.), además, se muestra la sección transversal por donde falló el eje y se pueden apreciar claramente marcas de “playa” o tipo “concha de almeja” típicas del mecanismo de falla por fatiga y que son resultado de la propagación de la grieta debido del estado de esfuerzos en la sección debido a la rotación del eje.

Éstas marcas se originan en la zona entre el chavetero en funcionamiento y el que existió anteriormente, los cuales actúan como concentradores de esfuerzo. Las marcas de playa avanzan en sentido contrario a las manecillas del reloj, debido a la rotación del eje en el sentido de las manecillas del reloj. También se observa al otro lado del eje en esta misma sección otra zona de origen de falla, por lo que se tienen por lo en los dos posibles orígenes de falla.



Figura 5.5. Superficie de fractura

5.2.1.8. Análisis microestructural

Luego del examen visual se procedió a realizar la prueba metalográfica sobre la zona de falla y la zona alejada de la falla. Se cortaron 3 probetas, se les realizó la correspondiente preparación con alúmina de $0,3 \mu$ y luego se atacaron químicamente con nital al 2%. En las figuras 5.6, 5.7 y 5.8, se observa una microestructura típica de un acero SAE 1045 (medio carbono), con una matriz ferrítica (zonas claras) y una distribución uniforme de abundante perlita (zonas oscuras).



Figura 5.6. Corte longitudinal a través del eje a 400X

También en la figura 5.5 se aprecia que el eje fue sometido probablemente a un proceso de laminado debido al alargamiento de los granos en la dirección axial.

Comparando la figura 5.6 con la 5.7 se observa que no existe cambio microestructural en la superficie de fractura. De acuerdo a esto se deduce que la falla no se debió a defectos en el material.



Figura 5.7. Corte transversal en la zona de la falla a 400X



Figura 5.8. Corte transversal en zona alejada de la falla a 400

5.2.1.9. Conclusiones y recomendaciones

Existió un cuñero anterior que se desgastó y seguramente se maquinó uno nuevo para prolongar la vida del eje. Esto representó un cambio en el momento de inercia y desbalanceo, ya que los dos cuñeros no estaban a 180° ni a 90° se encontraban a 120° , lo que causa vibraciones en el eje. El análisis de fatiga muestra un factor de seguridad muy ajustado, por lo que cualquier cambio en las condiciones de operación; en este caso la presencia de vibraciones en el arranque y funcionamiento del motor, además de la presencia de un cuñero deformado sobre la misma sección del eje (que no se tuvo en cuenta en ninguno de los análisis) afecta considerablemente la vida del mismo.

El análisis de rigidez muestra que para estas condiciones de trabajo y asumiendo una inclinación crítica del eje de 0,0005 radianes, muestra un diseño muy ajustado para el diámetro del eje en el cojinete derecho. Esto puede producir en determinado momento vibraciones y desajustes que disminuyen la vida del eje, debido a la flexión del mismo por falta de rigidez al operar en condiciones anormales.

El análisis con elementos finitos muestran esfuerzos que convergen hacia 68,17 MPa, que están peligrosamente por encima de la resistencia a fatiga encontrada analíticamente (65.67 MPa). Por tanto, el eje original fue diseñado con un factor de seguridad muy bajo. Se recomienda realizar análisis periódicos de vibraciones en el eje y en el equipo en general, para hacer un seguimiento a

través del tiempo y tomar las medidas correspondientes para evitar los picos de vibración.

5.2.2. Ejes

La mayoría de los elementos de máquinas que en servicio están sometidos a elevados esfuerzos son construidos generalmente de acero, por ejemplo ejes, engranajes, cigüeñales, bielas, etc. En el caso de engranajes y ejes de piñón se utilizan normalmente los aceros AISI 1040, 1060, 4140 y 4340 (Ranganath y col., 2004). Cuando estos ejes son fabricados con aceros que poseen bajo contenido de carbono, normalmente menor que 0,30 % C, son sometidos al tratamiento termoquímico de cementación (carburación), con el fin de incrementar el contenido de carbono en la superficie pudiendo alcanzar valores hasta de 1,2 % C.

Luego los ejes son sometidos al tratamiento térmico de temple para elevar la dureza de la superficie, generalmente en el intervalo de 58 a 65 RC, por la formación de martensita, quedando el interior dúctil, por el bajo contenido de carbono inicial del acero con una dureza en el intervalo de 30 a 45 RC.

Finalmente, los ejes necesariamente deben ser sometidos al tratamiento térmico de revenido a baja temperatura, para lograr eliminar o minimizar las tensiones internas producto de la formación de la martensita, de esta manera se consigue que no disminuya considerablemente la dureza, la microestructura se denomina ahora martensita revenida (Lajtín-Arzamásov, 1987). Con estos tratamientos se logra que los ejes adquieran las condiciones metalúrgicas y mecánicas más adecuadas para su buen desempeño en servicio.

No obstante que en la fabricación de ejes se toman en cuenta los diferentes principios y/o recomendaciones de diseño, lamentablemente en diversas ocasiones se presentan fallas, normalmente fracturas; estas se originan en puntos de concentración de esfuerzos que se clasifican en tres grupos:

- 1) Heterogeneidades en la forma del eje derivadas del diseño: escalones por cambios de diámetro, orificios, esquinas abruptas, chaveteros, estrías, roscas, ranuras y ajustes a presión
- 2) Discontinuidades superficiales surgidas de la fabricación o por daño en servicio: hendiduras, picaduras, muescas, marcas de maquinado, de rectificado y de identificación, corrosión
- 3) Discontinuidades internas: porosidad, contracciones, inclusiones no metálicas, grietas y huecos. Adicionalmente se tienen ensambles defectuosos, selección errónea de material, tratamientos térmicos incorrectos (ASM, 1986).

Un caso particular es la falla de un eje de piñón cónico de un tractor agrícola, eje motriz de la caja de velocidades que recibe la potencia del motor

transmitiéndola al diferencial, y de este a las ruedas haciendo posible el movimiento del tractor. Este eje falló por fractura en menos de un año de servicio, hecho por el cual se solicitó al Laboratorio de Metalografía y Tratamientos Térmicos (LMTT) estudiar el caso; los resultados del análisis de falla se presentan en este trabajo.

5.2.2.1. Procedimiento experimental

Se realizó inicialmente la inspección del tractor y recolección de muestras, así como recabar información sobre lo ocurrido en el momento de la falla y datos técnicos de la máquina (manuales). Se desconocen datos técnicos de la fabricación y tratamiento(s) posterior(es).

La falla del eje del piñón cónico se estudió utilizando las siguientes técnicas:

- a) Inspección visual, mediante observación directa y con ayuda de una lupa esteroscópica, marca Leica modelo Wild M3Z
- b) Fractografía, mediante microscopía electrónica de barrido (MEB), usando un equipo marca Hitachi, modelo S 2500
- c) Metalografía, mediante microscopía óptica usando un microscopio marca Zeiss modelo Axiotech y MEB
- d) Análisis químico, empleando espectroscopía de energías dispersivas de rayos X (EDS)
- e) Ensayo mecánico de dureza, utilizando un durómetro universal marca Wolpert
- f) Se complementó el estudio con un análisis de esfuerzos utilizando la teoría de Mohr Modificada, del estado de esfuerzos a que fue sometido el eje en el momento de la falla, basados en los datos técnicos del tractor.

5.2.2.2. Inspección visual y fractografía

La figura 5.9, muestra el eje del piñón cónico fracturado, que posee aún ensamblado parte del cojinete de rodillos sobre el que se apoyaba y rotaba. Se observa que la falla ocurrió cerca del medio de la longitud, medida desde el borde izquierdo del piñón cónico. Las flechas señalan dos muestras seccionadas de un extremo del eje, la ubicada a la derecha posee la superficie de fractura que se utilizó para el estudio fractográfico y la de la izquierda para el metalográfico.



Figura 5.9.
Eje de piñón cónico fracturado

La figura 5.10, muestra las superficies de fractura de las dos partes del eje, las zonas claras y lisas señaladas con flechas se produjeron por el roce entre los extremos fracturados antes que la máquina fuese detenida. Se observan marcas paralelas como surcos que atraviesan las superficies, sin presencia de las llamadas marcas de playa típicas de falla por fatiga, indicativo que ésta no se produjo en este caso. Los surcos obviamente son producto de la formación y crecimiento de la grieta que condujo a la fractura, su forma es similar a la típica de rotura rápida, como se encuentra en otros tipos de ejes (ASM, 1986; Xiaolei y col., 2006).

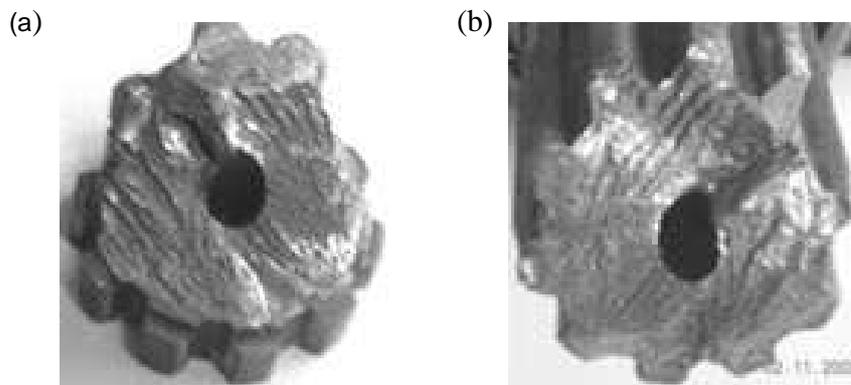


Figura 5.10. Superficies de fractura del eje.

Las figuras 5.11 y 5.12, muestran en detalle la superficie de fractura en zonas cercanas al bode externo y en el interior del eje respectivamente. En la primera se observan granos pequeños con superficies lisas lo que indica que sufrieron fractura intercrystalina, tipo clivaje; no obstante, no ocurre igual en todos los granos, por lo que principalmente lo que allí existe es cuasiclivaje.

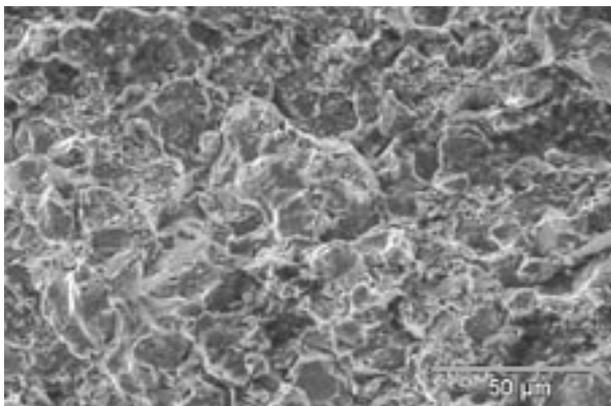


Figura 5.11. MEB de la superficie de fractura, zona externa del eje

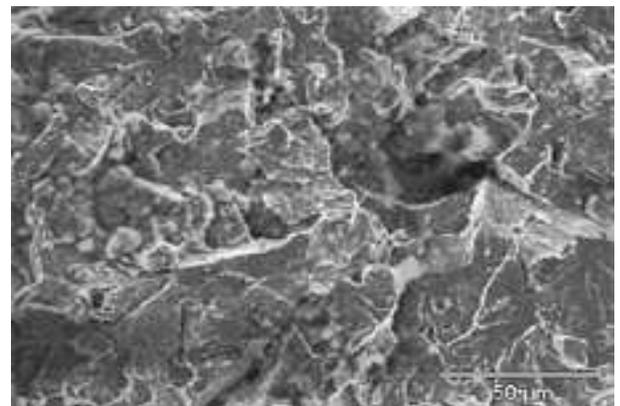


Figura 5.12. MEB de la superficie de fractura, zona interna del eje

Además en la figura 5.12, se observan granos de mayor tamaño, la mayoría también con superficies clivadas. Esto muestra que la superficie de fractura del eje se caracteriza por tener clivaje y cuasiclivaje, común en los materiales frágiles.

Sólo en algunas zonas cercanas al orificio central del eje, se encontró que la superficie tenía hoyuelos, típicos de fractura dúctil, como se muestra en la figura 5.13, Estos hoyuelos se ubican en los sitios más elevados de la superficie observada, lo que se correspondería con las cimas de los surcos antes citados. Toda esta situación aparentemente extraña para un eje de acero (teóricamente debiera existir más zona dúctil), se explicará adelante en la discusión junto con el resto de resultados.

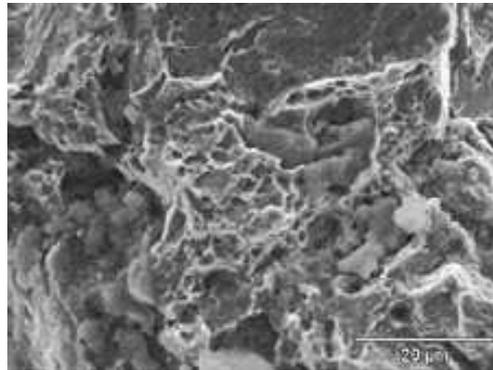


Figura 5.13. MEB de superficie de fractura con evidencias de hoyuelos

Por otra parte, al evaluar el posible origen y avance de la grieta, se constata que el eje posee de fábrica una ranura circular, a partir de la cual y desde la esquina del fondo de ella se desarrolla la superficie de fractura, atravesando el eje con una inclinación tendiente a 45° hasta alcanzar el lado opuesto, tal como se observa en la figura 5.14.



Figura 5.14. Vista de la ranura circular, inclinación de la superficie principal y las secundarias en primer plano.

Aquí también se muestra que junto con la superficie de fractura (principal) antes estudiada, existen dos más pequeñas (secundarias) que surgen también desde la esquina del fondo de la ranura y se intersectan con la principal casi lateralmente con la superficie del eje, tal como se aprecia en el primer plano de la figura.

En la figura 5.10.(a), parte derecha superior se observa la falta de material, que al desprenderse del eje generaron las superficies secundarias.

5.2.2.3. Metalografía

En la figura 5.15, se observa la muestra seccionada del eje, preparada para el estudio metalográfico.

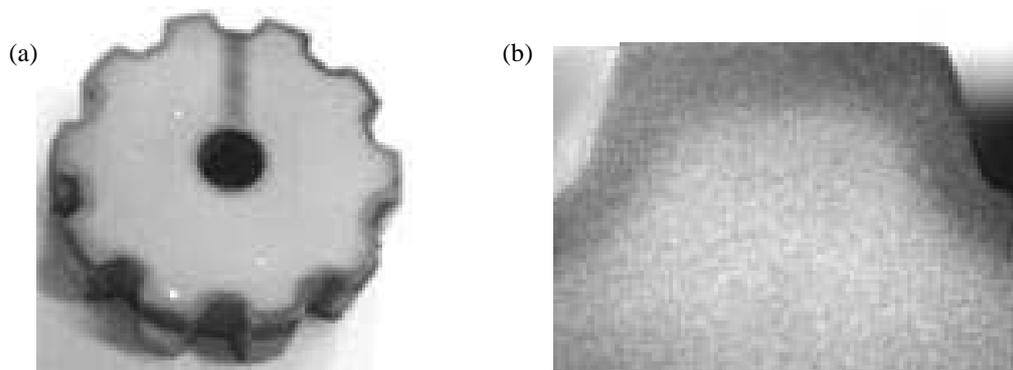


Figura 5.15. Muestra de la sección transversal del eje: a) estrías con capa externa de tratamiento superficial, b) detalle de capa externa

Se aprecia en 5.15.(a) que el eje tiene 10 estrías donde encajan engranajes de la caja de velocidades, así como, que toda la superficie posee una capa oscura (revelada por la preparación metalográfica) de espesor promedio de 1,3 mm, lo que indica que posee un tratamiento superficial probablemente cementación, no obstante adelante se definirá concretamente. La franja radial oscura es la marca del orificio de lubricación que coincidió con el corte de la muestra. En la figura 5.15.(b) se detalla la capa externa que en general se caracteriza por su uniformidad a todo lo largo de la periferia del eje.

La figura 5.16, muestra la microestructura presente en la capa externa del eje, esta es martensita fina lo que significa que el eje fue sometido al tratamiento térmico de temple y revenido tal como se recomienda teóricamente, por lo que sería realmente martensita revenida.

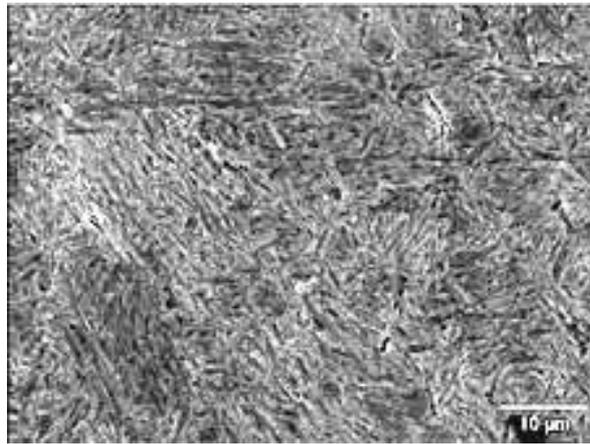


Figura 5.16. MEB de la capa externa, se observa martensita revenida

La figura 5.17, muestra la microestructura en el interior del eje, esta también es martensita revenida pero más gruesa que la de la superficie, lo cual está en correspondencia con las microestructuras de las superficies de fractura, figura 5.11 y figura 5.12, para el exterior e interior del eje respectivamente. Este tipo de resultado se ha encontrado también en engranajes de cajas de velocidades que han fallado por rotura, de manera equivalente a lo ocurrido aquí con el eje.

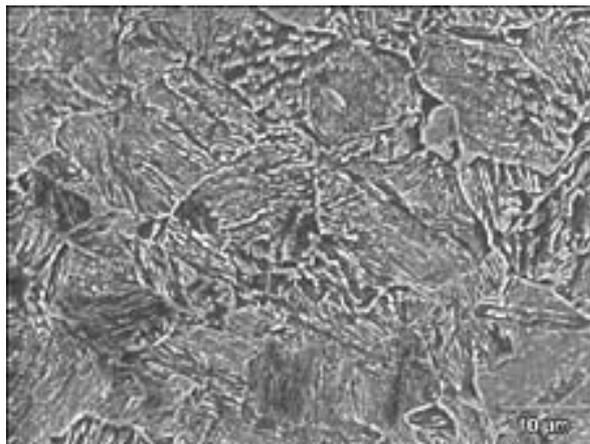


Figura 5.17. MEB del interior del eje, se observa martensita revenida gruesa

5.2.2.4. Composición química

La tabla 5.1 da la composición química promedio, evaluada en diferentes puntos tanto en la zona oscura externa y en el interior del eje, esto se realizó paralelamente durante el estudio metalográfico mediante MEB. Se desprende de la tabla que el eje de acero fue cementado, alcanzando en la superficie un contenido promedio de 1,00 %C, lo cual está dentro de lo especificado teóricamente, como también el acero original con promedio de 0,27 %C (interior del eje).

Elemento	C	Si	Mn	Cr	S	P	Fe
Superficie	1,00	0,41	1,18	1,23	0,03	0,035	Resto
Interior	0,27	0,36	1,19	1,33	0,025	0,032	Resto

Tabla 5.1. Composición química promedio (% en peso)

5.2.2.5. Dureza

Se determinó la dureza de la superficie y del interior del eje, siendo los valores promedios 63 Rc y 34 Rc respectivamente. Estos valores se encuentran dentro de las especificaciones teóricas, sin embargo el de la superficie está muy cercano al límite máximo.

5.2.2.6. Discusión

La mayoría de resultados presentan correlaciones lógicas esperadas, algunos otros aún no se han dilucidado. Con respecto a los primeros se puede decir que el eje fue fabricado con un acero aleado de bajo contenido de carbono (0,27 %C), que por su baja dureza permite el trabajo de fabricación, luego fue sometido al tratamiento termoquímico de cementación elevando el contenido de carbono hasta el 1,00 %C. Posteriormente es templado y revenido para suministrarle elevada dureza en la superficie (63 Rc). Hasta aquí todo está acorde con los principios teóricos recomendados para este tipo de elemento de máquina, sin embargo, la presencia de martensita revenida en el interior (central) del eje no es lo esperado.

Es obvio que el temple produjo hasta el interior la transformación de la austenita en martensita, lo cual es indicativo de una elevada templabilidad del acero. Determinando esta propiedad en base a la composición química se encuentra que el Diámetro Crítico Ideal (DCI), que mide la templabilidad, tiene un valor de 99 mm, el cual es 2,3 veces mayor que el diámetro externo real del eje (43 mm), esto explica la presencia de martensita revenida en el interior del eje.

La naturaleza metalúrgica y mecánica de la martensita determina que esta sea frágil, por esto se realiza el revenido. La martensita revenida presenta diferentes fenómenos metalúrgicos en dependencia de la temperatura a la cual se realizó el revenido. Es un hecho bien conocido que la martensita revenida puede presentar el fenómeno de fragilización a baja y media temperatura, debido a la transformación de la austenita retenida por el temple (entre las láminas de martensita) en carburos, M_3C , principalmente Fe_3C . La temperatura de este revenido es en general menor a $500\text{ }^{\circ}C$, ya que el fenómeno es distinto al que también puede ocurrir en la vecindad de esta temperatura

En el caso del eje estudiado, teóricamente se debió haber realizado el revenido a baja temperatura ya que solo se requiere eliminar o minimizar las tensiones internas producto del temple, manteniendo así elevada la dureza superficial. Los resultados fractográficos aquí presentados muestran clivaje y cuasiclivaje que es común a la fractura de aceros en los que ocurrió fragilización de la martensita revenida, reportada en los trabajos antes citados, particularmente existe gran similitud con los resultados de Sarikaya y col., debido a que uno de los aceros estudiado en este trabajo tiene casi igual contenido de carbono (0,26%) y elevados contenidos de manganeso (1,98%) y cromo (3.11%), como también los posee el eje; estos últimos elementos son los que definen la elevada templabilidad.

Por otra parte, la inclinación de la superficie de fractura principal, tendiente a los 45° , es típico de fractura en materiales frágiles sometidos a torsión, como trabajan los ejes normalmente, en este caso la martensita revenida fragilizada hizo posible esta inclinación.

Aunado a lo anterior, la existencia de una ranura circular desde cuya esquina de fondo se extienden las superficies de fracturas (principal y secundarias), es un sitio de concentración de esfuerzos. La inspección detallada de la esquina del fondo de la ranura mediante análisis digital de imágenes (Leco IA 3001), resultó que tiene un radio de curvatura muy pequeño, cuyo valor es $487,75\text{ }\mu m$ ($0,48775\text{ mm}$, aprox. $0,5\text{ mm}$), tal como se muestra en la figura 5.18.

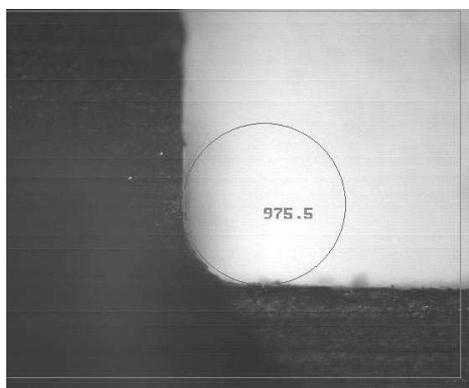


Figura 5.18. Medida del radio de curvatura de la esquina del fondo de la ranura circular. Un círculo de $975,5\text{ }\mu m$ ajusta en el fondo

Este pequeño radio de curvatura más la elevada dureza superficial del eje, junto con la existencia de martensita revenida fragilizada, en toda la sección transversal del eje, fue la causa para que bajo alguna condición de gran exigencia mecánica sobre el eje (arranque brusco del tractor, atascamiento de la ruedas y exigencia de giro, arrastre de cargas muy pesadas, etc), produjera una elevada concentración de esfuerzos en dicha esquina de la ranura, de magnitud tal que sobrepasó la resistencia del acero causando así la falla por fractura violenta, catastrófica, del eje de piñón cónico.

5.2.2.7. Comprobación de la falla mediante la teoría de Morh Modificada

Basados en la ausencia de señales de falla por fatiga y habiendo determinado que el material del eje es frágil, se utilizara la teoría de fallas preferida para materiales no uniformes frágiles bajo carga estática.

De acuerdo con los datos técnicos recopilados del manual del fabricante, se obtuvo la siguiente información (ver tabla 5.2).

Parámetros de la maquinaria	
Potencia Neta	58.8 KW
Torque en el cigüeñal	350 N.m/1,600-1,800 RPM
Torque en el eje de piñón cónico	1,540 N.m/360RPM

Tabla 5.2. Características técnicas

El estudio de los esfuerzos en el eje fueron efectuados por medio de la siguiente ecuación.

$$\tau_{xy} = K_{ts1} K_{ts2} \left(\frac{Tr}{J} \right) \quad (1)$$

El uso de esta ecuación se basa en el hecho que el rodamiento cónico absorbe las cargas radiales y axiales originadas en el engranaje cónico hipoidal, tal como se muestra en la figura 5.4.

El factor de concentración de esfuerzo en ranuras axiales K_{ts1} y el factor de concentración de esfuerzo en ranuras circulares K_{ts2} , se determinaron mediante las graficas de stress concentration factors, cuyos valores fueron 3,8 y 3,0 respectivamente.

El radio r cuyo valor es de $35,5e^{-3}/2$ m y el momento polar de inercia $J = 1.56e^{-7} \text{ m}^4$, son producto de la medición sobre la región de falla del eje. Sustituyendo en la ecuación 1 se obtuvo el siguiente resultado:

$$\tau_{xy} = 1997,58 \text{ MPa} = \sigma_1 = -\sigma_3 \quad (2)$$

Aplicando la teoría de Morh Modificada para el IV cuadrante y torsión pura.

$$FS = \frac{\sigma_{ut}}{\sigma_1} \quad (3)$$

A partir del valor de la dureza medida en la superficie del eje (63 Rc) y mediante tabla de conversión se determinó el valor correspondiente para σ_{ut} el cual fue de 2250 MPa. Sustituyendo en la ecuación 3 se obtuvo un valor del factor de seguridad en la zona de falla del eje.

$$FS = 1,1258$$

Tomando en cuenta que el diseño de elementos de maquinas con el uso de materiales considerados frágiles sugiere factores de seguridad que oscilen entre 2.5 a 8 dependiendo del criterio de diseño, se puede considerar que el factor de seguridad determinado para el eje de piñón cónico es considerablemente bajo, lo que indica que no se puede asegurar que funcione adecuadamente, ya que se corre el riesgo de falla tal como ocurrió.

5.2.2.8. Conclusiones

El eje de acero estudiado fue tratado térmicamente mediante cementación, temple y revenido.

El revenido, aunque se realizó a baja temperatura causó fragilización de la martensita revenida.

El acero del eje posee elevada templabilidad (DCI), que es 2,3 veces mayor que el diámetro real externo del eje.

Martensita revenida fragilizada se encontró en toda la sección transversal del eje, debido a la elevada templabilidad.

El eje de piñón cónico falló por fractura violenta, catastrófica.

La presencia de una ranura circular en el eje, con radio de curvatura pequeño en la esquina del fondo, junto con la elevada dureza superficial y martensita revenida fragilizada, hicieron posible la falla.

Matemáticamente se comprobó que la falla ocurrió por una elevada concentración de esfuerzos en la intersección de las ranuras, que superaron la resistencia última del acero.

5.3. Caterpillar

A continuación se hace una remembranza de lo que es la empresa Caterpillar a nivel mundial:

En 1890, Benjamin Holt y Daniel Best experimentan con varias formas de tractores de vapor para su uso en granjas. Lo hacen separadamente, en compañías independientes.

En 1904 y en 1906, se ensamblan el primer tractor de cadenas de vapor de Holt y el primer tractor de cadenas de gas de Holt.

Para 1915, los tractores de cadenas "Caterpillar®" de Holt son usados por los Aliados en la Primera Guerra Mundial. Y en 1925, Holt Manufacturing Company y C. L. Best Tractor Co. se unen para formar Caterpillar Tractor Co.

Ya para 1931, sale de la línea de producción el primer Tractor Sixty diesel en East Peoria (Illinois) con una nueva y eficaz fuente de propulsión para tractores de cadenas.

Es en 1940, cuando la línea de productos Caterpillar incluye ahora motoniveladoras, hojas de nivelación, niveladores de elevación, levantadores de terrazas y grupos electrógenos para la generación de energía eléctrica.

Para 1942, los tractores de cadenas, motoniveladoras, grupos generadores y motores especiales de Caterpillar se utilizan en la aportación militar de los Estados Unidos de América va la guerra para fabricar el tanque M4.



Figura 5.19. Tractores de cadena

En 1950, se establece Caterpillar Tractor Co. Ltd. en Gran Bretaña, primera compañía de operaciones internacionales creada para administrar la falta de cambio de moneda extranjera, tarifas, controlar la importación y servir mejor a clientes de todo el mundo.

Para 1953, la compañía crea un grupo de venta de motores independiente para vender motores a diesel a otros fabricantes de equipo. Este grupo fue reemplazado en 1953 por una división independiente de ventas y mercadotecnia para servir mejor a una amplia variedad de clientes de motores. Las ventas de motores suponen aproximadamente una tercera parte de las ventas e ingresos totales de la compañía.

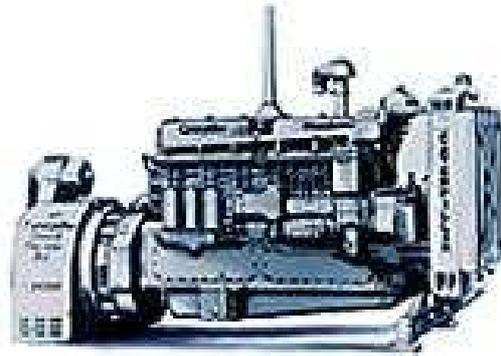


Figura 5.20. Motor a diesel

Y es en 1963, cuando Caterpillar y Mitsubishi Heavy Industries Ltd. forman una de las primeras empresas conjuntas de Japón para incluir propiedad parcial de los Estados Unidos. De América en Caterpillar Mitsubishi Ltd., comenzando la producción en 1965, cambia su nombre a Shin Caterpillar Mitsubishi Ltd., y pasa a ser el fabricante número 2 de equipo para construcción y minería en Japón.



Figura 5.21. Maquinaria especializada para la minería

En el periodo 1981-83, la recesión mundial afecta a Caterpillar, costándole a la compañía el equivalente a \$1 millón al día y forzándole a reducir dramáticamente el número de empleados.

Ya para 1983, Caterpillar Leasing Company se expande para ofrecer opciones de financiación de equipo a sus clientes de todo el mundo y cambia su nombre a Caterpillar Financial Services Corporation.

Desde 1985 hasta el presente, la línea de productos sigue diversificándose para satisfacer las necesidades de los clientes. Ahora se ofrecen más de 300 productos, más del doble de los que se ofrecían en 1981.

Caterpillar Tractor Co. cambia su nombre a Caterpillar Inc., en 1986. Esto es un reflejo más exacto de la creciente diversidad de la empresa.

Al año siguiente (1987), se inicia un plan de modernización de fábricas de \$1,800 millones para mejorar el proceso de fabricación.

La compañía descentraliza su estructura en 1990, reorganizándose en unidades comerciales para ofrecer mayor rendimiento de activos y satisfacción a los clientes.

La compañía sigue expandiéndose y en 1997, adquiere a la empresa Perkins Engines, con sede en el Reino Unido. Con la incorporación de la alemana MaK Motoren el año anterior, Caterpillar se convierte en el líder mundial de fabricación de motores diesel.

En el año de 1998, aparece el camión de obras más grande del mundo -el 797- en los terrenos de pruebas de Cat en Arizona.

Caterpillar para 1999, desvela una nueva línea de equipo compacto para la construcción en la CONEXPO, la feria de construcción más grande del mundo, como respuesta a la cambiante necesidad de los clientes de equipo de construcción más pequeño y versátil.

Caterpillar en el 2000, celebra su 75 aniversario.

Para 2001, Caterpillar es la primera compañía en incorporar globalmente 6 Sigma y conseguir beneficios el primer año que exceden los costos de implementación.

En 2003, Caterpillar se convierte en el primer fabricante de motores del mundo ofreciendo una completa línea de motores diesel limpios para el año 2004 que cumplen todos los requisitos y certificaciones de la Environmental Protection Agency (EPA) de Estados Unidos. Se desarrolla la innovadora tecnología de

control de emisiones de Caterpillar, conocida como Tecnología Avanzada de Reducción de Emisiones de Combustión (Advanced Combustion Emissions Reduction Technology - ACERT), para cumplir los requisitos de la EPA sin sacrificar rendimiento, fiabilidad o economía de consumo.

5.3.1. Maquinaria 416

Ya sea que se esté excavando, abriendo o rellenando zanjas o manipulando materiales, hay una Retroexcavadora Cargadora apropiada para las necesidades. Caterpillar impone el estándar de la industria con máquinas potentes, cómodas y versátiles, diseñadas para hacer más trabajo en menos tiempo.

La Retroexcavadora Cargadora 416, cuenta con una estación de operador más cómoda, un nuevo diseño de brazo extensible y un mayor rendimiento, esta retroexcavadora cargadora 416 permite realizar más trabajo con menos esfuerzo.



Figura 5.22. Rotoexcavadora y cargadora 416

5.3.1.1. Características

El nuevo brazo extensible está diseñado para proporcionar mejor rendimiento, mayor fuerza y mayor facilidad de servicio.



Figura 5.23. Brazo extensible

5.3.1.2. Tren de fuerza

En este apartado se presentan las ventajas y características del tren de fuerza del 416E, el cual cuenta con un motor 3054C Cat está diseñado para proporcionar rendimiento, potencia, fiabilidad y eficiencia de combustible.

Motor diesel 3054C El motor 3054C DINA (Inyección directa y aspiración natural) 55 kW (74 hp) cumple todas las normas de control de emisiones Tier 2 de EPA de los EE.UU. y Stage II de la Unión Europea. Suministra potencia alta, mayor reserva de par y potencia fiable con bajas emisiones. El motor Cat 3054C DIT (Inyección Directa con Turbocompresión) 66 kW (89 hp) es optativo.
Velocidad de desplazamiento mejorada La velocidad de desplazamiento máxima se ha aumentado a 40 km/h (25 millas/h) para proporcionar un desplazamiento más rápido entre los diferentes sitios de trabajo.
Sistema de combustible de inyección directa Inyectores unitarios de combustible individuales proporcionan una dosificación precisa y eficiente de combustible y disminuyen las emisiones. El indicador de servicio del separador de agua alerta al operador cuando se requiere servicio.
Filtro de aire Un nuevo filtro de aire de sello axial, de tipo seco y con sistema automático integrado de expulsión de polvo, proporciona separación previa más eficiente. El filtro de aire de dos fases incorpora las funciones de filtro y antefiltro de aire en una sola unidad montada debajo del capó.
Nuevos ejes traseros Cat Los nuevos ejes traseros de servicio pesado se han diseñado específicamente para aplicaciones exigentes de la Retroexcavadora Cargadora. Las características incluyen juegos de engranajes planetarios externos para facilidad de servicio y un diseño mejorado de los frenos para prolongar la vida útil.
Transmisión La transmisión servomecánica Caterpillar proporciona cuatro velocidades de avance y de retroceso. Los engranajes completamente sincronizados y los embragues de avance y retroceso de la transmisión servomecánica con cambio hidráulico permiten cambios de velocidad y de sentido de desplazamiento durante la marcha. Un dispositivo de arranque en neutral evita el arranque cuando la transmisión servomecánica esté conectada.
Neutralizador de la transmisión La desconexión de potencia operada manualmente, estándar en las 416E, facilita los cambios sobre la marcha y rpm máximas del motor para obtener tiempos de ciclo más rápidos. El neutralizador está ubicado en la palanca de cambios para comodidad del operador.

Cambios más suaves

Las nuevas válvulas hidráulicas de control proporcional proporcionan cambios de velocidad y de dirección más suaves.

Opción de tracción en las cuatro ruedas (4WD)

El eje de impulsión delantero de servicio pesado se puede conectar en cualquier momento activando el interruptor ubicado en la consola delantera. El interruptor se puede activar cuando la máquina está parada o en movimiento, con o sin carga. El sistema de tracción en las cuatro ruedas ofrece mandos finales planetarios exteriores y aumenta la movilidad y el rendimiento del cargador en condiciones de tracción deficiente.

Selector de modalidad del freno

El interruptor selector de modalidad del freno tiene tres posiciones: Tracción en dos ruedas, tracción en dos ruedas con freno en todas las ruedas y tracción en todas las ruedas. La posición central ofrece tracción en dos ruedas para prolongar la vida útil de los neumáticos durante el desplazamiento por carretera y conecta el eje delantero cuando se aplican los frenos para mejorar el rendimiento de frenado.

5.3.2. Operación

Las retroexcavadoras en operaciones normales tienden a realizar trabajos rudos o pesados en donde anteriormente ya se menciono algunas de la tareas que realiza esta maquina. En varias ocasiones los operadores tienen mucha influencia en los desgastes excesivos de la maquina, así como las fallas técnicas de la misma.

Considerando también que las jornadas de trabajo a las que son expuestas no se puedan realizar los mantenimientos preventivos en tiempo y forma. Teniendo como consecuencia los mantenimientos correctivos no programados así como los tiempos muertos, generando diversas pérdidas económicas dentro de una operación programada.

La capacitación y experiencia de los operadores es muy importante ya que dentro de las operaciones podemos encontrar más beneficios que pérdidas. Por mencionar alguna; mayor productividad.

Al igual que los operadores las retroexcavadoras tienen ciertas limitantes, en donde pueden encontrarse en operaciones inseguras, en donde pelagra la integridad del equipo o del operador e incluso de ambos.

5.3.3. Mantenimiento preventivo y correctivo

El mantenimiento es el conjunto de actividades que se llevan a cabo en un equipo, instrumento o estructura, con el propósito de que opere a su máxima eficiencia, evitando que se produzcan paradas forzadas o imprevistas. Este

sistema requiere alto grado de conocimiento y una organización muy eficiente. Implica la elaboración de un plan de inspecciones para los distintos equipos de la planta, a través de una buena planificación, programación, control y ejecución de actividades a fin de descubrir y corregir deficiencias que posteriormente puedan ser causa de daños más graves.

Pasos necesarios para establecer un programa efectivo de mantenimiento preventivo. Probablemente su modelo tenga algunas diferencias no significativas, dependiendo de cómo este estructurada su organización, de sus políticas y otros factores pero todas las opciones se pueden manejar en un momento determinado.

1.- Determine las metas y objetivos.

El primer paso para desarrollar un programa de mantenimiento preventivo es determinar exactamente —qué es lo que se quiere obtener del programa—. Usualmente el mejor inicio es trabajar sobre una base limitada y expandirse después de obtener algunos resultados positivos.

Si tiene alguna dificultad con sus metas puede tomar algunos "tips" de la lista de beneficios del programa de mantenimiento mencionado con anterioridad, mostramos ahora algunos ejemplos muy simples:

Incrementar la disponibilidad de los equipos en un 60%.

Reducir las fallas en un 70%.

Mejorar la utilización de la M. O. en un 30%.

Incrementar el radio del mantenimiento programado respecto al mantenimiento reactivo en una proporción 2 a 1.

2.- Establecer los requerimientos para el mantenimiento preventivo.

Decida que tan extenso pueda ser su programa de mantenimiento preventivo. Qué debe de incluir y dónde debe de iniciar.

a).- Maquinaria y Equipo a incluir.

La mejor forma de iniciar esta actividad es determinar cual es la maquinaria y equipo más crítico en la planta; Algunas veces esto es muy fácil y otras veces no —esto depende de lo que manufacture su compañía; piense en su lista y acuda a sus clientes (producción, cabezas de departamento, etc.) y pregúnteles— después de todo, ellos son las personas a quienes debe atender.

Haga de su programa de mantenimiento preventivo un "sistema activo"; donde participen todos los departamentos.

b).- Áreas de operación a incluir.

Puede ser mejor, seleccionar un departamento o sección de la planta para facilitar el inicio; ésta aproximación permite que concentre sus esfuerzos y más fácilmente realice mediciones del progreso. Es mucho mejor el expandir el programa una vez que probó que se obtienen resultados.

c).- Decida si se van a incluir disciplinas adicionales al programa de mantenimiento preventivo.

Es importante que cualquier persona en la organización entienda exactamente qué consideró como el mayor propósito del programa de mantenimiento preventivo. No tiene que ser tan breve, es decir sin sentido, pero tampoco deberá ser tan extenso que cree confusión.

Dentro de este mantenimiento preventivo es muy importante considerar las refacciones que llegasen a ser consumibles en un determinado trayecto de trabajo realizado por nuestra maquinaria, como anteriormente ya hemos mencionado hay que identificarlas partes de nuestra maquina para tomar en cuenta los mantenimientos dentro de su funcionamiento como los son los filtros, los inyectores, el aceite, termostato, etc.

Cada una de las diferentes refacciones que componen un sistema operativo dentro de la función de la maquina son muy importantes que en determinado tiempo de funcionamiento sean remplazadas por otras nuevas para que el problema no avance mas y se dañe otra pieza de la maquina que posiblemente estuviese en buen estado pero gracias ala insuficiencia de la refacción fallida esta carga el doble de trabajo y por lo tanto se incremente la presión, esfuerzo, calentamiento y otros factores dependiendo de la función de cada uno.

Comenzaremos dando una pequeña descripción de los aceites que es uno de los principales temas para mantener un buen funcionamiento y un buen mantenimiento ya sea correctivo o preventivo.

El Mantenimiento correctivo es el conjunto de actividades que se deben llevar a cabo cuando un equipo, instrumento o estructura ha tenido una parada forzada o imprevista. Este es el sistema más generalizado, por ser el que menos conocimiento y organización requiere.

Cuando se hace mantenimiento preventivo dentro de un sistema correctivo, se le llama *mantenimiento rutinario*. Cuando se hace mantenimiento correctivo en un sistema preventivo, se le llama *corrección de falla*. En la práctica, no es posible diferenciar totalmente ambos sistemas.

La programación de inspecciones, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica en base a un plan establecido y no a una demanda del operario o usuario; también es conocido como Mantenimiento Preventivo Planificado – MPP.

Su propósito es prever las fallas manteniendo los sistemas de infraestructura, equipos e instalaciones productivas en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos. La característica principal de este tipo de Mantenimiento es la de inspeccionar los equipos y detectar las fallas en su fase inicial, y corregirlas en el momento oportuno.

Con un buen Mantenimiento Preventivo, se obtiene experiencias en la determinación de causas de las fallas repetitivas o del tiempo de operación seguro de un equipo, así como a definir puntos débiles de instalaciones, máquinas, etc.

Ventajas del Mantenimiento Preventivo:

- Confiabilidad, los equipos operan en mejores condiciones de seguridad, ya que se conoce su estado, y sus condiciones de funcionamiento.
- Disminución del tiempo muerto, tiempo de parada de equipos/máquinas.
- Mayor duración, de los equipos e instalaciones.
- Disminución de existencias en Almacén y, por lo tanto sus costos, puesto que se ajustan los repuestos de mayor y menor consumo.
- Uniformidad en la carga de trabajo para el personal de Mantenimiento debido a una programación de actividades.
- Menor costo de las reparaciones.

Fases del Mantenimiento Preventivo:

- Inventario técnico, con manuales, planos, características de cada equipo.
- Procedimientos técnicos, listados de trabajos a efectuar periódicamente,
- Control de frecuencias, indicación exacta de la fecha a efectuar el trabajo.
- Registro de reparaciones, repuestos y costos que ayuden a planificar.

5.3.4 Aceite

Los lubricantes que actualmente se emplean son en su gran mayoría de ORIGEN MINERAL y se extraen del petróleo crudo. Antes de conocerse el petróleo se empleaban aceites de ORIGEN ANIMAL (de ballena, cerdo, vacuno, ovino, etc.) Y de ORIGEN VEGETAL (de oliva, maravilla, colza, ricino, etc.).

El poder lubricante de los aceites animales y vegetales es mayor que el de los aceites minerales, pero tienen el grave inconveniente de su poca estabilidad, se oxidan y se descomponen con facilidad produciendo sustancias ácidas que atacan las superficies metálicas. Por este motivo en la lubricación se emplean, de preferencia, los aceites minerales.

En el proceso de refinación del petróleo crudo se obtienen a diferentes temperaturas los siguientes compuestos:

NAFTA–GASOLINA–KEROSENE–ACEITES–RESIDUOS.

Para la destilación fraccionada se usa un alambique, el aceite que se obtenga será más o menos liviano de acuerdo con la temperatura que se alcance en el alambique.

Posteriormente, el aceite, se somete a un tratamiento ácido para eliminar las impurezas, enseguida se filtra y se agrega cal para eliminar los restos de acidez. Finalmente, se agregan diversos compuestos, de acuerdo con las características que se desea dar al lubricante.

5.4. Lubricación

La lubricación es básica y necesaria para la operación de casi todas las maquinarias. Sin lubricación, casi todas las maquinarias no funcionan, o si funcionan lo hacen por poco tiempo antes de arruinarse.

Varios estudios hechos en EEUU concluyeron que si la tecnología actual de lubricación fuera accesible a toda la población, se mejoraría el producto bruto interno un 7%.

La industria de lubricantes constantemente mejora y cambia sus productos a medida que los requerimientos de las maquinarias nuevas cambian y nuevos procesos químicos y de destilación son descubiertos. Un conocimiento básico de la tecnología de lubricación te ayudará a elegir los mejores lubricantes para cada necesidad.

Formar una película de separación entre dos superficies en movimiento relativo entre sí. ·

5.4.1. Lubricante

Un lubricante es una sustancia que se interpone entre dos superficies (una de las cuales o ambas se encuentran en movimiento), a fin de disminuir la fricción y el desgaste. Los aceites lubricantes en general están conformados por una Base más Aditivos.

5.4.2. Las características principales de los lubricantes.

5.4.2.1. Viscosidad

Es la propiedad más importante que tienen los aceites y se define como la resistencia de un fluido a fluir. Es un factor determinante en la formación de la película lubricante.

Con flujo lineal y siendo constante la presión, la velocidad y la temperatura.

Afecta la generación de calor entre superficies giratorias (cojinetes, cilindros, engranajes). Tiene que ver con el efecto sellante del aceite. Determina la facilidad con que la maquinaria arranca bajo condiciones de baja temperatura ambiente.

5.4.2.2. El punto de fluidez

El punto de fluidez de un aceite lubricante es la mínima temperatura a la cual este fluye sin ser perturbado bajo la condición específica de la prueba. Los aceites contienen ceras disueltas que cuando son enfriados se separan y forman cristales que se encadenan formando una estructura rígida atrapando al aceite entre la red.

Cuando la estructura de la cera esta lo suficientemente completa el aceite no fluye bajo las condiciones de la prueba. La agitación mecánica puede romper la estructura cerosa, y de este modo tener un aceite que fluye a temperaturas menores de su punto de fluidez.

5.4.2.3. Punto De Inflamación Y Fuego

El punto de inflamación es la temperatura a la cual el aceite despiden suficientes vapores que se inflaman cuando una llama abierta es aplicable.

Cuando la concentración de vapores en la superficie es lo suficientemente grande a la exposición de una llama, resultará fuego tan pronto como los vapores se enciendan. Cuando una prueba de este tipo es realizada bajo ciertas condiciones específicas, la temperatura a la cual esto sucede se denomina PUNTO DE INFLAMACIÓN.

5.4.2.4. El índice de neutralización de un lubricante

Es la cantidad en miligramos de hidróxido de potasio necesarios para neutralizar el ácido libre contenido en gramo de aceite a la temperatura ambiente.

Indica la cantidad en miligramos de hidróxido de potasio necesarios para la saturación de los ácidos libres y combinados obtenidos en un gramo de aceite, es decir para la neutralización de los ácidos y la saturación de los ésteres.

5.4.2.5. Índice de alquitrán

Es la cantidad de sustancias alquitranosas en valores porcentuales de un aceite. El índice de alquitranización se usa en procesos de envejecimiento artificial para establecer la predisposición del aceite a formar sustancias alquitranosas a temperaturas elevadas y en contacto con el aire. En aceites en uso, se comprueba con ello su grado de desgaste o envejecimiento.

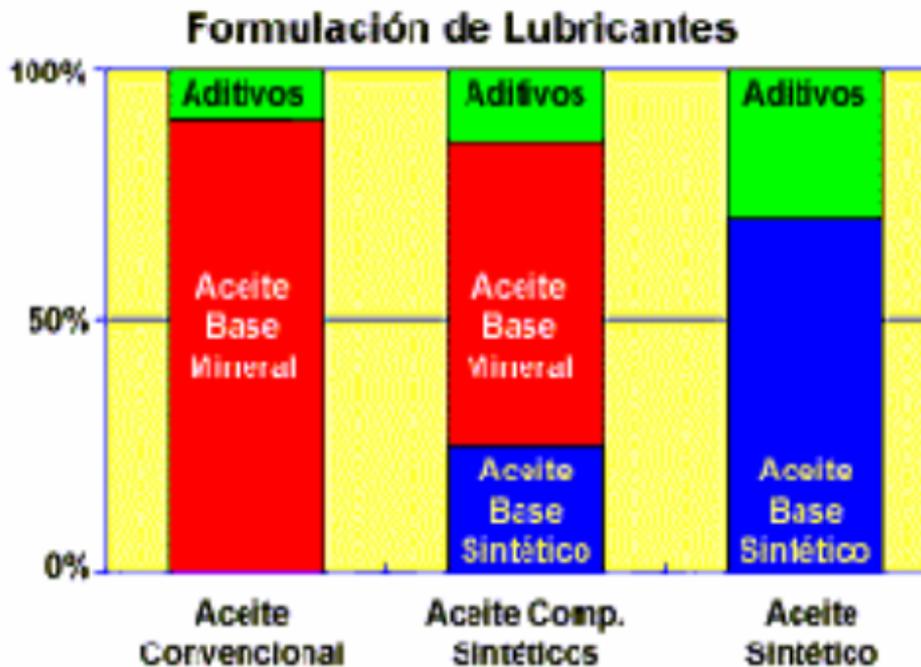
5.4.2.6. Emulsionabilidad Del Aceite

Una de las propiedades más importantes de los lubricantes para cilindros y turbinas a vapor, es la de su tendencia a formar emulsiones o mezclas intensas y duraderas con el agua.

5.4.2.7. Untuosidad

Es la capacidad del lubricante de llegar a formar una película de adherencia y espesor entre dos superficies deslizantes, quedando suprimido el rozamiento entre ellas.

Esta propiedad se analiza de diferentes maneras; mediante el estudio de la tensión superficial, la capilaridad, los ángulos límites, las mediciones de absorción y de adhesión, etc. Con el estudio de la física molecular de los lubricantes, según la capacidad de establecer el film de lubricante entre dos superficies, cabe distinguir entre rozamiento líquido y semilíquido. El rozamiento líquido es el caso de la lubricación eficiente, en el que no existe rozamiento entre las superficies sino entre las partículas del lubricante. El rozamiento semilíquido (más común en la práctica) es aquel en que las superficies en movimiento se encuentran en diferentes partes.



5.4.2.8. Aspectos Generales De Los Lubricantes

Un lubricante está compuesto esencialmente por una base + aditivos.

Las bases lubricantes determinan la mayor parte de las características del aceite, tales como:

Viscosidad, Resistencia a la oxidación, Punto de fluidez.

Las bases lubricantes pueden ser

- ❖ Minerales: Derivados del petróleo.
- ❖ Sintéticas: Químicas.

5.4.2.9. Funciones De Un Lubricante

Las funciones básicas de un lubricante son: reducción de la fricción, disipación del calor y dispersión de los contaminantes. El diseño de un lubricante para realizar estas funciones es una tarea compleja, que involucra un cuidadoso balance de propiedades, tanto del aceite de base como de los aditivos.

5.4.2.10. Reducción de la Fricción

La reducción de la fricción se realiza manteniendo una película de lubricante entre las superficies que se mueven una con respecto de la otra, previniendo que entren en contacto y causen un daño superficial. La fricción es un elemento común en la vida diaria. Una persona puede caminar por una rampa inclinada sin resbalar debido a la alta fricción entre la suela de sus zapatos y la rampa, y puede deslizarse montaña abajo en sus esquíes porque la fricción entre éstos y la nieve es baja. Ambos casos ilustran la fricción entre dos superficies ordinarias.

La cantidad de resistencia al movimiento debido a la fricción se puede expresar en términos del coeficiente de fricción:

$$\text{Coeficiente de Fricción} = \frac{\text{Fuerza de fricción que se opone al movimiento}}{\text{Carga perpendicular a la superficie}}$$

Este coeficiente es casi constante para cualquier par de superficies. Para metales limpios, con una terminación superficial ordinaria, expuestos a la atmósfera, el valor es aproximadamente 1. Para el mismo metal, contaminado por el manipuleo, el valor cae a alrededor de 0,3. Para sistemas bien diseñados y lubricados, el coeficiente puede ser tan bajo como 0,005. Bajo condiciones muy

especiales, se pueden obtener valores tan bajos como 0,000005. En Contraste, los coeficientes para superficies metálicas limpias en el vacío, pueden ser tan altos como 200 o más, y la soldadura en frío debido a la adhesión puede ocurrir. La lubricación es de dos tipos generales basado en el ambiente operacional, esto es, carga y velocidad del equipamiento y viscosidad del lubricante. Las superficies lisas separadas por una capa de lubricante no entran en contacto, y por lo tanto no contribuyen a las fuerzas de fricción. Esta condición se llama lubricación hidrodinámica. Se llega al límite de la lubricación cuando hay un contacto intermitente entre las superficies, resultando en fuerzas de fricción significativas.

Los lubricantes son materiales puestos en medio de partes en movimiento con el propósito de brindar enfriamiento (transferencia de calor), reducir la fricción, limpiar los componentes, sellar el espacio entre los componentes, aislar contaminantes y mejorar la eficiencia de operación.

Por ejemplo, los lubricantes desempeñan también la función de "selladores" ya que todas las superficies metálicas son irregulares (vistas bajo microscopio se ven llenas de poros y ralladuras).

La lubricante "llena" los espacios irregulares de la superficie del metal para hacerlo "liso", además sellando así la "potencia" transferida entre los componentes. Si el aceite es muy ligero (baja viscosidad), no va a tener suficiente resistencia y la potencia se va a "escapar" si el aceite es muy pesado o grueso (alta viscosidad), la potencia se va a perder en fricción excesiva (y calor).

En general cuando los anillos de un motor empiezan a fallar, se dice que el motor "quema aceite", ya que el aceite se escapa entre los anillos y la camisa del pistón, perdiendo así también potencia Si el aceite se ensucia, actuará como abrasivo entre los componentes, gastándolos.

Los lubricantes también trabajan como limpiadores ya que ayudan a quitar y limpiar las partículas de material que se desprenden en el proceso de fricción (figura 3), ya que de otra forma estos actuarían como abrasivos en la superficie del material. Otro uso de los lubricantes es para impartir o transferir potencia de una parte de la maquinaria a otra, por ejemplo en el caso de sistemas hidráulicos (bomba de dirección, etc.). No todos los lubricantes sirven para esto y no todos los lubricantes deben cumplir esta función.

Los lubricantes también contribuyen al enfriamiento de la maquinaria ya que acarrean calor de las zonas de alta fricción hacia otros lados (radiadores, etc.) enfriándola antes de la próxima pasada. En resumen, las principales funciones de los aceites lubricantes son:

- ❖ Disminuir el rozamiento.
- ❖ Reducir el desgaste
- ❖ Evacuar el calor (refrigerar)

- ❖ Facilitar el lavado (detergencia) y la dispersancia de las impurezas.
- ❖ Minimizar la herrumbre y la corrosión que puede ocasionar el agua y los ácidos residuales.
- ❖ Transmitir potencia.
- ❖ Reducir la formación de depósitos duros (carbono, barnices, lacas, etc.)
- ❖ Sellar

Funciones principales de un lubricante	Soluciones aplicables
Reducir la fricción y el desgaste	Bases sintéticas, aditivos antidesgaste, viscosidad apropiada, untuosidad
Proteger los metales contra la corrosión	Aditivo anticorrosivo
Resistencia a la alta temperatura	Bases sintéticas
Ejecución y estabilidad por períodos largos	Cantidad de aditivos, aditivos anti-oxidación

Funciones secundarias de un lubricante	Soluciones aplicables
Limpieza del motor y eliminar residuos de combustión	Agentes detergentes, agentes dispersantes
Enfriar el motor	Fluidez del aceite
Sellado de la cámara de combustión	Viscosidad del aceite

5.4.2.11. Clasificación de los aceites lubricante

Los lubricantes se diferencian por:

- ❖ Por su composición.
- ❖ Por su calidad.
- ❖ Por su grado de viscosidad.

Según su Composición pueden ser:

- ❖ De base mineral.
- ❖ De base semisintética
- ❖ De base sintética.

De no ser posible una clasificación se habla de aceites minerales de base mixta.

5.4.2.12. Las bases minerales

Es el componente mayoritario de los lubricantes, por lo que su calidad tiene gran influencia en la del producto final.

Los aceites minerales son mezclas de hidrocarburos.

Dado que, en la mayoría de los casos, se trata de compuestos de hidrocarburos en forma de cadena o de anillo, saturados y no saturados, la clasificación del aceite mineral es simple, presentando

- ❖ Las parafinas una proporción principal de base parafínica superior al 75%.
- ❖ Los naftenos una proporción principal de base nafténica superior al 75%.
- ❖ Los aromáticos una proporción principal de aromáticos superior al 50%.

Para la obtención de diferentes tipos de aceite lubricante, se suele usar, hoy en día, la refinación con disolvente. Junto a esta caracterización química, son de importancia los valores físicos, tales como densidad, viscosidad, fluidez, influencia térmica y otras propiedades. Los aceites minerales cubren aproximadamente un 90% de la demanda de aceites lubricantes.

Obtención del aceite mineral:

- ❖ Destilación a presión atmosférica: Se separa del petróleo todas aquellas fracciones de baja volatilidad, que constituyen los combustibles conocidos como nafta, queroseno y gas oíl.
- ❖ Destilación al vacío: El petróleo crudo es reducido, siendo destilado al vacío. Se generan distintas fracciones de destilación conocidas como "cortes" de características diferentes.
- ❖ Refinación con furfural: La refinación con furfural constituye la primera etapa del proceso y tiene por objeto el extraer mediante este solvente los hidrocarburos aromáticos que no poseen propiedades lubricantes.
- ❖ Desparafinado: Este proceso elimina los componentes parafínicos para que los lubricantes sean líquidos a temperaturas bajas (hasta aproximadamente $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$). Esto se realiza mediante la extracción con una mezcla de solventes, enfriamiento y filtración de las parafinas cristalizadas.
- ❖ Hidrotratamiento catalítico: también denominado hidrocracked, se lleva a cabo mediante el tratamiento de los aceites desaromatizados y desparafinados con el objeto de aumentar la resistencia a la oxidación y estabilidad de los mismos (esto último se consigue eliminando los compuestos nitrogenados). Una medida de la calidad y el grado de refinación es el color de aceite mineral base. Se puede afirmar que para aceites de la misma viscosidad, cuanto menor el color mejor es su refinación. Si la destilación no ha sido buena, el grado de parafinicidad, naftenicidad y aromaticidad modifican las propiedades del lubricante.

5.4.2.13. Las bases "hidrocracked"

Son el resultado de un complejo proceso de hidrogenación catalítico. Este moderno sistema obtiene unos excelentes resultados en la mejora de viscosidad de las bases minerales. También son denominadas como bases minerales "No Convencionales". Comparados con aceites minerales clásicos que son Monogrado, los aceites "hidrocracked", ofrecen grandes ventajas, ya que son Multigrado y mucho más resistentes a la oxidación. Es un excelente producto para producir aceites de alta calidad con un costo reducido.

5.4.2.14. Los Aceites Sintéticos

Son aquellos obtenidos únicamente por síntesis química, ya que no existen en la naturaleza. Una de las grandes diferencias de los aceites sintéticos frente a los minerales es que presentan una estructura molecular definida y conocida, así como propiedades predecibles, fruto de esta información. Los productos que hasta hoy se conocen como lubricantes sintético puede ser ubicado entre alguna de las siguientes familias citadas a continuación:

- ❖ PAO: "Poly Alpha Olefines", son el resultado de una química del etileno que consiste en la reacción de polimeración de compuestos olefínicos. Son Multigrado según la clasificación SAE para motor y cajas de cambio, y su punto de congelación es muy bajo. También son conocidos como Hidrocarburos de síntesis, por ser "construidos" artificialmente con productos procedentes del crudo petrolífero. Se aplican en aceites de uso frigorífico por su propiedad de continuar fluidos a muy baja temperatura. Si comparamos éste con un aceite mineral tiene un mayor índice de viscosidad y una mejor resistencia a la oxidación.
- ❖ Ésteres orgánicos: Se obtienen también por síntesis, es decir, de forma artificial, pero sin la participación de productos petrolíferos. Al contrario de las bases anteriormente mencionadas, los Esteres son producto de la reacción de esterilización entre productos de origen vegetal, tales como alcoholes y ácidos grasos de origen vegetal. Son Multigrado y tienen un poder lubricante extraordinario. los ésteres, tienen propiedades sobresalientes, tales como alta

Untuosidad, que es la capacidad de adherirse formando una capa limite continua sobre metales de Fe y Al.

Elimina el tiempo de formación de película, reduciendo el desgaste producido en ese momento.

Posee propiedades "autolimpiantes", ya que es capaz de evitar la formación de depósitos adheridos en las paredes internas del motor.

Poseen también excelente resistencia a altas temperaturas y altísima Biodegradabilidad, por lo tanto, no rompe el equilibrio ecológico ya que son absorbidos por las colonias bacterias sin causarles daño. Su grado de degradación biológica en estado puro y nuevo es cercano a 100%.

Son usados en aceites para compresor, en aceites hidráulicos y en aceites de transmisión.

- ❖ **Ésteres fosfóricos:** son producto de la reacción de óxidos fosfóricos y alcoholes orgánicos. Su alto costo hace que su uso quede restringido a los fluidos hidráulicos resistentes al fuego en aplicaciones muy específicas. Tienen un muy buen poder lubricante y Antidesgaste.

El resumen De Las Aplicaciones De Las Bases Sintéticas:

Tipos	Aplicación Principal
Oligomeros de olefina (PAOs)	Automotriz e Industrial
Ésteres orgánicos	Aviación y Automotriz
Ésteres fosfóricos	Industrial

Comparación De Las Propiedades De Las Bases.

Base	Mineral	Hidrocrack	P.A.O.	Éster
<i>Propiedades</i>				
Viscosidad	Monogrado	Multigrado	Multigrado	Multigrado
Índice de viscosidad	Bajo 100	Bueno 120–150	Bueno 120–150	Muy Bueno 130–160
Punto de congelación	Débil –10/–15	Débil –15/–25	Excelente –40/–60	Excelente –40/–60
Resistencia a la oxidación	Buena	Buena	Muy buena	Excelente
Volatilidad	Media	Media	Excelente	Excelente
Untuosidad	No	No	No	Sí
Biodegradabilidad	No	No	No	Sí

5.4.2.15. Los Aditivos

Los aditivos son sustancias químicas que se añaden en pequeñas cantidades a los aceites lubricantes para proporcionarles o incrementarles propiedades, o para suprimir o reducir otras que le son perjudiciales.

Aditivos Destinados A Retardar La Degradación Del Lubricante.

Aditivos Detergentes–Dispersantes. Los aditivos detergentes–dispersantes tienen la misión de evitar que el mecanismo lubricado se contamine aun cuando el lubricante lo esté. La acción de estos dispersantes es la evitar acumulaciones de los residuos, los cuales se forman durante el funcionamiento de la máquina o motor y mantenerlos en estado coloidal de suspensión por toda la masa del aceite.

Aditivos Anticorrosivos y antioxidantes. Para proteger contra la corrosión a los materiales sensibles por una parte, y por otra para impedir las alteraciones internas que pueda sufrir el aceite por envejecimiento y oxidación, se ha acudido a la utilización de aditivos anticorrosivos y antioxidantes.

Aditivos Antidesgaste. Cuando el aceite fluye establemente lubricando cremalleras, bielas, bombas de aceite y camisas de pistones, o cuando las partes a lubricar operan parcial o enteramente bajo condiciones de lubricación límite, los aditivos Antidesgaste son necesarios.

Agentes Alcalinos. Los agentes alcalinos neutralizan los ácidos provenientes de la oxidación del aceite de forma tal que no pueden reaccionar con el resto del aceite o la máquina.

Agentes Antiemulsificadores. Los agentes antiemulsificadores reducen la tensión interfacial de manera que el aceite puede dispersarse en agua. En la mayor parte de las aplicaciones de lubricación la emulsificación es una característica indeseable. Sin embargo, existen aplicaciones en las cuales los aceites minerales están compuestos de materiales emulsificantes que los hacen miscibles en agua. Los llamados aceites solubles usados con refrigerantes y los lubricantes usados en operaciones de maquinarias dependen de agentes emulsificantes para su exitosa aplicación como fluido de corte.

5.4.3. Aditivos mejoradores de las cualidades físicas del aceite lubricante.

5.4.3.1. Aditivos Mejoradores del Indice de Viscosidad

El proceso de trabajo de estos aditivos puede explicarse como sigue: en presencia de bajas temperaturas las moléculas de estas sustancias se contraen ocupando muy poco volumen y se dispersan en el aceite en forma de minúsculas bolitas dotadas de una gran movilidad.

Cuando se eleva la temperatura, las moléculas de la masa de aceite aumentan de velocidad y las mencionadas bolitas se agrupan formando estructuras bastantes compactas que se oponen al movimiento molecular del aceite base, lo cual se traduce en un aumento de la viscosidad de la mezcla.

5.4.3.1. Mejoradores del Punto de Fluidéz y congelación.

Los mismos aditivos mejoradores o elevadores del índice de viscosidad se emplean para favorecer el punto de congelación y en consecuencia, el de fluidéz. Se aplican principalmente a los aceites parafínicos, ya que la parafina por su elevado punto de congelación es la principal productora de la falta de fluidéz de los aceites, formando aglomeraciones y solidificaciones al descender la temperatura

5.4.3.2. Aditivos Antiespumantes.

La presencia de cuerpos extraños en el aceite tales como gases, con temperaturas inferiores de los 100 C, producen lo que los aceites minerales puros de por sí no pueden cortar la formación de espumas debido al gran espesor que les da la película lubricante. Estas burbujas o espumas permanentes producen el paso del aceite por los conductos, tal como ocurre en los mecanismos con mandos hidráulicos. Los aditivos antiespumantes tienen la misión de evitar estas burbujas y en la mayor parte de los casos actúan adelgazando la envoltura de la burbuja del aire, hasta su rotura modificando tensiones superficiales e interfaciales de la masa de aceite.

Aditivos Mejoradores de la Oleosidad. Se entiende por oleosidad la adherencia del aceite a las superficies metálicas de lubricar, debido en gran medida a la polaridad molecular contenida, que por razón de su estructura se fijan fuertemente a dichas superficies.

Aditivos de Extrema Presión. Para los aceites de equipos mecánicos sometidos a muy altas presiones, se emplean los aditivos EP (Extrema Presión), que disminuyen el desgaste de las superficies metálicas de deslizamiento, favoreciendo la adherencia del lubricante. Estos aditivos, reaccionan químicamente y forman capas mono y polomoleculares que se reconstruyen constantemente en los sitios de altas presiones por efectos de la fricción. De esta manera impiden el contacto metal-metal, evitando los rompimientos o soldaduras de los mismos. Estos aditivos no siempre están exentos de producir ligeras corrosiones, debido a la acción química que ejercen.

5.4.3.3. Aditivos para Aumentar la Rigidez Dieléctrica.

Casi siempre estos productos cumplen simultáneamente la doble misión de dieléctricos y la de proporcionar longevidad a los lubricantes usados para fines de lubricación y funcionamiento de los transformadores eléctricos.

5.4.3.4. Tipos de Lubricación

El tipo de lubricación que cada sistema necesita se basa en la relación de los componentes en movimiento.

Hay tres tipos básicos de lubricación: por capa límite, hidrodinámica, y mezclada. Para saber qué tipo de lubricación ocurre en cada caso, necesitamos saber la presión entre los componentes a ser lubricados, la velocidad relativa entre los componentes, la viscosidad del lubricante y otros factores.

La lubricación límite ocurre a baja velocidad relativa entre los componentes y cuando no hay una capa completa de lubricante cubriendo las piezas. Durante lubricación limítrofe, hay contacto físico entre las superficies y hay desgaste. La cantidad de desgaste y fricción entre las superficies depende de un número de variables: la calidad de las superficies en contacto, la distancia entre las superficies, la viscosidad del lubricante, la cantidad de lubricante presente, la presión, el esfuerzo impartido a las superficies, y la velocidad de movimiento. Todo esto afecta la lubricación por capa límite.

En algún momento de velocidad crítica la lubricación limítrofe desaparece y da lugar a la Lubricación Hidrodinámica. Esto sucede cuando las superficies están completamente cubiertas con una película de lubricante.

Esta condición existe una vez que una película de lubricante se mantiene entre los componentes y la presión del lubricante crea una "ola" de lubricante delante de la película que impide el contacto entre superficies. Bajo condiciones hidrodinámicas, no hay contacto físico entre los componentes y no hay desgaste. Si los motores pudieran funcionar bajo condiciones hidrodinámicas todo el tiempo, no habría necesidad de utilizar ingredientes antidesgaste y de alta presión en las fórmulas de lubricantes. Y el desgaste sería mínimo.

La propiedad que más afecta lubricación hidrodinámica es la viscosidad. La viscosidad debe ser lo suficientemente alta para brindar lubricación (limítrofe) durante el inicio del ciclo de funcionamiento del mecanismo con el mínimo de desgaste, pero la viscosidad también debe ser lo suficientemente baja para reducir al mínimo la "fricción viscosa" del aceite a medida que es bombeada entre los metales (cojinetes) y las bancadas, una vez que llega a convertirse en lubricación hidrodinámica. Una de las reglas básicas de lubricación es que la menor cantidad de fricción innecesaria va a ocurrir con el lubricante de menor viscosidad posible para cada función específica. Esto es que cuanto más baja la viscosidad, menos energía se desperdicia bombeando el lubricante.

Clasificación SAE (Sociedad de Ingenieros Automotores)
Clasificación de Viscosidad utilizando como unidad de medida el Centistoke (cSt) a100°C.

Este sistema se utiliza para clasificar los lubricantes empleados en la lubricación de motores de combustión interna y los aceites para lubricación de engranajes en automotores.

De acuerdo al grado SAE de viscosidad los aceites se clasifican en:

❖ **Aceites Unígrados,**

Se caracterizan porque tienen solo un grado de viscosidad. Cuando vienen acompañados de la letra W (Winter) indica que el aceite permite un fácil arranque del motor en tiempo frío (temperatura por debajo de 0°C). Acorde con la temperatura del medio ambiente por debajo de 0°C, se selecciona el grado SAE que acompaña a la letra W, ya que cada uno de estos grados está en función de dicha temperatura. Los otros grados SAE que no trae la letra W se emplean para operaciones en clima cálido y bajo condiciones severas de funcionamiento.

❖ **Aceites Multígrados**

Estos aceites tienen más de un grado de viscosidad SAE. Ej. 15W40. Poseen un alto índice de viscosidad lo cual les da un comportamiento uniforme a diferentes temperaturas, tanto en clima frío como en clima cálido.

Una de las ventajas más importantes de los aceites Multígrados con respecto a los Unígrados, es el ahorro de combustible debido a la disminución de la fricción en las diferentes partes del motor, principalmente en la parte superior del pistón. Los números SAE de viscosidad constituyen clasificaciones de aceites lubricantes en términos de viscosidad solamente. Los valores oficiales de 0°F y 210°F son los especificados en la clasificación. Los grados Centistokes representan la viscosidad cinemática y los centipoises la dinámica. La siguiente tabla muestra como se determinan los Números SAE.

5.4.4. Grasas lubricantes

Las grasas son usadas en aplicaciones donde los lubricantes líquidos no pueden proveer la protección requerida. Es fácil aplicarlas y requieren poco mantenimiento.

Están básicamente constituidas por aceite (mineral o sintético) y un jabón espesante que es el "transporte" del aceite, siendo este último el que tiene las propiedades lubricantes, no así el jabón.

Las principales propiedades de las grasas son que se quedan adheridas en el lugar de aplicación, provee un sellamiento y un espesor laminar extra.

La lubricación por grasa posee ciertas **ventajas** en relación con la lubricación por aceite:

- ❖ La construcción y el diseño son menos complejos.
- ❖ A menudo menor mantenimiento, al ser posible la lubricación de por vida.
- ❖ Menor riesgo de fugas y juntas de estanqueidad más sencillas.
- ❖ Eficaz obturación gracias a la salida de la grasa usada, es decir, la "formación de cuellos de grasa".
- ❖ Con grasas para altas velocidades, cantidades de grasa dosificadas y un proceso de rodaje pueden obtenerse bajas temperaturas del cojinete a elevado número de revoluciones.

Pero también posee **desventajas** como ser:

- ❖ No es posible la evacuación de calor.
- ❖ La película de grasas absorbe las impurezas y no las expulsa, sobre todo en el caso de lubricación con cantidades mínimas de grasa.
- ❖ Según el nivel actual de conocimientos, menores números límites de revoluciones o bien factores de velocidad admisibles en comparación con la lubricación por inyección de aceite y la lubricación por pulverización.

La lubricación puede ser considerada como una parte vital de una máquina como cualquiera de sus partes de trabajo.

Los descansos, ejes y engranajes de una máquina deben ser diseñados y construidos:

- ❖ Con toda precisión.
- ❖ Con los mejores materiales
- ❖ Ya que así lo exigen las máquinas modernas de alta producción. Pero sin una apropiada lubricación, estas partes vitales quedan rápidamente destruidas y la máquina detenida.

5.4.4.1. El lubricador "Hombre Clave"

Hasta hace pocos años, los mecánicos además de trabajar en las máquinas, se preocupaban de la lubricación y mantención, pero poco a poco, se fue reconociendo la gran importancia de la lubricación y se hizo una operación separada y especializada. Ya no se designan inexpertos en el puesto de lubricador y ahora se le considera como "hombre clave" para el funcionamiento de las máquinas de operación.

Sin lugar a dudas, la mayor o menor vida útil de las máquinas, depende en una gran parte, del desempeño del personal encargado de lubricarlas. El buen lubricador no se improvisa, su preparación demanda mucho tiempo; en primer lugar hay que poseer un conocimiento práctico de las máquinas, el que sólo se adquiere a través de la experiencia, Pues con ésta se conocerán las partes que deben lubricarse y cuándo y cómo deben lubricarse.

5.4.4.2. Conocimientos y habilidades que debe tener un buen lubricador

- ❖ Conocimiento en detalle de su trabajo.
- ❖ Conocimiento de sus obligaciones y responsabilidades.
- ❖ Habilidad para controlar la máquina.
- ❖ Conocimiento de los principios básicos de la lubricación.

5.4.4.3. Relación entre las características de un aceite y las condiciones de trabajo

A mayor temperatura de trabajo, corresponde usar un aceite más viscoso.
A mayor carga de trabajo (presión), corresponde usar aceite más viscoso.
A menor velocidad, corresponde usar un aceite más viscoso.

Se utiliza aceite de alta viscosidad cuando se presentan las siguientes condiciones de trabajo:

- ❖ Altas temperaturas.
- ❖ Alta carga (presión).
- ❖ Baja velocidad.

Se utiliza aceite de baja viscosidad (aceites livianos) cuando se presentan las siguientes condiciones de trabajo:

- ❖ Bajas temperaturas.
- ❖ Baja carga (presión).
- ❖ Alta velocidad.

El trabajo de las máquinas, en algunas empresas, normalmente no se desarrolla bajo estas condiciones extremas, sino que bajo una combinación de estas condiciones de trabajo. Es problema del fabricante estudiar estas diferentes condiciones para recomendar el lubricante adecuado, si estas recomendaciones no existen, debemos entonces usar nuestro criterio para determinar el lubricante adecuado.

5.4.4.4. Aceites v/s Grasas

El problema es ahora es saber decidir cuando se debe utilizar aceite y cuando grasa. En general el problema se presenta a controversia, ya que cada tipo de lubricante tiene sus ventajas y desventajas.

La decisión depende:

- ❖ De las condiciones de operación.
- ❖ Del tipo de máquina que debe lubricarse.

5.5. Ventajas de las grasas

- ❖ Permite un escape menor de lubricante, lo que es especialmente útil en algunas industrias en las que el producto final debe ser limpio.
- ❖ Obtura mejor, previniendo contra la entrada de partículas extrañas o agua.

Disminuye la frecuencia de la lubricación, por lo que se emplea especialmente en aquellos puntos difíciles de lubricar.

- ❖ Es más fácil mantenerlas en las cajas de lubricación por su consistencia plástica.

Se necesita menor cantidad de lubricante que cuando se usa aceite (esto se observa especialmente en los rodamientos)

Es más efectiva cuando se opera con velocidades bajas y grandes cargas.

5.6. Ventajas de los aceites

- ❖ Es más fácil de purgar y rellenar. Esto constituye una gran ventaja cuando es necesario lubricar frecuentemente debido a las necesidades del servicio.
- ❖ Es más fácil controlar la correcta cantidad del lubricante.
- ❖ Se adapta más fácilmente a todas las partes de la máquina.
- ❖ Se puede usar en un rango mayor de temperatura y velocidades, especialmente cuando las
- ❖ temperaturas están bajo los 32°F y sobre los 200°F.
- ❖ Ofrecen un mayor rango de viscosidades para elegir de acuerdo con las velocidades y las cargas.
- ❖ Permite su aplicación por diversos motivo

CONCLUSIONES

Mantener el equipo en condiciones operativas a desempeño Pico es el objetivo primordial, para lo cual es necesario desarrollar un programa de análisis de fluidos detallado y confiable para predecir con antelación problemas en potencia antes de convertirse en un gasto mayor, o peor aún, en falla. Cada prueba suministra evaluaciones de diagnóstico por medio de: a) análisis de desgaste b) pruebas físicas y químicas y c) análisis del estado del aceite.

El proceso del muestreo propiamente dicho es sencillo y toma solamente pocos minutos. Como el programa prueba todos los fluidos y no solamente el aceite de motor, ofrece protección total de la unidad, no sólo del motor.

Los problemas hidráulicos pueden ser diagnosticados temprano y los casos de averías en potencia serán identificados antes que se conviertan en verdaderos problemas. Esto ha sido especialmente el propósito dado el gran aumento en el uso de la hidráulica. Los operadores que trabajan continuamente en condiciones severas (climas calientes/fríos, terreno rocoso, exceso de polvo, tierra, etc.) están especialmente expuestos a desgaste y problemas tempranos de contaminación.

Informes recientes de los usuarios demuestra que el muestreo regular y continuo del aceite y el análisis de fluidos han suministrado grandes ingresos en su inversión, considerando la mayor producción realizada por el aumento de tiempo útil de las máquinas y por avería que se impidieron debido a mantenimiento preventivo mejorado.

Con todo lo anterior antes plasmado en esta tesis, podemos concluir que la ingeniería a través de los siglos a evolucionando y mejorado sus aplicaciones, con el avance de los tiempos hemos sido testigos de la importancia que han tenido las maquinas y los beneficios que han otorgado a la humanidad.

Pero cabe mencionar que las diferentes aplicaciones y la diversidad de las maquinas tienen una particular interacción humana ya que de nosotros depende su buen funcionamiento y la eficiencia de esta. Por lo que se plantea que las maquinas tan simples que parezcan o tan complejas que sean requieren sus mantenimientos preventivos y en ciertos casos correctivos.

La buena programación y selección de los diferentes programas, podrían marcar la diferencia entre una maquina eficiente y una deficiente. En la mayoría de las fallas que se presentan en la vida útil de una maquina se puede atribuir a la mala plantación o escasez de mantenimiento, o debido, en el caso de las retroexcavadoras, a una mala operación, una falta de lubricación o todas las anteriores.

Dentro de las malas operaciones es debido a la poca información que tiene el operador con respecto al funcionamiento de las maquinas, ya que estas personas, en

su mayoría, no tienen la cultura de llevar a cabo un chequeo de funcionamiento, de inspección visual o simplemente reportar un ruido extraño o una falla conocida. Esto sumado a que las personas encargadas del mantenimiento no prestan atención a las posibles fallas que puedan producirse por falta de un mantenimiento preventivo.

La mayoría de las máquinas que están trabajando, lo hacen en lugares o condiciones muy extremas en donde el desgaste aumenta considerablemente y su funcionamiento disminuye. Usualmente estas máquinas trabajan más de 6 horas continuas, en donde por lo regular se recomienda un mantenimiento cada 200 horas, ya que estos equipos cuentan con horómetros.

Con todo lo anterior antes plasmado en esta tesis, podemos concluir que la ingeniería a través de los siglos ha evolucionado y mejorado sus aplicaciones, con el avance de los tiempos hemos sido testigos de la importancia que han tenido las máquinas y los beneficios que han otorgado a la humanidad.

Pero cabe mencionar que las diferentes aplicaciones y la diversidad de las máquinas tienen una particular interacción humana ya que de nosotros depende su buen funcionamiento y la eficiencia de esta. Por lo que se plantea que las máquinas tan simples que parezcan o tan complejas que sean requieren sus mantenimientos preventivos y en ciertos casos correctivos.

La buena programación y selección de los diferentes programas, podrían marcar la diferencia entre una máquina eficiente y una deficiente. En la mayoría de las fallas que se presentan en la vida útil de una máquina se puede atribuir a la mala plantación o escasez de mantenimiento, o debido, en el caso de las retroexcavadoras, a una mala operación, una falta de lubricación o todas las anteriores.

ANEXO

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA RETROEXCAVADORA

Motor	Unidades: EE.UU. Métricas
Potencia neta - SAE J1349	55 kW
Modelo de motor (estándar)	3054C DINA Cat®
Potencia neta - ISO 9249	56 kW
Potencia bruta - SAE J1995	58 kW
Potencia bruta - ISO 14396	56 kW
Potencia neta - EEC 80/1269	56 kW
Modelo de motor (optativo)	3054C DIT Cat®
Potencia bruta SAE J1995	69 kW
Potencia bruta - ISO 14396	68 kW
Potencia neta - SAE J1349	66 kW
Potencia neta - ISO 9249	67 kW
Potencia neta - EEC 80/1269	67 kW
Calibre	105 mm
Carrera	127 mm
Cilindrada	4.4 L
Reserva de par neta a 1.400 rpm - estándar	27 %
Reserva de par neta a 1.400 rpm - optativa	37 %
Par máximo neto a 1.400 rpm - estándar - SAE J1349	296 N·m

EL MANTENIMIENTO EN EL EJE TRASERO DE LA RETROEXCAVADORA 416 CATERPILLAR

Par máximo neto a 1.400 rpm - optativo - SAE J1349	386 N-m
Retroexcavadora	
Profundidad de excavación - estándar	4360 mm
Brazo extensible retraído	4402 mm
Brazo extensible extendido	5456 mm
Alcance desde el pivote de rotación - estándar	5618 mm
Brazo extensible retraído	5657 mm
Brazo extensible extendido	6666 mm
Rotación del cucharón	205 Grados
Fuerza de excavación del cucharón - estándar	51.8 kN
Brazo extensible retraído	51.1 kN
Brazo extensible extendido	51.1 kN
Fuerza de excavación del brazo - estándar	31.8 kN
Brazo extensible retraído	31.8 kN
Brazo extensible extendido	23.4 kN
Levantamiento del brazo a 2.440 mm (8 pies) - estándar	2321 kg
Brazo extensible retraído	2112 kg
Brazo extensible extendido	1323 kg
Altura de carga - estándar	3636 mm
Brazo extensible retraído	3577 mm
Brazo extensible extendido	4145 mm

EL MANTENIMIENTO EN EL EJE TRASERO DE LA RETROEXCAVADORA 416 CATERPILLAR

Alcance de carga - estándar	1768 mm
Brazo extensible retraído	1868 mm
Brazo extensible extendido	2771 mm
Pesos	
Peso en orden de trabajo - Máximo	10200 kg
Peso en orden de trabajo - Nominal	6792 kg
Cabina, ROPS/FOPS	220 kg
Control de amortiguación	22 kg
Tracción en las cuatro ruedas	155 kg
Cucharón de uso múltiple 0,96 m ³ (1,25 yd ³) con horquilla plegable	884 kg
Cucharón de uso múltiple 0,96 m ³ (1,25 yd ³) sin horquilla plegable	714 kg
Brazo extensible (sin contrapesos)	314 kg
Air Conditioning	38 kg
Contrapesos (Opción 1)	116 kg
Contrapesos (Opción 2)	231 kg
Contrapesos (Opción 3)	488 kg
Cargador	
Capacidad del cucharón - Uso General	.76 m ³
Ancho del cucharón - Uso general	2262 mm
Altura de descarga a ángulo máximo	2651 mm

EL MANTENIMIENTO EN EL EJE TRASERO DE LA RETROEXCAVADORA 416 CATERPILLAR

Alcance de descarga a ángulo máximo	772 mm
Profundidad de excavación	106 mm
Capacidad de levantamiento a altura máxima	2547 kg
Fuerza de desprendimiento del cucharón	40.9 kN
Sistema hidráulico	
Tipo de circuito	Detección de carga, centro cerrado
Capacidad de la bomba (a 2.200 rpm)	132 L/min
Presión del sistema	22700 kPa
Tipo de bomba	Caudal variable y pistón axial
Tipo de dirección	Rueda delantera
Servodirección	Hidrostático
Cilindro 2WD - Calibre	65 mm
Carrera	120 mm
Diámetro de la varilla	36 mm
Cilindro 4WD - Calibre	65 mm
Carrera	120 mm
Diámetro de la varilla	36 mm
Sistema de freno	Discos múltiples incorporados sumergidos en aceite
Tren de fuerza	
Transmisión servomecánica, primera de avance	6 kph
Segunda de avance	9.5 kph

EL MANTENIMIENTO EN EL EJE TRASERO DE LA RETROEXCAVADORA 416 CATERPILLAR

Tercera de avance		19.8 kph
Cuarta de avance		39.9 kph
Transmisión servomecánica, primera de retroceso		6 kph
Segunda de retroceso		9.5 kph
Tercera de retroceso		19.8 kph
Cuarta de retroceso		39.9 kph
Especificaciones de operación - Retroexcavadora		
Círculo de giro: Exterior, neumáticos delanteros		8.16 m
Círculo de Giro: Exterior, cucharón de carga más ancho		10.74 m
Capacidad de los ejes		
Eje delantero estático con tracción en dos ruedas		22964 kg
Dinámico		9186 kg
Eje delantero estático con tracción en las cuatro ruedas		22964 kg
Dinámico		9186 kg
Eje trasero estático		22964 kg
Dinámico		9186 kg
Llenado		
Sistema de enfriamiento, aire acondicionado		15.9 L
Sistema de enfriamiento, alta temperatura		16.7 L
Tanque de combustible		144 L

EL MANTENIMIENTO EN EL EJE TRASERO DE LA RETROEXCAVADORA 416 CATERPILLAR

Aceite del motor con filtro		7.6 L
Transmisión servomecánica de tracción en dos ruedas con convertidor de par		18.5 L
Transmisión servomecánica de tracción en las cuatro ruedas con convertidor de par		18.5 L
Eje trasero		16.5 L
Eje trasero, planetarios		1.7 L
Eje delantero de tracción en las cuatro ruedas		11 L
Eje delantero, planetarios		.7 L
Sistema hidráulico		79.5 L
Tanque hidráulico		37.9 L
Normas		
Frenos		SAE J/ISO 3450, ISO 3450 1996
Cabina - ROPS		SAE J1040 Mayo 1994/ISO 3741 1994
Cabina - Ruido		ANSI/SAE J1166 Oct 98 es 82,4 dB(A)
Ruido exterior		SAE J88 JUN86 es 72,3 dB (A)
Neumáticos		
Delanteros, tracción en 2 ruedas, tamaño estándar		11L-16 F-3
Telas estándar		12

BIBLIOGRAFÍA

ACEITES Y LUBRICANTES INDUSTRIALES – Su tecnología y aplicación – YPF.
Revista "Notitécnico No. 12" de Shell

AMERICAN NATIONAL STANDARD:
Appearance of Gear Teeth - Terminology of Wear and Failure
AGMA STANDARD

Zinna, Nino

TRATAMIENTOS TERMICOS:

Ediciones Ceac

Avner
INTRODUCCIÓN A LA METALURGIA:
MC. Graw Hill

G. Henriot
Dunod
TRAITE THEORIQUE ET PRATIQUE DES ENGRANAJES (tome2):

Ariel
ENGRANAJES:
J. Campabadal Martí

TÉCNICA Y PRÁCTICA DEL TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS METALES: